

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора Данилова Юрія Борисовича на дисертаційну роботу **Аль Раммахі Мустафи Маккі Мохаммедалі** «Гідродинамічні характеристики інерційно-фільтруючих сепараторів», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 — процеси та обладнання хімічної технології

Актуальність роботи. Процеси розділення систем „газ - рідина” відносяться до найбільш розповсюджених процесів переробки вуглеводневих газів.

Сепараційне устаткування є обов'язковим елементом кожної з технологічних схем промислової підготовки нафти та газу на нафтових, газових і газоконденсатних родовищах, а також складовою частиною нафтогазопромислового устаткування у процесах переробки газового конденсату, компримування газу та його охолодження на заключній стадії експлуатації родовища, попереднім ступенем відділення газу від рідини на компресорних станціях магістральних нафто- та газопроводів. Типові сепараційні апарати широко застосовано для комплектування дотискуючих та транспортних компресорних станцій попутного нафтового газу; установок низькотемпературної сепарації та низькотемпературної конденсації; установок деетанізації і газофракціонування, що входять до складу газопереробних заводів; установок переробки нафти і конденсату; компресорних установок газліфта та сайклінг-процесу нафтових і газоконденсатних родовищ. З урахуванням значного впливу сепараційного устаткування на роботу установок та виробництв, впливає необхідність подальшого удосконалення процесів газосепарації та їх апаратного оформлення.

Найбільш ефективними засобами підвищення ступеня сепарації гравітаційно-інерційного газосепараційного обладнання є ті, які базуються на способах створення стабільного відведення вловленої рідини та уникненні вторинних процесів (бризкоунесення). Саме цим вимогам відповідають інерційно-фільтруючі сепаратори. Застосування інерційно-фільтруючих



сепараційних пристроїв дозволяє інтенсифікувати, підвищити питому продуктивність та ефективність процесу сепарації. Тому дослідження в цьому напрямку є актуальними.

Тема дисертаційної роботи 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).

Практична цінність дисертаційної роботи підтверджується ще й тим, що отримані результати передані ТОВ «ТехНафтоГазСервіс» для використання їх у розробці вихідних даних на проектування обладнання та розроблення техніко-комерційних пропозицій на Пилипівському родовищі (м. Івано-Франківськ) та конструювання нових зразків обладнання згідно з державною програмою Міністерства нафти і газу Республіки Ірак (PRDC)

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наведені в дисертаційній роботі наукові положення, теоретичні висновки та практичні рекомендації викладені в логічній послідовності, є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх отримання автором розроблена математична модель, здійснено фізичне моделювання, розроблені методики досліджень та проведенні експериментальні дослідження, проаналізовано достатню кількість (138 позицій) вітчизняних та іноземних літературних джерел за останні роки.

Науковою новизною дисертаційної роботи є 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. Вперше 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.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується використанням здобувачем науково обґрунтованих методик досліджень та обробки експериментальних даних. Основні наукові положення та теоретичні висновки викладенні логічно та не суперечать

Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у наукових статтях фахових видань (6 статей), міжнародних виданнях (2 статті). Технічна новизна виконаних досліджень підтверджена патентом республіки Ірак. Апробація результатів роботи проводилась на 12 наукових конференціях. Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації відповідають вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Структура та зміст роботи. Дисертаційна робота Аль Раммахі М.М. є завершеною науковою працею та 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.

У першому розділі на підставі аналізу відомих конструкцій як інерційних газосепараторів, так і фільтруючих крапле вловлювачів, автором зазначена доцільність комплексного дослідження інерційно-фільтруючих сепараторів та необхідність розробки нових способів газосепарування.

Оскільки відомі аналітичні рівняння не можуть достатньо адекватно описувати гідродинаміку руху двофазного потоку у модернізованих газосепараторах, виникає необхідність у розробці нових аналітичних залежностей. Тому автором логічно поставлені задачі дослідження, а саме розробка фізичної та математичної моделей гідродинаміки руху газорідного потоку, дослідження конкретних умов такого руху, розробка інженерної методики розрахунку інерційно-фільтруючого газосепараційного обладнання.

Другий розділ присвячується розробці фізичної моделі руху високодисперсної краплинної рідини у газовому потоці, на основі якої пропонується вдосконалення континуальної моделі та функція для оцінки щільності розподілу дисперсного складу краплин рідини. Автором докладно та аргументовано розроблена математична модель гідродинаміки руху газорідного потоку по інерційній та фільтруючій секціях газосепаратора, на базі математичної моделі отримані рівняння для визначення швидкості руху газового та краплинного потоків. Слід зазначити, що рівняння математичної моделі викладені в логічній послідовності, спрощення та перетворення рівнянь зрозумілі.

У третьому розділі висвітлені результати експериментальних досліджень гідродинамічних та сепараційних показників стендових моделей інерційно-фільтруючих газосепараційних елементів.

Для проведення досліджень сконструйовано експериментальну установку, елементи якої дозволили достатньо коректно провести серію експериментальних підтверджень суджень фізичної та математичної моделі процесу сепарування газорідної системи. Автор, аналізуючи літературні дані, докладно висвітлив методику проведення експериментів, яка в межах припустимих похибок дозволила отримати експериментальні дані. Все це свідчить, що здобувач за період проведення дисертаційних досліджень опанував в достатній мірі досвідом грамотного дослідника-експериментатора.

