

СТВОРЕННЯ УМОВ ПРОТИТЕЧІЙНОГО РУХУ ФАЗ НА ТАРІЛЧАСТИХ МАСООБМІННО-СЕПАРАЦІЙНИХ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЯХ

О.Ю. Смілянська, А.Є. Артюхов, О.О. Ляпоценко

Сумський державний університет

Україна, 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова 2, e-mail: info@pohnp.sumdu.edu.ua

Під час проектування колон тарілкового типу для проведення масообмінних процесів в нафто- та газопереробній промисловості особлива увага приділяється вибору контактних елементів. Оптимальний підбір конструктивних параметрів тарілки та напрямку руху потоків дозволяє створити такі гідродинамічні умови проведення процесу масообміну, за яких досягається мінімальне значення бризкоунесення, рівномірний розподіл рідини між тарілками, ефективний контакт суцільної та дисперсної фаз.

Тенденція використання вихрових контактних пристроїв отримала широке впровадження в процесах абсорбції та ректифікації [1-2]. При цьому в дослідженнях в основному оцінюють вплив способів створення закрученого газового потоку на гідродинаміку контактних ступенів і майже не приділяється уваги створенню нової організації руху потоків в межах тарілки та в колонному апараті. Крім того, недостатньо вивчається питання впливу конструкції контактної ступені на ефективність процесу сепарації бризок рідини.

Метою роботи є обґрунтування можливості створення протитечійного руху потоків на тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроях та розробка конструкції тарілки з новою організацією руху потоків, які контактують. Впровадження протитечійного руху, у порівнянні з перехресним, дозволяє створити рівномірний розподіл рушійної сили на кожному з контактних пристроїв колони. До переваг запропонованої схеми руху фаз належать низький гідравлічний опір та можливість роботи колони при значних витратах по газовій і рідинній фазах.

Основні задачі роботи:

- проведення експериментальних досліджень гідродинаміки руху потоків в межах масообмінно-сепараційної секції з прямотечійно-відцентровими елементами, визначення режимів роботи тарілки та її гідравлічного опору;
- комп'ютерне моделювання руху газового потоку в межах прямотечійно-відцентрового елемента, визначення його основних геометричних характеристик;
- співставлення результатів експерименту та комп'ютерного моделювання з метою визначення оптимальних умов створення протитечійного руху потоків на тарілці;
- коригування і доповнення методики гідродинамічного розрахунку контактної ступені та конструктивного розрахунку колони [3] за результатами проведених досліджень;
- пошук оптимальних розмірів контактної ступені у залежності від навантажень по суцільній та дисперсній фазах.

В ході проведення експериментальних досліджень масообмінно-сепараційної контактної ступені виділено чотири гідродинамічні режими, які відрізняються характером ступеня завихрення рідини в прямотечійно-відцентровому елементі, характером руху рідини в прямотечійно-відцентровому елементі, поведінкою рідини на полотні контактної ступені та інтенсивністю бризкоунесення з контактної ступені.

При співвідношенні витрати рідини до витрати газу $L/G=0,6-0,7$ кг/кг об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, частково (у малому ступені) диспергується потоком газу (оскільки витрата газу незначна), а основний об'єм рідини зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента. Потік газу, у свою чергу, проходить через центральну частину контактної трубки масообмінного елемента. Для даного режиму характерне утворення поодиноких бульбашок газу великого розміру в шарі рідини, площа контакту фаз не розвинена, відбувається нерівномірний злив рідини на розташовану нижче тарілку (режим 1, рис.1, а).

При суттєвому підвищенні співвідношення витрати рідини до витрати газу ($L/G=1,0-1,1$ кг/кг) об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента, в значній мірі (в порівнянні з попереднім режимом) диспергується потоком газу, але рідина ще частково зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента у вигляді крапель. Потік газу, у свою чергу, проходить через шар рідини з інтенсивнішим (в порівнянні з попереднім режимом) вихроутворенням і утворенням бульбашок газу і піни, площа зіткнення фаз більш розвинена, ніж в попередньому режимі. При цьому рідина в незначній мірі (у вигляді окремих крапельок) стікає у внутрішній стінці патрубка, а решта рідини зливається через плівкоз'ємник (режим 2, рис.1, б).

