

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АЛЬ РАММАХІ Мустафа Маккі Мохаммедалі

УДК 661.525.099.2

**ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНЕРЦІЙНО-
ФІЛЬТРУЮЧИХ СЕПАРАТОРІВ**

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми - 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв Сумського державного університету 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
Данилов Юрій Борисович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків,
професор кафедри інтегрованих технологій,
процесів і апаратів;

доктор технічних наук, професор
Якуба Олександр Родіонович,
Сумський національний аграрний
університет, м. Суми
професор кафедри інженерних технологій
харчових виробництв.

Захист відбудеться 12 грудня 2014 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус Ц, ауд. 204.

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

Автореферат розісланий « 22 » жовтня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 55.051.04, к.т.н., доц.

Л. Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Необхідною умовою якісної підготовки природного і нафтового газу для подальшого транспортування і використання на промислових підприємствах є очищення від рідкої фази і твердих частинок. Рідка фаза, що складається з води і високомолекулярних вуглеводнів (конденсат), виноситься разом із газом із бурових свердловин або виділяється з газу під час транспортування трубопроводами при зниженні температури. Наявність краплинної рідини в газі призводить до зниження продуктивності та коефіцієнта використання магістральних трубопроводів у середньому на 20–25 % унаслідок зростання гідравлічного опору.

Традиційне газосепараційне обладнання, що використовується на технологічних лініях газопереробних виробництв, відрізняється низьким ступенем розділення або високим гідравлічним опором.

Ураховуючи значний вплив сепарації на якість газу, на цей час проводяться пошуки нових способів сепарації.

Велике практичне значення має робота, спрямована на модернізацію вже існуючого газосепараційного обладнання та підвищення ефективності роботи існуючих виробництв і технологічних ліній. Результати дослідження дозволять покращити ступінь використання енергетичних ресурсів України і світу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота відповідає тематичному плану науково-дослідних робіт кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв (ПОХНВ) Сумського державного університету в рамках держбюджетної тематики «Дослідження гідродинамічних і масотеплообмінних характеристик пристроїв із вихровими й високотурбулізованими одно- і двофазними потоками» (номер державної реєстрації 0110U002632).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення гідродинамічних характеристик, а також впливу конструктивних і технологічних факторів на інтенсивність й ефективність проходження процесів розділення в інерційно-фільтруючому сепараторі.

Для досягнення поставленої мети послідовно вирішені такі завдання досліджень:

- проведено аналіз існуючих способів інтенсифікації процесів сепарації крапель із газодисперсних потоків, основних напрямів розвитку інерційно-фільтруючої техніки і технологій газоочищення, виявлено основні гідродинамічні чинники та гідравлічні характеристики, що впливають на інтенсивність й ефективність процесів розділення в інерційно-фільтруючих сепараторах;

- розроблено фізичну модель руху газокраплинних потоків у жалюзійних блоках інерційно-фільтруючих сепараторів із подальшим математичним моделюванням гідродинаміки в криволінійному інерційному сепараційному каналі з фільтрувальними елементами, що є основою для теоретичних розрахунків швидкостей і траєкторій руху газодисперсного потоку та крапель рідини, гідравлічного опору й ефективності сепарації;
- експериментально досліджено роботу інерційно-фільтруючих сепараторів у різних гідродинамічних режимах, оцінено їх вплив на ефективність процесу сепарації, визначено основні сепараційні характеристики;
- розроблено інженерну методику гідродинамічного розрахунку сепараційних характеристик інерційно-фільтруючих сепараторів із визначенням оптимальних конструктивних і геометричних параметрів інерційно-фільтруючих сепараційних елементів;
- проведено апробацію та промислове упровадження отриманих наукових результатів, а також практичних рекомендацій до проектування інерційно-фільтруючих сепараторів.

Об'єкт дослідження – процеси інерційно-фільтруючої сепарації крапель рідини з газорідинного потоку.

Предмет дослідження – гідродинамічні чинники, що впливають на процеси формування, розподілу, вловлювання крапель та відведення плівки рідини з інерційно-фільтруючих сепараторів.

Методи дослідження. У роботі застосовували методи планування багатofакторного експерименту, числові методи газодинаміки багатofазних середовищ.

Для розрахунку гідродинаміки руху газокраплинних потоків застосовували метод чисельного розв'язання рівнянь двофазної гідродинаміки в сепараційних каналах інерційно-фільтруючого газосепаратора.

Під час експериментального дослідження об'ємну витрату та швидкість газу визначали за допомогою трубки Піто–Прандтля. Опрацювання та узагальнення експериментальних даних виконували за допомогою комп'ютерної техніки та прикладних програмних пакетів.

Наукова новизна одержаних результатів:

- на підставі теоретичного аналізу розробленої математичної моделі вперше отриманий аналітичний розв'язок рівнянь руху і нерозривності потоку щодо складових локальних швидкостей газового потоку для окремого випадку плоских невісесиметричних течій у криволінійному каналі, обмеженого стінками синусоїдального профілю;
- розширене уявлення про основні методи і механізми інерційно-фільтруючої сепарації, на підставі запропонованої фізичної моделі руху

газокраплинних потоків у каналах інерційно-фільтруючих сепараторів уперше отриманий чисельний розв'язок рівнянь руху газодисперсного потоку, що дозволяє визначити траєкторії руху крапель та здійснити геометричне профілювання криволінійних каналів із фільтруючими елементами;

- набула подальшого розвитку континуальна модель криволінійної течії газодисперсного потоку, що дозволило розрахунковим методом отримати розподіл крапель за розмірами і відповідно оцінити ефективність сепарації після кожної послідовної криволінійної ділянки сепараційного каналу;
- за результатами експериментальних досліджень модельних зразків криволінійних сепараційних каналів та їх узагальнення визначено основні гідродинамічні характеристики сепараційних елементів інерційно-фільтруючих сепараторів.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена інженерна методика розрахунку інерційно-фільтруючих сепараторів, що дозволяє визначити основні геометричні розміри вузлів і оцінити фракційну та сумарну ефективність;
- запропоновані новий спосіб очищення природного і попутного газів від вуглеводневого конденсату та води, а також нова конструкція інерційно-фільтруючих сепараторів, захищених міжнародним патентом і сертифікатом відповідності;
- на підставі отриманих наукових результатів є можливим розраховувати гідродинамічні характеристики і конструювати високоефективні інерційно-фільтруючі сепаратори, що підтверджено впровадженням у рамках робіт, виконаних на Пилипівському родовищі (м. Івано-Франківськ) (обладнання фірми ТОВ «ТехНафтоГазСервіс») згідно з державною програмою Міністерства нафти і газу Республіки Ірак (PRDC), Акт впровадження від 27.12.2012.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає у проведенні фізичного та математичного моделювання процесів, що проходять під час формування газового потоку заданої структури з неперервно змінюваним напрямком вектора швидкості, в підборі та апробації методик експериментальних досліджень сепараційних і гідродинамічних характеристик газового і краплинного потоків у робочій області кожного із жалюзійних елементів інерційно-фільтруючого сепаратора, розробленні експериментального обладнання, узагальненні отриманих результатів. Постановка завдання і формулювання висновків проводилися під керівництвом наукового керівника – д-ра техн. наук, професора Склабінського В. І. Здобувач брав участь на всіх стадіях науково-дослідних робіт. Про всі результати, що становлять основний зміст дисертаційної роботи, особисто доповідалося на науково-технічних і науково-практичних