В результаті досліджень встановлено характер розподілу локальних швидкостей руху газового потоку по криволінійному сепараційному каналу у області турбулентного режиму руху (при $Re \geq 10000$) збільшення більш ніж у два рази локальних швидкостей газового потоку поблизу виступаючих криволінійних ділянок стінок сепараційного каналу, що свідчить про наявність зон найбільш вірогідного диспергування краплин та вторинного бризко-унесення; виявлені зони мінімальних швидкостей газового потоку, в яких пропонується розміщувати фільтруючі елементи, що є найбільш раціональним, так як краплини в таких зонах будуть значно в меншій мірі виноситися разом з потоком, а зможуть осідати на фільтрувальних елементах і відводитися окремо, що є дуже позитивним моментом для підвищення ефективності процесу сепарування та ліквідації небажаних режимів захлинання та вторинного унесення.

В результаті експериментальних досліджень автором отримані розрахункові залежності для визначення гідравлічного опору та ефективності вловлювання інерційно-фільтруючих газосепараторів, визначені режимні параметри процесу, при яких досягається максимальна ефективність очищення газу.

Також розділ висвітлює результати комп'ютерного моделювання трьохвимірних течій двофазного газового потоку з високодисперсною у ньому краплинною рідиною по 3D геометричних моделях газосепараційних елементів, які підтверджують характер розподілу складових локальних швидкостей руху газового потоку по криволінійному сепараційному каналу, що було досліджено експериментально. Комп'ютерне моделювання дозволило чітко визначити місця доцільного розташування, геометрію та розміри фільтруючих елементів.

Четвертий розділ присвячено аналізу та співставленню результатів експериментальних та теоретричних досліджень: ефективності інерційно-фільтруючих сепараторів, гідравлічного опору та геометричних параметрів

інерційних каналів, відносно швидкості газового потоку та наявності рідини в ньому.

У п'ятому розділі надана методика розрахунку інерційно-фільтруючих газосепараторів, яка дозволяє розраховувати основні конструктивні та режимні параметри процесу сепарування. Рівняння достатньо прості, складаються із чисельних констант та параметрів, які можуть однозначно задаватись, тому алгоритм розрахунку складається із логічно послідовних блоків. Автором також приведені результати промислових впроваджень результатів дисертаційної роботи.

У висновках викладено основні результати досліджень.

У додатках наведені блок-схема та текст програми розрахунку з оцінки ефективності сепарації інерційно-фільтруючих сепараторів, акти промислового впровадження наукових результатів та рекомендацій, отриманих у дисертаційній роботі, таблиці результатів розрахунку швидкості газу в гофрах.

Характеристика змісту та рукопису дисертації. Дисертаційна робота Аль Раммахі М.М. по своєму змісту характеризується логічним та послідовним висвітленням комплексу питань, поставлених у задачах дослідження. Оформлення дисертаційної роботи в цілому відповідає вимогам, які пред'являються до текстової документації. Дисертація оформлена акуратно, малюнки та формули створені за допомогою відповідних пакетних програмних продуктів, виправлення в тексті відсутні. Всі позиції списку використаних літературних джерел мають відповідні посилання у тексті рукопису. Запозичення чужих праць без відповідних посилань на ці наукові праці тексті рукопису не виявлено.

Важливість отриманих результатів дисертаційної роботи для науки та практики. Розроблена інженерна методика розрахунку інерційно-фільтруючих сепараторів, що дозволяє визначити основні геометричні розміри вузлів і оцінити фракційну та сумарну ефективність. Запропонований 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 наукових робіт.

Загальні зауваження по дисертаційній роботі.

1. В описі фізичної наведено лише основні діючі сили на краплю, але не зрозуміло чому не враховано дію інших сил (наприклад сила тяжіння).
2. В третьому розділі автор детально описує методики експериментальних досліджень. Разом із цим частина методик є відомими, тому доцільно було вказати джерела літератури де ці методики наведені, навести їх у додатках, або навести їх більш лаконічно.
3. При проведенні спрощення математичних рівнянь для опису гідродинаміки руху газового потоку не приведено розрахунку похибки, яка виникає в результаті.
4. На стор. 56, на рисунку 2.3 наведений взаємозв'язок між двома системами координат (Декартова та циліндрична), але в подальшому для інженерного розрахунку використовується лише циліндрична система
5. На графічних залежностях, що наведені на рисунку 4.10 є екстремуми, але в тексті роботи їх наявність не обґрунтована.
6. В роботі не вказано діапазон використання розробленої інженерної методики для розрахунку конструктивних розмірів інерційно-фільтруючих сепараторів.

Зроблені зауваження не мають принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Аль Раммахі М.М.

Висновок

Дисертація Аль Раммахі Мустафи Маккі Мохаммедалі відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013. №567, а здобувач Аль Раммахі Мустафи Маккі Мохаммедалі заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.17.08 — процеси та обладнання хімічної технології.

Дисертаційна робота Аль Раммахі Мустафи Маккі Мохаммедалі «Гідродинамічні характеристики інерційно-фільтруючих сепараторів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 - процеси та обладнання хімічної технології, є завершеною науково, обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які в сукупності є суттєвим для вдосконалення процесів газосепарації.

Офіційний опонент,

Професор кафедри інтегрованих технологій,
процесів і апаратів;

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук, професор



Ю.Б. Данилов Ю.Б. Данилов

Підпис *проф. Данилов Ю.Б.*
ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР *[Signature]*

ЗАЙЦЕВ Ю.І.