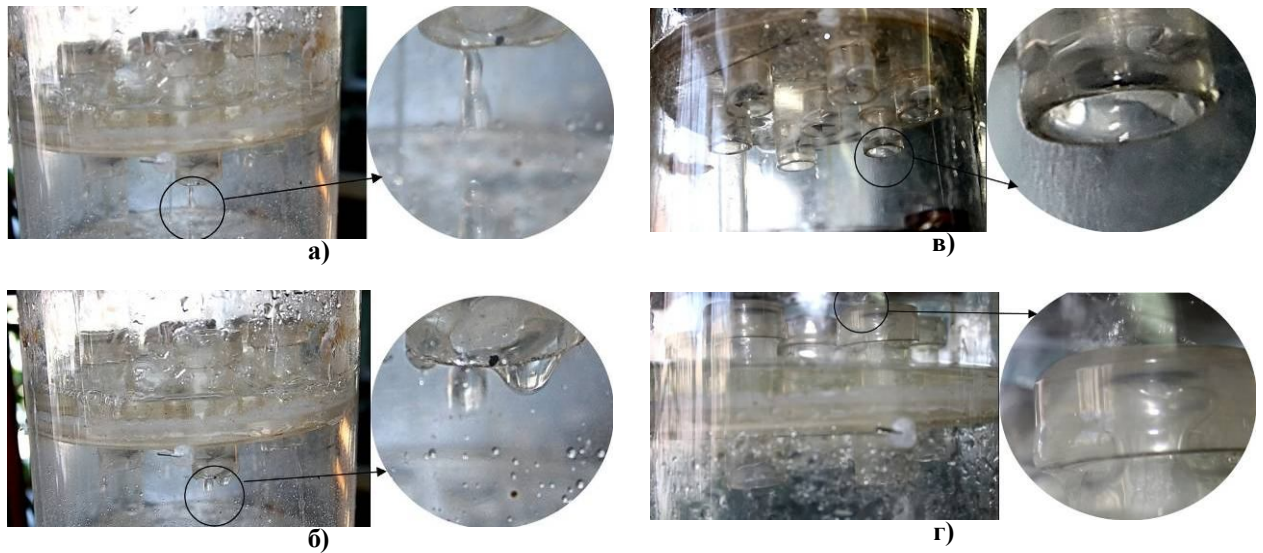


Рисунок 1 – Гідродинамічні режими роботи тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроїв при співвідношенні рідини до газу L/G , кг/кг:
а - $L/G=0,6-0,7$; б - $L/G=1,0-1,1$; в - $L/G=1,2-1,3$; г - $L/G=1,4-1,5$

Гідродинамічний режим зі співвідношенням витрати рідини до витрати газу $L/G=1,2-1,3$ кг/кг характеризується тим, що об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку повністю диспергується потоком газу, злив рідини по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента відсутній. Потік газу проходить через шар рідини з інтенсивним вихроутворенням і утворенням дрібнодисперсних бульбашок газу і піни. Таким чином, площа контакту фаз найбільш розвинена. При цьому рідина стікає у вигляді плівки з плівкоз'ємника, а злив рідини по внутрішній стінці масообмінного патрубку відсутній. Цей режим є оптимальним (режим 3, рис.1, в).

Подальше збільшення співвідношення витрати рідини до витрати газу ($L/G=1,4-1,5$ кг/кг) призводить до того, що об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку диспергується у меншій мірі, ніж при оптимальному режимі, оскільки газ проходить через шар рідини у вигляді струменів. Плівка рідини, яка відкидається відцентровими силами до внутрішньої стінки контактної трубки масообмінного елемента в результаті завихрення потоку, захоплюється потоком газу і частково потрапляє в плівкоз'ємник разом з газовим потоком, але більша частина плівки рухається з потоком газу на вищерозташовану тарілку через центральний верхній отвір контактної трубки масообмінного елемента, не потрапляючи в плівкоз'ємник, тобто для даного режиму характерне підвищене бризкоунесення і значне зменшення площі контакту фаз (режим 4, рис.1, г).

При розрахунках гідравлічного опору сухих тарілок слід керуватися експериментально отриманими значеннями коефіцієнту опору масообмінно-сепараційних пристроїв $\xi=3,5-6$ (рис.2).