конференціях. Основний внесок здобувача викладено в статтях, написаних у співавторстві та опублікованих у фахових виданнях, затверджених ДАК України [1 – 6], статтях у міжнародних журналах [7, 8] і патенті, отриманому в Республіці Ірак [23].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету Сумського державного університету, секція «Хімічна технологія та інженерія» (2011 р.); VII Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (м. Варна, Болгарія, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції і виставці «Нафтогазова енергетика-2011» (м. Івано-Франківськ, Україна, 2011 р.); I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука і виробництво» (м. Шостка, Україна, 2012 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інноваційний потенціал української науки – XXI століття» (2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу» (м. Полтава, 26–28 вересня 2012 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Хімічна технологія і інженерія» (СумДУ, 2012 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологія-2012» (м. Сєверодонецьк, 6–7 квітня 2012 р.); Третій міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і сталий розвиток» (м. Рубіжне, 10–12 травня 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрямки теоретичних прикладних досліджень» (м. Одеса, том 7, с. 70–75, 2013 р.); Другій міжнародній науково-технічній конференції «Обчислювальний інтелект-2013» (результати, проблеми, перспективи) ComInt-2013 (м. Черкаси, Україна, 2013 р.); IX Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» (м. Варна, Болгарія, 31 травня – 7 червня 2013 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані у 23 наукових працях, із них 10 статей – у наукових журналах, (у т. ч. 6 – у наукових фахових виданнях, затверджених ДАК України, 2 статті – в міжнародних журналах), 12 публікацій тез доповідей у матеріалах і працях конференцій та 1 патент в Іраку.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел на 16 сторінках, що охоплює 138 найменувань, та додатків. Загальний обсяг дисертації 208 сторінок, із них 172 сторінки основного тексту, 9 таблиць, 86 ілюстрацій, і додатки на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, показано зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень, їх практичне значення та наукову новизну, наведено дані про апробацію роботи, публікації та подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі на основі огляду літературних джерел і наведеного патентного пошуку проаналізовані сучасний стан та шляхи розвитку сепараційної техніки та процесів сепарації, також висвітлені основні підходи до розрахунку гідродинамічних параметрів у криволінійних каналах.

Виявлено та обґрунтовано основні недоліки існуючих способів розділення газорідних систем. Також наведені основні конструкції газосепараторів інерційного, фільтруючого та інших типів. Описані існуючі математичні моделі розрахунку спільного руху газових середовищ і дисперсних частинок.

На основі розглянутих способів сепарації, а також методик розрахунку, необхідних для розділення газорідних систем параметрів, визначено основні напрямки проведення дослідження.

У другому розділі проведено математичне моделювання гідродинамічної картини руху газового і краплинного потоків. Для опису фізичної моделі руху як краплинного, так і газового потоку в каналах інерційно-фільтруючих сепараторів необхідно спочатку визначитися з геометрією жалюзійних елементів, оскільки їх геометрія, абсолютні розміри визначально впливають на формування спочатку газового потоку, а газовий потік, у свою чергу, формує потік крапель рідини.

Для розв'язання математичної задачі про рух газового і краплинного потоків у каналах інерційно-фільтруючого сепаратора потрібно внести деякі спрощувальні припущення, що дозволяють задачу про тривимірний рух в'язкого газового потоку звести до розв'язання задачі про рух двовимірного потоку газу.

Для спрощення математичного опису геометрії стінки жалюзі можна виходити з припущення про те, що жалюзійні стінки всіх каналів однакові та і їх конфігурація відповідає синусоїдальному закону зміни уздовж каналу, що досить точно відповідає дійсності, оскільки хвилясту поверхню жалюзі досить точно можна описати тригонометричною функцією.

Передбачувана модель геометрії жалюзійного каналу подана на рисунку 1, де показане розміщення двох синусоїдальних стінок, що утворюють жалюзійний канал. У такому каналі можна виділити середню лінію, що характеризує геометрію каналу, і нормаль до цієї лінії.

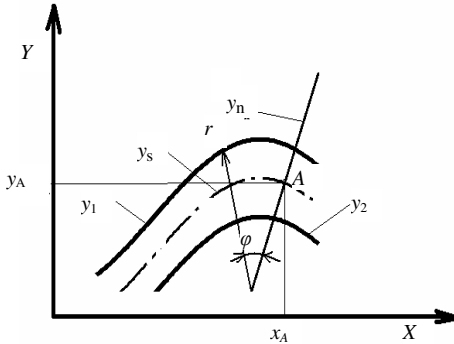


Рисунок 1. Схема жалюзійного каналу інерційно-фільтруючого сепаратора: y_1 – лінія, що визначає геометрію лівої стінки каналу; y_2 – лінія, що визначає геометрію правої стінки каналу; y_s і y_n – лінії, що визначають геометрію середньої лінії каналу і нормалі до неї відповідно

Передбачається, що складова повної швидкості газового потоку перпендикулярна до нормалі середньої лінії жалюзійного каналу і визначає в цілому витрату газу цим каналом.

Таким чином, можна записати функціональну залежність, що визначає координати лівої стінки жалюзійного каналу:

$$y_1 = a \sin (bx + c) + d_1. \quad (1)$$

Подібну функціональну залежність можна записати і для правої стінки жалюзійного каналу:

$$y_2 = a \sin (bx + c) + d_2. \quad (2)$$

Тоді для будь-якої точки А, розміщеної на середній лінії каналу (рисунок 2), можна записати вираз

$$y_A = a \sin (b x_A + c) + \frac{1}{2} d_1 + \frac{1}{2} d_2. \quad (3)$$

Вираз лінії, що проходить по нормалі в точці А середньої лінії, має вигляд

$$y_A = \frac{-x + x_A + a \cos(bx_A + c)by_A}{a \cos(bx_A + c)b}. \quad (4)$$

Розміщення фільтруючих елементів у жалюзійному каналі показано на рисунку 2. Передбачається, що ширина цих фільтруючих елементів невелика порівняно із шириною жалюзійного каналу, що дозволяє на першій стадії розрахунків не враховувати стискання потоку газу в жалюзійному каналі фільтруючою вставкою.

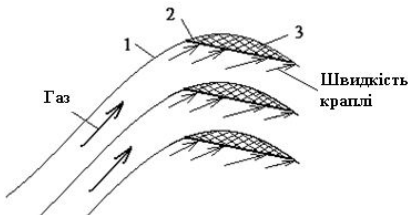


Рисунок 2. Схема жалюзійних каналів інерційно-фільтруючого сепаратора з фільтруючими елементами: 1 – стінки каналу; 2 – поверхня фільтруючої вставки; 3 – фільтруюча вставка

Розглянута геометрія жалюзійних каналів інерційно-фільтруючого сепаратора дає можливість розробити фізичну модель руху газового потоку і руху крапель у цих каналах.

Краплі рідкої фази (конденсату) формуються в потоці попутного нафтового та природного газів, починаючи від пласта до самого входу в сепаратор. У міру розроблення родовища та руху газу від пласта до сепаратора тиск і температура безперервно змінюються, змінюється термодинамічна рівновага всієї двофазної багатокомпонентної системи, і відбувається процес масообміну між фазами (конденсація та випарювання). Таким чином, рух газокраплинних потоків трубопроводами і сепараційними каналами нафтогазового обладнання супроводжується різкою зміною значень термодинамічних параметрів із відповідними складом і співвідношенням рідинної та газової фаз, що постійно змінюються.

Як було показано раніше, канал інерційно-фільтруючого сепаратора – це криволінійна порожнина, в якій установлені сепараційні елементи і відбувається безперервна зміна напрямку руху потоку газу. Установка таких елементів повинна відповідати розподілу крапель рідини по перетину жалюзійного каналу. Це необхідно для того, щоб максимальна кількість крапель рідини, що рухаються в газовому потоці криволінійними траєкторіями, досягала під час свого руху в одному з елементів жалюзійного каналу поверхні фільтруючої вставки. Призначення ж фільтруючої вставки – це «захоплення», тобто утримання рідини спочатку на поверхні цієї фільтруючої вставки, а потім відведення по внутрішніх каналах фільтруючої вставки рідини за межі сепараційного простору і всього інерційно-фільтруючого сепаратора в цілому.

Для виявлення картини руху крапель рідини у криволінійному жалюзійному каналі інерційно-фільтруючого сепаратора розглянемо, які сили впливають на краплі, і з'ясуємо природу виникнення цих сил. На рисунку 3 показано напрямок силової дії з боку газового потоку і від центральної сили, що також діє на краплю.

Для спрощення математичного опису розглядуваної взаємодії та руху газового і краплинного потоків беремо до уваги малий розмір розглянутих крапель (кілька мкм), а також малу об'ємну концентрацію крапель у газовому потоці. Це дозволяє для аналізу механізму руху крапель розглядати одиночну краплю рідини, що має розмір, характерний для всього потоку крапель. Оскільки величина відцентрової сили залежить від радіуса траєкторії криволінійного руху краплі, то з достатньою для інженерних розрахунків точністю можна замінити розглянуту ділянку криволінійного жалюзійного каналу на криволінійний канал із радіусами стінок R_1 і R_2 . Напрямок дії відцентрової сили F_c і сили аеродинамічного опору F_a , що захоплює краплі у спільний із потоком газу рух, показано на рисунку 3. Напрямок дії цих сил

зручно розглядати в циліндричній системі координат, розміщення якої також показано на цьому рисунку.

Величини сил опору і відцентрових сил відповідно однакові й визначаються такими виразами:

$$F_s = \psi \frac{\pi}{8} V_\varphi^2 d_k^2 p_r, \quad (5)$$

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

де W_φ – колова швидкість краплі, напрямок якої перпендикулярний до радіуса кривизни жалюзійного каналу в даній точці; V_φ – швидкість газового потоку в коловому напрямку.

Якщо виходити з того, що розмір крапель досить малий і вздовж каналу вони рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості газового потоку, то з достатньою для інженерних розрахунків точністю можна припустити, що швидкість руху краплі вздовж каналу близька до швидкості руху газового потоку вздовж цього каналу:

$$W_\varphi \approx V_\varphi. \quad (7)$$

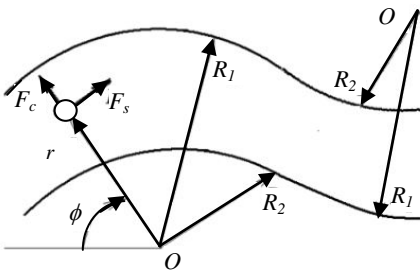


Рисунок 3. Схема жалюзійних каналів інерційно-фільтруючого сепаратора: R_1 – радіус зовнішньої стінки жалюзійного елемента; R_2 – радіус внутрішньої стінки жалюзійного елемента; F_c – відцентрова сила, що діє на краплю; F_s – сила опору, що діє на краплю; r та ϕ – циліндричні координати

Розглядаючи математичні вирази для визначення відцентрових сил і сил опору, можна побачити, що обидві ці величини залежать від величини колової швидкості краплі рідини. Визначивши цю величину або величину колової складової газового потоку і проаналізувавши траєкторію руху краплі у криволінійному каналі, можна зробити висновок про необхідну кількість криволінійних елементів по довжині жалюзійного каналу, необхідних для забезпечення потрібної сепараційної ефективності інерційно-фільтруючого сепаратора, а також місця оптимального розміщення фільтруючих вставок.

При досягненні краплями зовнішньої стінки каналу відбувається утворення плівки рідини, яка під дією газового потоку продовжує рух по цій стінці. У наступному жалюзійному елементі потік змінює свій напрямок уздовж осі, як показано на рисунку 4, і стінка з радіусом R_1 плавно переходить у радіус R_2 , яка для наступного жалюзійного елемента є вже внутрішньою стінкою.

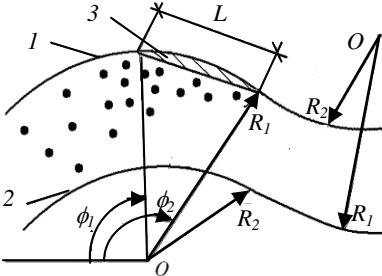


Рисунок 4. Схема жалюзійних каналів інерційно-фільтруючого сепаратора з фільтрувальними елементами: 1 – зовнішня стінка каналу; 2 – внутрішня стінка каналу; 3 – фільтруюча вставка; L – довжина фільтруючої вставки; ϕ_1 і ϕ_2 – циліндричні координати, в межах яких розміщена фільтруюча вставка

При зміні кривизни каналу на протилежний напрямок відбувається зрив плівки і виникає вторинне бризковіднесення. Призначеннями фільтруючих вставок є уловлювання крапель на зовнішній стінці жалюзійного каналу і відведення за його межі. Це запобігає вторинному бризковідведенню і підвищує ефективність сепарації інерційно-фільтруючих сепараторів.

Для більш детального дослідження гідродинаміки руху газового потоку як геометрії жалюзійного каналу інерційно-фільтруючого сепаратора, що розглядається, беремо криволінійний канал, геометрія якого зображена на рисунку 4.

Рух в'язкого газового потоку в такому криволінійному каналі зручно описувати системою рівнянь Нав'є-Стокса в циліндричній системі координат. Турбулентний характер руху потоку газу можна врахувати шляхом заміни коефіцієнта кінематичної в'язкості на коефіцієнт турбулентної в'язкості, що для вісесиметричних, вихрових потоків дозволяє в деяких випадках отримувати аналітичні розв'язки поставлених гідродинамічних задач. Для того щоб замкнути систему рівнянь Нав'є-Стокса, доповнюємо її четвертим рівнянням нерозривності. У результаті отримуємо систему з чотирьох рівнянь із чотирма невідомими (8) (3 проекції швидкостей газового потоку на три осі та величина тиску).

Для перетворення цієї системи рівнянь із метою отримання вигляду, за яким можна було б знайти аналітичний розв'язок, уводимо ряд спрощувальних припущень:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} - \frac{V_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r_r} + \\
 + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r}{r^2} \right), \\
 V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} + \\
 + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right), \\
 V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \\
 + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} \right), \\
 \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r}{r} = 0.
 \end{array} \right. \quad (8)$$

У зв'язку з тим, що основний рух газового потоку відбувається уздовж криволінійного жалюзійного каналу, припускаємо, що перетікання по висоті цього жалюзійного каналу за своєю величиною набагато менші за швидкості газу вздовж каналу ($V_z = 0$). Зміни інших складових швидкостей і тиску по висоті жалюзійного елемента також не відбувається. Це дозволяє виключити з наведеної вище системи диференціальних рівнянь третє рівняння, а з решти рівнянь системи виключити всі доданки, що містять осьову складову повної швидкості газового потоку. Крім того, припускаємо, що у зв'язку з малою шириною криволінійного каналу величина тиску по ширині цього каналу змінюється на малу величину, а основна зміна відбувається уздовж каналу. Тобто отримуємо наступну систему диференціальних рівнянь у частинних похідних. Для спрощення рівняння записуємо його без залежності від радіуса та колової координати.