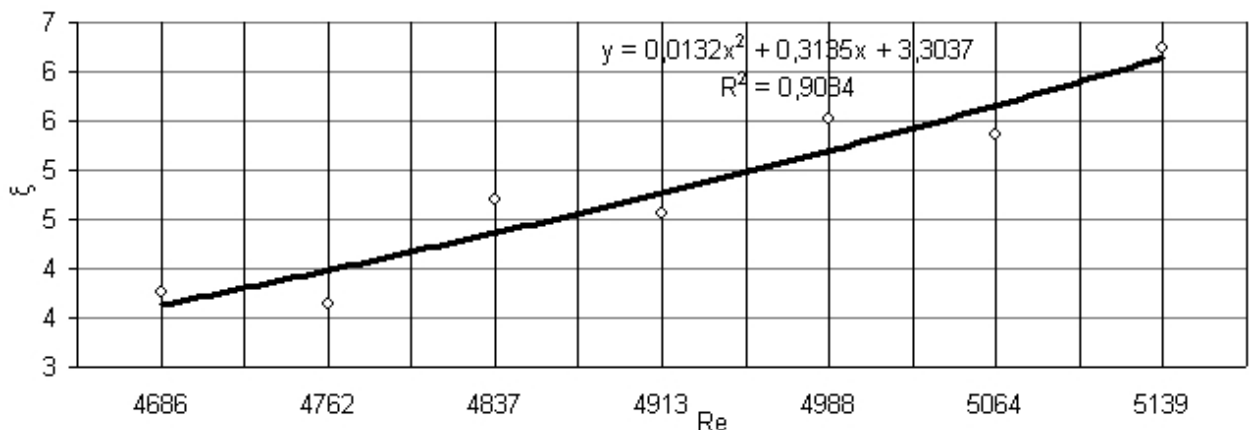


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту опору сухих тарілок від значення критерію Рейнольдса

Залежність гідравлічного опору контактної пристрою від співвідношення витрат дисперсної (рідина) і суцільної (газ) фаз продемонстровано на рис.3. Діапазон стійкої роботи тарілки – 2.

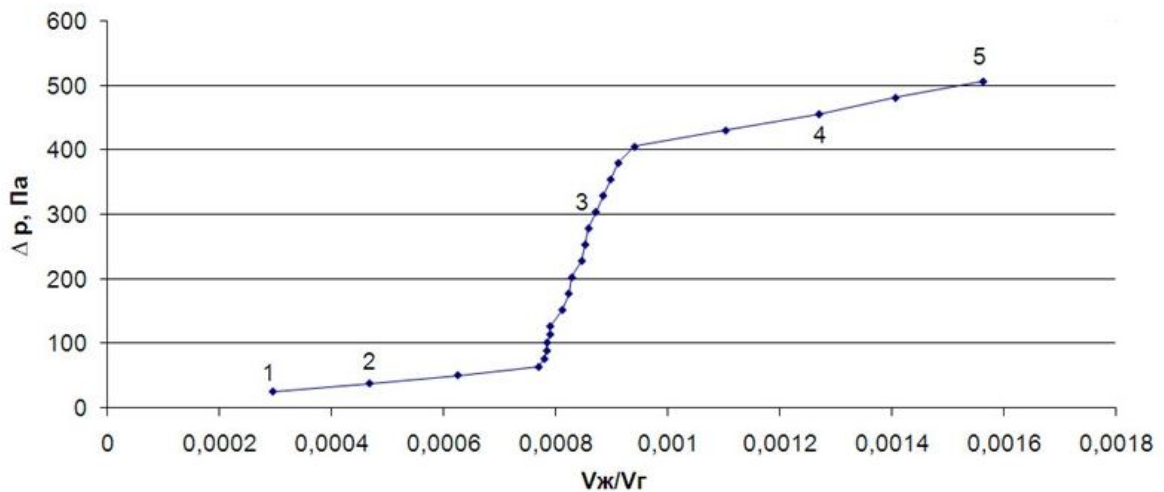


Рисунок 3 - Залежність гідравлічного опору контактної пристрою від співвідношення об'ємних витрат рідини і газу: 1-2 – режим 1; 2-3 – режим 2; 3-4 – режим 3; 4-5 – режим 4

Розглянути умови створення протитечійного руху фаз на окремих контактних ступенях, а також основні гідродинамічні закономірності руху високотурбулізованих потоків у прямотечійно-відцентрових елементах масообмінно-сепараційних тарілок представилось можливим способом математичних (комп'ютерних) моделювань у середовищі програмного продукту SolidWorks Simulation (<http://www.solidworks.com>). В процесі моделювань були випробувані різні варіанти проведення процесу із зміною конструктивних параметрів контактної масообмінно-сепараційної елемента. Змодельовані тривимірні течії газового потоку з високодисперсною краплинною рідиною у ньому по елементах масообмінно-сепараційних пристроїв візуалізовано методами комп'ютерної графіки на рис.5.