До першого і третього рівнянь системи входять лише дві складові швидкості. Це радіальна та колова складові швидкостей газового потоку. Складемо систему з двох диференціальних рівнянь із двома невідомими, яку спробуємо розв'язати в аналітичному вигляді:

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi^2}{r} = \varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r}{r^2} \right), \quad (9)$$

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_\varphi \partial V_\varphi}{r \partial \varphi} - \frac{V_r V_\varphi}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{dP}{d\varphi} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right),$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{V_r}{r} = 0.$$

Із усієї різноманітності можливих розв'язків вибираємо найбільш прийнятні. Це розв'язок, який отримуємо в області дійсних чисел:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_r(r, \varphi) = \frac{r^2 C1 \sin(2\varphi) + r^2 C2 \cos(2\varphi) + C3}{r}, \\ V_\varphi(r, \varphi) = \frac{1}{r} (-r^2 C2 \sin(2\varphi) + r^2 C1 \cos(2\varphi) + (r^4 C1^2 \cos(2\varphi)^2 + \\ + r^4 C1^2 \sin(2\varphi)^2 + r^4 C2^2 - C3^2)^{1/2}). \end{array} \right. \quad (10)$$

Для визначення закону зміни, наприклад радіальної складової швидкості руху газового потоку, необхідно визначити константи інтегрування $C1$, $C2$, і $C3$. Це можна зробити, виходячи з даних, отриманих у процесі експериментальних досліджень, розв'язуючи систему рівнянь, наприклад, для тангенціальної складової швидкості газу:

$$\begin{cases} V_{\varphi_1}(r_1, \varphi_1) \\ V_{\varphi_1}(r_2, \varphi_1) \\ V_{\varphi_1}(r_3, \varphi_1) \end{cases} \quad \begin{cases} V_{r_1}(r_1, \varphi_1), \\ V_{r_2}(r_2, \varphi_1), \\ V_{r_3}(r_3, \varphi_1). \end{cases} \quad (11)$$

Знаходимо такі коефіцієнти для кожного перерізу і обчислюємо середнє для кожної гофри. В результаті отримуємо вирази:

$$V_r := \frac{1,862r^2 \sin(2\varphi) - 1,87r^2 \cos(2\varphi) + 2,766}{r}, \quad (12)$$

$$V_\varphi := 2213r^2 \cos(2\varphi) - 2181r^2 \sin(2\varphi) + \left(\frac{1}{r} (4897369r^4 \cos(2\varphi)^2 + 4897369r^4 \sin(2\varphi)^2 + 4756761r^4 - 9,7344) \right)^{1/2}. \quad (13)$$

Нижче наведені графічні залежності швидкості від геометричних параметрів вимірювання при $r = 0,14$ м.

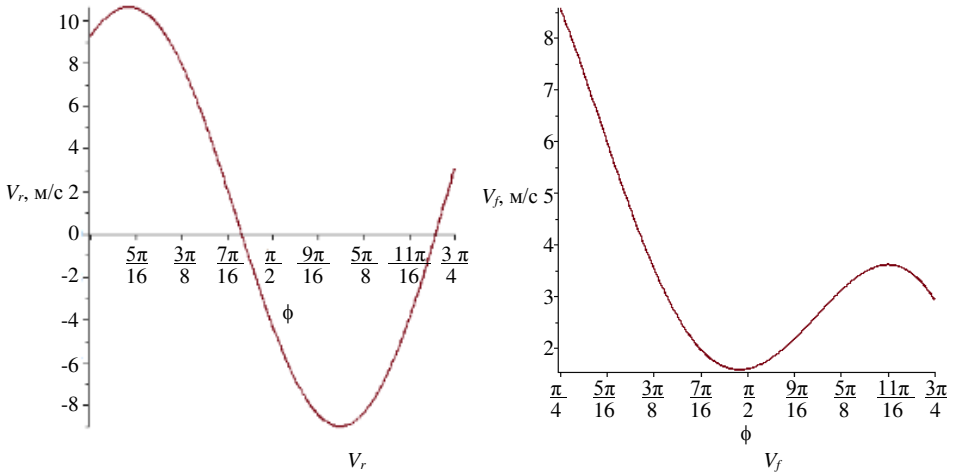


Рисунок 5. Графічна залежність зміни швидкості газу по всій гофрі 1

Після знаходження алгоритму для обчислення швидкості газу в будь-якій точці каналу на підставі другого закону Ньютона розроблений алгоритм знаходження швидкості та траєкторії руху крапель, що реалізується лише у числовому вигляді.

Результати роботи алгоритму подані нижче.

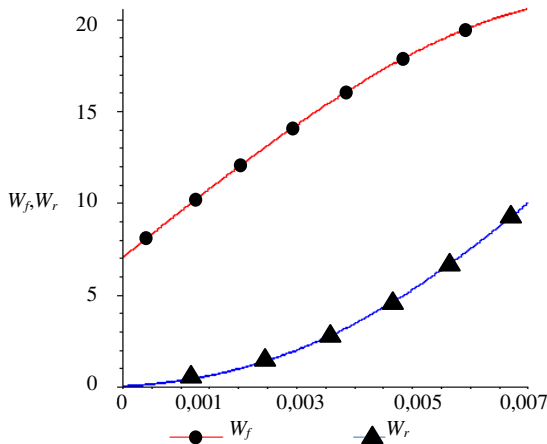


Рисунок 6. Графік зміни швидкості краплі, $dk = 5$ мкм

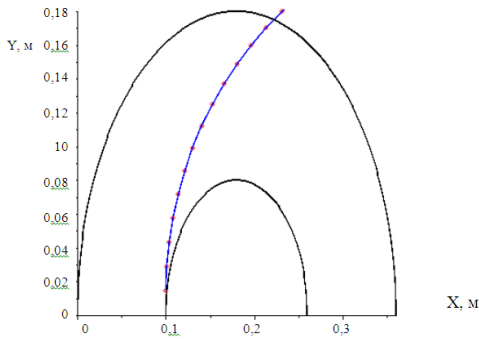
Траекторія руху краплі (S) для $dk = 5$ мкм

Рисунок 7. Траекторія руху краплі в гофрі 1

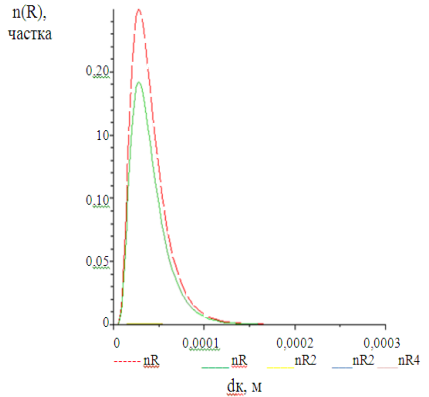


Рисунок 8. Криві розподілу крапель по гофрах

На підставі другого закону Ньютона був складений баланс сил, що діють на краплю, і, як наслідок, проведений розрахунковий експеримент, результатом якого є графічні залежності, що показують поле швидкостей при різних параметрах каналу.

Також на підставі розробленого алгоритму знаходження ефективності розділення крапель отримана можливість розраховувати оптимальну кількість гофр для сепарації заданого дисперсного складу рідини та властивостей газу.

У результаті був отриманий графік розподілу крапель за розмірами у кожній гофрі (рис. 8).

У третьому розділі наведені методика та основні методи дослідження. Основна мета досліджень - створення науково обґрунтованої методики розрахунку гідродинамічних параметрів потоків у криволінійному каналі інерційно-фільтруючого сепаратора. Математичне моделювання здійснювалося на підставі класичних положень гідродинаміки. Розв'язування рівнянь математичної моделі здійснене за допомогою комп'ютерної системи математичних розрахунків.

Фізичні експерименти проведені шляхом експериментальних досліджень на лабораторних установках і виконані на базі використання математичного апарату планування експерименту. Експериментальні дослідження виконувались на стенді, що зображений на рисунку 9.

Визначення похибки вимірювань і розрахунків основних гідродинамічних характеристик базується на загальноприйнятих методиках і рекомендаціях із проведення інженерного експерименту та обробці отриманих даних.

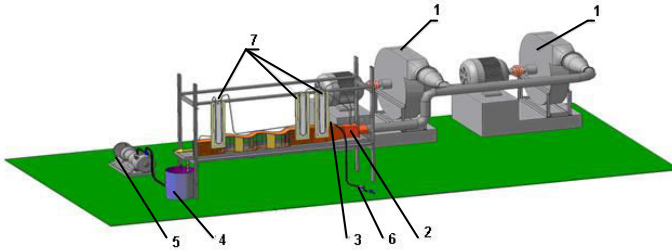


Рисунок 9. Експериментальний стенд для дослідження гідродинаміки інерційно-фільтруючого сепаратора:
 1 – газодувки; 2 – інерційно-фільтруюча установка; 3 – відцентрова форсунка; 4 – буферна ємність; 5 – насос; 6 – побутовий лічильник для вимірювання витрати води; 7 – манометри U-подібні

Також проведено комп'ютерне моделювання течії газового потоку методами обчислювальної (комп'ютерної) гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics (CFD)).

Візуалізація результатів розрахунків здійснена за допомогою постпроцесора. Аналіз може проводитися як у процесі розрахунків, так і після його закінчення. Постпроцесор надає великий вибір методів візуалізації скалярних і векторних змінних на різних геометричних об'єктах, а також дозволяє зберігати дані у файлі для обробки іншими засобами.

Отримавши вигляд поля швидкостей, можна побачити, що у западинах жалюзі швидкість майже дорівнює нулю. Тобто під час використання цієї конструкції потрібно мати гофри дещо іншої форми, щоб потік заповнював увесь поперечний переріз. Зі збільшенням кількості гофр поле швидкостей поступово вирівнюється, тобто під час використання досить великої кількості гофр у жалюзі можна отримати ламінарний режим течії потоку, а це призведе до значного зниження ефективності роботи елемента.

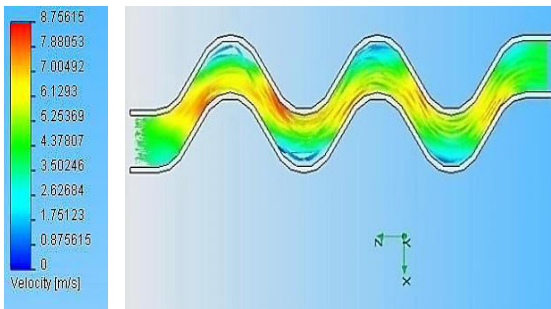


Рисунок 10. Візуалізація результатів моделювання двовимірної течії потоку природного газу криволінійним сепараційним каналом жалюзійного елемента (поле локальних швидкостей)

У четвертому розділі наведені основні результати експериментального дослідження поля швидкостей та ефективності розділення газорідних систем.

При зондуванні каналу отриманий ряд даних щодо складових швидкості газового потоку в кожній гофрі. Приклад розподілу цих швидкостей наведений на рис. 11.

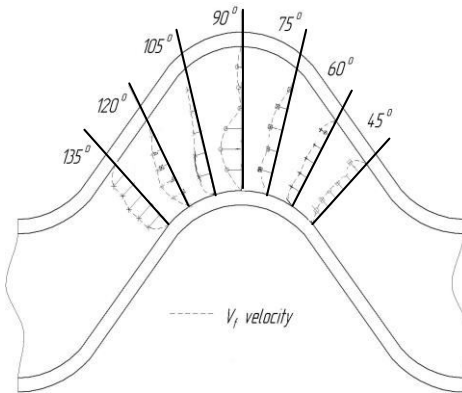


Рисунок 11. Графік зміни тангенціальної складової швидкості в межах однієї із гофр

Отримана графічна залежність показує, що при додаванні рідини до потоку і збільшенні її масової кількості в газорідному потоці відбувається і збільшення гідралічного опору. Отримані дані показують, що збільшення гідралічного опору відбувається в допустимих межах і зберігається на невисокому рівні.

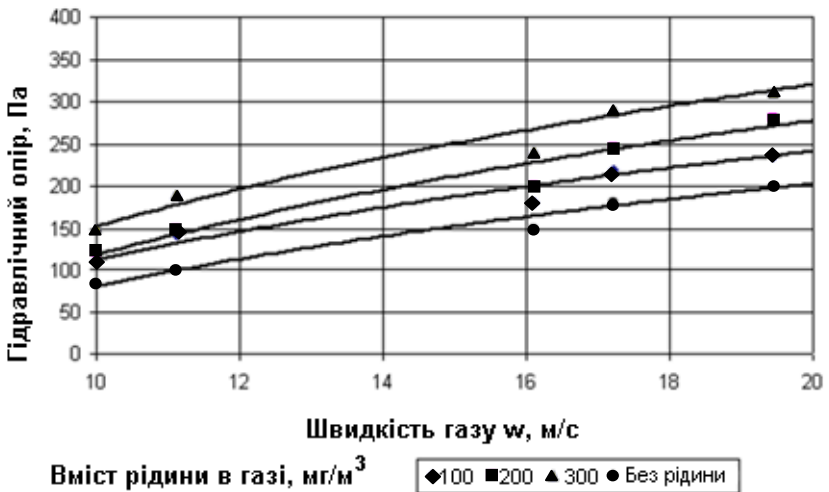


Рисунок 12. Результати дослідження гідралічного опору інерційно-фільтруючого елемента відповідно до швидкості газу на вході

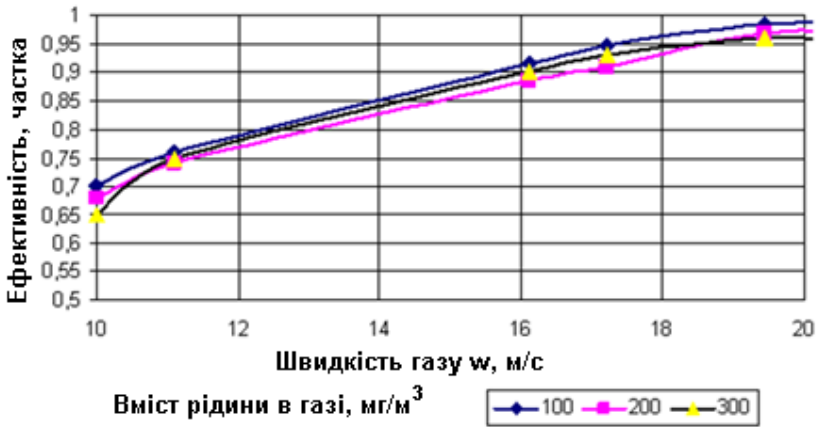


Рисунок. 13. Дослідження ефективності розділення при різних швидкостях і вмістах рідкої фази

Отримані дані показують, що при швидкості 18–20 м/с досягається високий ступінь розділення на рівні 98–99 % і подальше збільшення швидкості руху призведе лише до збільшення гідравлічного опору.