На підставі теоретичного аналізу отриманих результатів фізичних (експериментальних) і математичних (комп'ютерних) моделювань запропоновано нову корисну модель контактної пристрою (тарілки) з масообмінно-сепараційними елементами для колонних абсорберів осушування природного газу [4]. Оптимальною конструкцією прямотечійно-відцентрового елемента є циліндричний патрубок, у нижній частині якого розташовується завихрювач, що складається із чотирьох завихрювальних елементів з кутом атаки 30° (рис.4). Від верхньої частини патрубка плівкоз'ємник подовжується до полотна контактної тарілки, у якому в зазорі між патрубком і плівкоз'ємником виконуються чотири сегментні отвори для зливу рідини. Рідина в патрубок подається із чотирьох сторін за допомогою колекторної трубки для подачі рідини. Висота прямотечійно-відцентрового елемента розраховується з умови балансу трьох сил, що діють на газорідинний потік: сили тертя, сили тяжіння та аеродинамічної сили. Якщо сума сил тяжіння й тертя більше аеродинамічної сили, то в контактному патрубку створюються такі гідродинамічні умови, при яких процес розділення газорідинної суміші протікає з низькою ефективністю сепарації. Якщо ж сума сил тяжіння й тертя буде менше аеродинамічної сили, то спостерігається значне бризкоунесення.

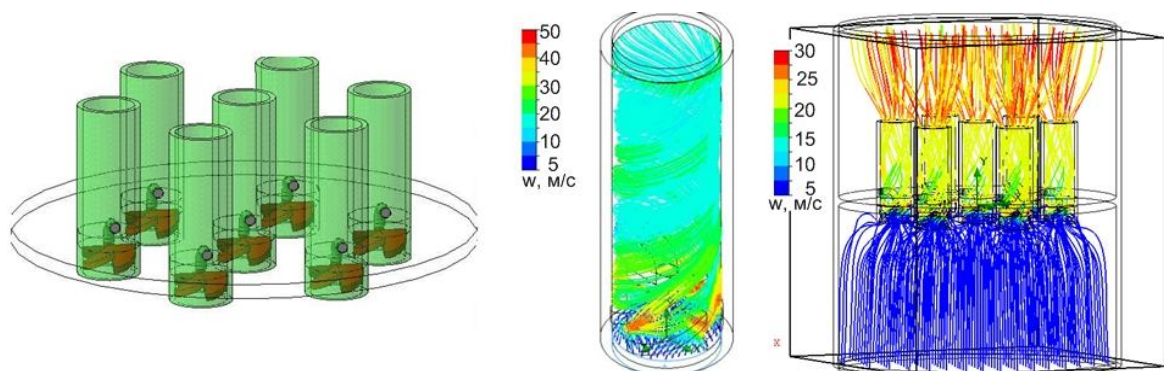


Рисунок 4 – 3D-модель тарілки з контактними елементами та траєкторії руху газового потоку з заливками за значенням локальних швидкостей

Новий контактний пристрій з масообмінно-сепараційними елементами працює таким чином. Газовий потік рухається знизу вгору колони і надходить до кожного із прямотечійно-відцентрових елементів контактної пристрою. При проходженні завихрювальних елементів газовий потік розкручується і за рахунок розрідження, що виникає в центральній частині закрученого потоку, з полотна тарілки через трубки для підведення рідини відбувається підсмоктування рідини в

патрубок прямотечіно-відцентрового елемента. Високотурбулізований вихровий газовий потік диспергує та турбулізує потік рідини, струмені рідини перемішуються із закрученим газом і піднімаються вгору, обертаючись на стінках патрубка контактного елемента. Товщина обертового шару рідини залежить від сукупності гідродинамічних і конструктивних параметрів вихрового контактного пристрою. Активне відновлення поверхні відбувається як у результаті інтенсивного перемішування шару рідини по товщині, так і в результаті безперервного бомбардування краплинами рідини поверхні обертового рідинного шару. При вступі до верхнього перетину прямотечіно-відцентрового елемента газ відділяється від рідини й виходить через центральний отвір патрубка, а рідина відкидається до стінок патрубка, на яких формує плівку. Плівка рідини піднімається вгору по внутрішніх стінках патрубка та виходить із патрубка через пристрій для відведення рідини в полотні тарілки в зазор між циліндричним патрубком та плівкоз'ємником.