Також у розділі наведені результати теоретичних розрахунків швидкості газу.

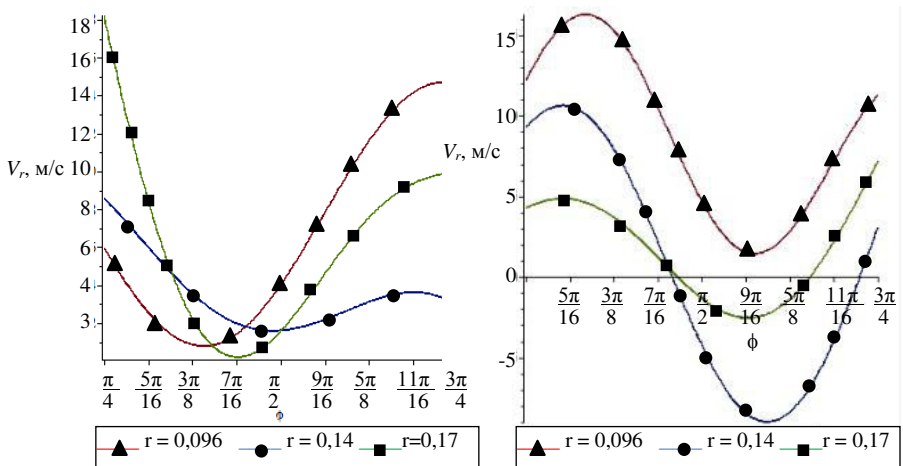


Рисунок. 14. Результати розрахунку складових швидкості газу

Проводимо їх порівняння з експериментальними вимірами.

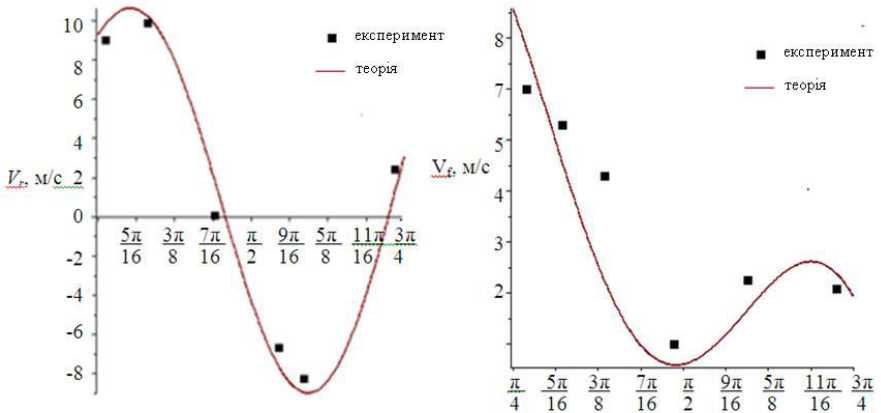
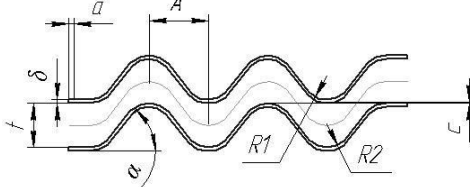
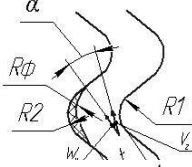
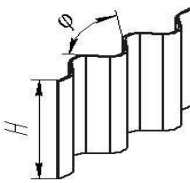
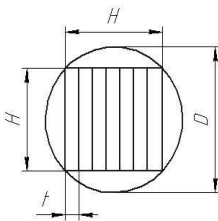


Рисунок. 15. Результати порівняння математичних розрахунків і експериментальних вимірів швидкості газу



У п'ятому розділі на основі аналізу отриманих експериментальних та теоретичних досліджень, їх зіставлення та логічного поєднання розроблена інженерна методика розрахунку геометричних параметрів каналу інерційно-фільтруючого сепаратора залежно від дисперсного складу газу, його витрати й параметрів, а також розрахунку швидкості газу та крапель у будь-якій точці каналу інерційно-фільтруючого сепаратора. Розроблена методика дозволяє використовувати результати дисертаційної роботи на виробництвах та в науково-дослідних інститутах. За необхідності лабораторну експериментальну установку можна використовувати як стенд для дослідження газосепараційних процесів аспірантами та студентами.

У роботі також наведені результати впровадження розробленого обладнання в нафтовій та газовій промисловості Іраку й України, що показують затребуваність обладнання у світі.

Рисунок 16. Геометричні розміри сепараційних елементів

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу способів інтенсифікації процесів сепарації газодисперсних потоків виявлено недоліки існуючих газосепараційних пристроїв, визначено перспективні напрямки вдосконалення технологій газосепарації та інерційно-фільтруючих газосепараторів, які об'єднують кращі переваги інерційних і фільтруючих методів розділення газорідних систем і в той самий час відрізняються достатньо високою ефективністю сепарації газу від крапель рідини в широкому діапазоні зміни продуктивності і тиску при низькому гідравлічному опорі.

2. Розроблено фізичну модель формування і руху газокраплинних потоків у робочій порожнині інерційно-фільтруючих сепараторів, використано при оптимізаційному геометричному профілюванні перерізу криволінійних каналів і фільтрувальних елементів.

3. Розроблено математичну модель розрахунку гідродинамічних та сепараційних характеристик під час руху невісесиметричних газокраплинних потоків у криволінійних сепараційних каналах синусоїдального профілю.

4. Експериментально досліджено розподіл полів швидкостей і тисків під час руху газодисперсного потоку в модельних зразках криволінійних інерційно-фільтруючих сепараційних каналів зі змінною геометрією, визначено гідравлічні й сепараційні характеристики модельних зразків інерційно-фільтруючих сепараторів, зіставлено результати із теоретичними розрахунками.

5. Розроблено інженерну методику технологічного й конструктивного розрахунків жалюзійних блоків інерційно-фільтруючих сепараторів.

6. Запропоновано новий спосіб і конструкцію інерційно-фільтруючого сепаратора, що дозволяє значно підвищити ступінь очищення природного і супутнього нафтового газів від води і вуглеводневого конденсату, що захищені міжнародним сертифікатом відповідності та патентом Республіки Ірак.

7. Проведено впровадження отриманих наукових результатів і практичних рекомендацій щодо проектування інерційно-фільтруючих сепараторів на підприємствах України. Інерційно-фільтруючі сепаратори конструкції СумДУ успішно пройшли сертифікацію і рекомендовані до впровадження в рамках державної програми Міністерства нафти та газу (PRDC) Республіки Ірак.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Аль Раммахі М. М. Фізична модель руху газокраплинних потоків сепараційними каналами та фільтруючими секціями інерційно-фільтруючих газосепараторів / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко // Нафтогазова енергетика. – 2011. – № 2. – С. 5–7. *Особистий внесок: розроблено основні принципи та закони руху газу та крапель.*

2. Аль Раммахі М. М. Расчет начального участка инерционного фильтрующего газосепарационного элемента при помощи теории клеточных автоматов / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 73–76. *Особистий внесок: розроблено математичну модель для розрахунку за теорією клітинних автоматів*

3. Аль Раммахі М. М. Расчет скорости газового потока в канале инерционно-фильтрующего (ИФ) сепаратора / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2. – С. 55–57. *Особистий внесок: проведено моделювання в прикладних математичних пакетах.*

4. Аль Раммахі М. М. Разработка физической модели движения газокрапельных потоков в рабочей полости ИФ-сепараторов / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко // Хімічна промисловість України. – 2012. – № 6. – С. 18–21. *Особистий внесок: виведено залежність швидкості газу від геометричних параметрів каналу.*

5. Аль Раммахі М. М. Застосування сучасних вискоєфективних інерційно-фільтрувальних сепараторів у харчовій промисловості / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко, В. І. Склабінський // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2013. – Вип. 44, Том 1. – С. 277 – 281. *Особистий внесок: проведено адаптацію своєї розробки до умов роботи в харчових виробництвах.*

6. Аль Раммахі М. М. Моделирование структуры фильтрующего элемента инерционно-фильтрующего сепаратора с помощью теории клеточных автоматов / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин // Вестник ХПИ. – 2012. – № 63. – С. 159–163. *Особистий внесок: розроблено математичну модель для розрахунку фільтра.*

7. Аль Раммахі М. М. Hydrodynamics of inertial-filtering (IF) separate sections of gas-separating oil and gas equipment / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин, В. І. Склабінський, О. О. Ляпощенко // Board of the Journal of Missan researches, Iraq. – 2012. – Vol. 8, № 16. – С. 207–226. *Особистий внесок: проведено моделювання в прикладних математичних програмах.*

8. Аль Раммахі М. М. Gas flow formation in the inertial filtering (IF) Gas Separators Curvilinear channels / М. М. Аль Раммахи, В. И. Склабинский, А. В. Логвин, А. А. Ляпощенко // Journal of engineering. – 2014. – № 5, Vol. 20.

– Р. 160–169. *Особистий внесок: проаналізовано результати моделювання гідродинаміки руху потоків у криволінійному каналі.*

9. Аль Раммахі М. М. Physical model of formation high dispersion gas condensate systems in turbulent gas flow Project SWorld [Електронний ресурс] / М. М. Аль Раммахі, О. О. Ляпощенко, О. В. Настенко // Technical sciences - Chemical technologies. – Odessa : Kupriyenko S. V., 2013. – Режим доступу : <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J21310.pdf>. *Особистий внесок: адаптовано математичну модель до умов турбулентного руху.*

10. Аль Раммахі М. М. Моделирование напряженно деформированного состояния и прочностно-элементный анализ конструкции инерционно-фильтрующего газосепаратора / М. М. Аль Раммахі // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков : ТАРП, 2013. – № 2/1 (10). – С. 3–5. *Особистий внесок: подано початкові дані для моделювання.*

11. Аль Раммахі М. М. Експериментальне дослідження гідродинамічних параметрів роботи інерційно-фільтруючих сепараторів / В. І. Склабінський, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко, М. М. Аль Раммахі // Стратегия качества в промышленности и образовании : VII Международная конференция (г. Варна, Болгария, 3–10 июня). – Варна, 2011. – Том 3. – С. 167–169. *Особистий внесок: проведено експериментальне дослідження та подано дані для аналізу.*

12. Аль Раммахі М. М. Отримання початкових даних для математичного моделювання газодинаміки газового потоку в каналі ІФ-сепаратора / Аль Раммахі М. М., А. В. Логвин, В. І. Склабінський // Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя : 14-та Всеукраїнська науково-практична конференція (м. Запоріжжя, Україна, 12–20 грудня). – Запоріжжя, 2012. – С. 80–85. *Особистий внесок: проаналізовано отримані експериментальні дані та подано узагальнювальні залежності.*

13. Аль Раммахі М. М. Комп'ютерне моделювання течії газу в ІФ-газосепараційному каналі / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин // Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку : Третя міжнародна науково-практична конференція (м. Рубіжне, Україна, 10–12 травня 2012 р.). – Рубіжне, 2012. – С. 90–92. *Особистий внесок: проведено комп'ютерне моделювання в прикладних програмах.*

14. Аль Раммахі М. М. Оптимизация формы фильтрующего элемента в инерционно-фильтрующих сепараторах / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин // Хімічна технологія : наука та виробництво : I Всеукраїнська науково-технічна конференція (м. Шостка, Україна, 7–9 листопада 2011 р.). – Шостка, 2011. – С. 93. *Особистий внесок: проведено експериментальне дослідження.*

15. Аль Раммахі М. М. Экспериментальное определение оптимальных гидродинамических режимов инерционно-фильтрующих сепараторов / М. М. Аль Раммахі, А. В. Логвин // Сучасні технології в промисловому

виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, Україна, 18–22 квітня 2011 р.). – Суми, 2011. – Ч. 1. – С. 124. *Особистий внесок: проведено експериментальне дослідження.*

16. Аль Раммахи М. М. Определение влияния геометрических характеристик канала инерционно-фильтрующего (ИФ) сепаратора на гидродинамику / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин // Сучасні технології у промисловому виробництві : II Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція (м. Суми, Україна, 17–20 квітня 2012 р. – Суми, 2012. – Ч. 2. – С. 156. *Особистий внесок: проведено аналіз отриманих результатів та подано узагальнювальні висновки.*

17. Аль Раммахи М. М. Физическая модель формирования высокодисперсных газоконденсатных систем в турбулентном потоке газа / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко, О. В. Настенко // Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований». – Одесса, 2013. – Т. 7. – С. 70–75. *Особистий внесок: адаптовано класичні моделі до турбулентного руху.*

18. Аль Раммахи М. М. Високоэффективные инерционно-фильтрующие газосепараторы для промышленных установок комплексной подготовки газа, газовых та газоконденсатных родовищ / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, В. І. Склабінський, О. О. Ляпощенко // Проблемы та перспективи розвитку нафтогазового комплексу : Міжнародна науково-технічна конференція (м. Полтава, Україна, 26–28 вересня 2012 р.). – Полтава, 2012. – С. 131–134. *Особистий внесок: адаптовано власну розробку під потреби роботи газоконденсатних родовищ.*

19. Аль Раммахи М. М. Фізична модель руху газокраплинних потоків по сепараційних каналах та фільтруючих секціях інерційно-фільтруючих газосепараторів / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, О. О. Ляпощенко // Нафтогазова енергетика – 2011: Міжнародна науково-практична конференція та виставка (м. Івано-Франківськ, Україна, 10–14 жовтня 2011 р.). – Івано-Франківськ, 2011. – С. 22–23. *Особистий внесок: проведено зіставлення основних законів руху в інерційній та фільтруючій секціях.*

20. Аль Раммахи М. М. Моделирование течения газовой фазы в фильтре инерционно-фильтрующего (ИФ) газосепарационного элемента с помощью теории клеточных автоматов / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин // Технология – 2012 : Международная научно-техническая конференция (г. Северодонецк, Украина, 6 – 7 апреля 2012 г.). – Северодонецк, 2012. – С. 62–64. *Особистий внесок: проведено моделювання та написано програму для цього.*

21. Аль Раммахи М. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния и прочностно-элементный анализ конструкции инерционно-фильтрующего газосепаратора / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, А. А. Ляпощенко, В. М. Маренок // Вычислительный интеллект – 2013 (ComInt) : Международная научно-практическая конференция (г. Черкассы, Украина, 14–18 мая 2013 г.). – Черкассы, 2013. – С. 385. *Особистий внесок: проведено моделювання та зроблено висновки по роботі.*

22. Аль Раммахи М. М. Physical conditions and mechanisms for separation condensate systems / М. М. Аль Раммахи, А. В. Логвин, А. А. Ляпощенко, О. В. Настенко // Стратегия качества в промышленности и образовании : IX Международная конференция (г. Варна, Болгария, 31 мая–7 июня 2013 г.). – Варна, 2013. – Т. 1. – С. 81–83. *Особистий внесок: подано рекомендації щодо використання результатів дослідження.*

23. Пат. № 277/2012 Ирак. Способ очистки природного и попутного нефтяного газа от воды и углеводородного конденсата / В. И. Склабинский, А. В. Логвин, А. А. Ляпощенко, М. М. Аль Раммахи. – Центральная организация по стандартизации и контролю качества. – Опубликовано 25.03.2014. *Особистий внесок: ідея винаходу, підготовки матеріалів до подачі заявки.*

АНОТАЦІЯ

Аль Раммахи М. М. Гідродинамічні характеристики інерційно-фільтруючих сепараторів. – 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.

Метою цієї роботи є визначення гідродинамічних характеристик, а також впливу конструктивних і технологічних факторів на інтенсивність та ефективність проходження процесів розділення в інерційно-фільтруючому сепараторі.

Дисертаційна робота присвячена визначенню гідродинамічних факторів, за допомогою яких стає можливим створення умов для максимально ефективного розділення туманів. Проведено моделювання гідродинамічних умов усередині криволінійного каналу інерційно-фільтруючого сепаратора. Запропоновано фізичну та математичну моделі процесу формування і руху газокраплинних потоків. За результатами експериментальних досліджень отримані гідродинамічні характеристики режимів течії газу і руху частинок із метою отримання оптимальних геометричних розмірів каналу.

Ключові слова: сепарація, розділення, фільтрація, гідродинаміка, сепарація газів.

АННОТАЦИЯ

Аль Раммахи М. М. Гидродинамические характеристики инерционно-фильтрующих сепараторов. – 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 данной работы является определение гидродинамических характеристик, а также влияния конструктивных и технологических факторов на интенсивность и эффективность протекания процессов разделения в инерционно-фильтрующем сепараторе.

Диссертационная работа посвящена определению гидродинамических факторов, с помощью которых становится возможным создать условия для максимально эффективного разделения туманов. Проведено моделирование гидродинамических условий внутри криволинейного канала инерционно-фильтрующего сепаратора. Предложены физическая и математическая модели процесса формирования и движения газокapельных потоков. По результатам экспериментальных исследований получены гидродинамические характеристики режимов течения газа и движения частиц с целью получения оптимальных геометрических размеров канала.

Вопросы усовершенствования технологии и техники сепарации газов, несомненно, актуальны вследствие постоянно ужесточающихся требований нормативных документов к товарным газам и газовым выбросам. Поэтому представляется целесообразным проведение поисков новых способов сепарации газожидкостных потоков, обеспечивающих высокую эффективность разделения и проектирование высокоэффективного инерционно-фильтрующего газосепарационного оборудования, позволяющего улавливать влагу в виде конденсационного тумана.

Разработана физическая модель течения газожидкостного потока в криволинейных каналах, которая с учетом физических свойств газа позволяет оценить функцию плотности распределения дисперсного состава капель и эффективность сепарации в каждой гофре. Математическая модель газодинамики движения газожидкостного потока по инерционной и фильтрующей секциям сепаратора позволяет рассчитать скорость осаждения и минимальный размер капель, улавливаемых инерционной секцией сепарационного канала. Установлена зависимость между геометрическими размерами инерционной секции, распределением скоростей сплошной и дисперсионной фаз газокapельного потока, а также геометрическими размерами инерционно-фильтрующей секции.

Экспериментально установлен характер распределения локальных

скоростей движения газового потока по криволинейному сепарационному каналу в области турбулентного гидродинамического режима движения газового потока ($Re > 10000$). Расчетные зависимости, полученные в результате экспериментальных исследований гидравлического сопротивления и эффективности сепарации моделей инерционно-фильтрующих сепараторов, могут быть адекватно распространены на класс новых конструкций высокоэффективных инерционно-фильтрующих сепарационных устройств, работающих в области турбулентного гидродинамического режима движения газового потока с начальным влажосодержанием $C_w < 200 \text{ мг/м}^3$.

Компьютерным моделированием трехмерных течений двухфазного газового потока с высокодисперсной в нем капельной жидкостью получено поле скоростей в инерционной зоне криволинейного сепарационного канала, характер которого качественно соответствует исследованному экспериментально на физической модели. Визуализация результатов моделирования трехмерных течений позволяет определить значения гидродинамических параметров потока, геометрию зон пониженного давления и вихреобразования в сепарационном канале, на основании которых определены место целесообразного расположения, геометрия и размеры фильтрующего элемента.

Разработана инженерная методика расчета инерционно-фильтрующих сепараторов в условиях сепарации высокодисперсной капельной жидкости из газового потока. Составлены алгоритм и программа расчета на ЭВМ для оценки эффективности работы инерционно-фильтрующего сепаратора и определения гидродинамических характеристик аппарата.

Изобретены условия реализации новых способов сепарации высокодисперсной капельной жидкости из газового потока с использованием новых конструкций инерционно-фильтрующих сепарационных устройств, защищенные патентом республики Ирак и сертификатом соответствия.

Приведены результаты промышленных внедрений инженерной методики расчёта газосепараторов, даны рекомендации к разработке и внедрению новых инерционно-фильтрующих сепараторов в рамках государственной программы Министерства нефти и газа (PRDC) на промышленных предприятиях нефтегазового комплекса республики Ирак.

Ключевые слова: сепарация, разделение, фильтрация, гидродинамика, сепарация газов.

SUMMARY

Al - Rammahi M. M. Hydrodynamic characteristics of inertial-filters separators. – Manuscript.

This dissertation is for getting a scientific degree of Candidate of Technical Science in specialty 05.17.08 – processes and equipment of chemical technology. – Sumy State University MES of Ukraine, Sumy, 2014.

The aim of this study is to determine the hydrodynamic characteristics and the impact of structural and technological factors on the intensity and efficiency of separation processes in inertial-filter separator.

The dissertation is dedicated to determining the hydrodynamic factors that make possible to create the conditions for the maximum possible separation of mists. The hydrodynamic modeling conditions inside the cavity of the curved channel of inertial - filter separator. The physical and mathematical models that give an explanation for formation of motion flows were proposed. Based on the results of Experimental researches, the hydrodynamic characteristics of gas flow regimes and motion of particles were obtained for the purpose to get the optimal geometrical dimensions of the channel.

Key words: separation, division, filtration, hydrodynamics, separation of gases.

Підписано до друку 26.08.2014.

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,2. 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.