Внесені зміни до конструкції прямотечіно-відцентрового елемента (направлене стікання рідини через плівкоз'ємник та сегментні отвори у полотні тарілки) створюють вигідні умови для протитечіного руху фаз на контактних тарілках та в межах колонного апарату. Дослідження гідродинаміки таких апаратів показали, що використання тарілок з протитечіним рухом фаз на контактних ступенях та прямотечіним у відцентрових масообмінно-сепараційних елементах дозволяє значно збільшити поверхню контакту фаз і зменшити бризкоунесення. Впровадження протитечіного руху, у порівнянні з перехресним, дозволяє створити більш рівномірний розподіл і одночасно збільшити рушійну силу на кожному з контактних пристроїв колони. До переваг запропонованої схеми руху фаз належать низький гідравлічний опір за умов роботи колони при значних витратах по газовій і рідинній фазам.

Основними перевагами запропонованої конструкції масообмінно-сепараційної тарілки із прямотечіно-відцентровими елементами є:

- вирівнювання значення середньої рушійної сили по рядах прямотечіно-відцентрових елементів на полотні тарілки за рахунок створення протитечіного руху рідини та газу і спрямованого відведення рідини на розташовану нижче тарілку;

- зменшення бризкоунесення з контактного ступеня за рахунок рівномірної подачі рідини в прямотечіно-відцентровий елемент, а також розподілу рідини за рахунок дії відцентрових сил та вдосконаленої конструкції плівкоз'ємника;

- збільшення поверхні масообміну за рахунок заповнення приймальної та переливної секцій традиційної тарілки контактними масообмінно-сепараційними елементами в результаті зміни схеми руху газової та рідинної фаз на тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних ступенях;

- зменшення висоти шару рідини на полотні за рахунок того, що процес масообміну проходить не на полотні тарілки, а безпосередньо в межах прямотечіно-відцентрового контактного елемента;

- зменшення гідравлічного опору контактних ступенів та колонних абсорберів в цілому у результаті зменшення складової гідравлічного опору, яка обумовлена висотою шару рідини на тарілці.

Відзначені переваги запропонованих тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних ступенів із прямотечіно-відцентровими елементами дозволяють знизити витрати на виготовлення й експлуатацію колонного встаткування, а також його матеріалоемність за рахунок:

- спрощення конструкції тарілки в результаті відсутності вузлів приймання, розподілу й відводу рідини;

- зменшення відстані між тарілками завдяки відсутності пінного шару на полотні тарілки, застосування механізмів сепарації в межах самих масообмінно-сепараційних прямотечіно-відцентрових елементів і зменшеної висоти шару рідини на тарілці, що дозволяє досягти мінімального значення бризкоунесення;

- зменшення кількості тарілок у колоні завдяки збільшенню поверхні контакту фаз, підвищенню відносної швидкості руху суцільної фази;

- зменшення кроку встановлення прямотечіно-відцентрових елементів на полотні тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроїв, або зменшення діаметра тарілки та, відповідно, колонного апарату, в порівнянні з тарілками іншого типу при рівних значеннях продуктивності по газовій і рідинній фазам.

1. Н.А. Войнов. Вихревые контактные ступени для ректификации / Н.А. Войнов, Н.А. Николаев, А.В. Кустод, А.Н. Николаев, Д.В. Тароватый / Химия растительного сырья. – 2008. – № 3. – С.173-184.

2. Коробченко К.В. Дослідження технологічних та конструктивних параметрів роботи багатофункціональних абсорберів / Артюхов А.С., Коробченко К.В., Ляпощенко О.О. / Хімія та хімічні технології: Матеріали І міжнародної конференції молодих вчених ССТ 2010. – Львів. – 2010. – С.96-97.

3. Артюхов А.С. Розробка методики інженерного розрахунку енергоефективних абсорберів з масообмінно-сепараційними контактними ступенями / Артюхов А.С., Ляпощенко О.О., Коробченко К.В., Смілянська О.Ю. / Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2011. – Випуск 39. – С.62-65.

4. Пат. на корисну модель №60115 U Україна, МПК В01D 3/26. Контактна тарілка / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Коробченко К.В., Острога Р.О.; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – №201014061; заявл. 25.11.10; надрук. 10.06.11, Бюл. №11. – 2 с.: іл.

Смілянська О.Ю. Створення умов протитечіного руху фаз на тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроях / О.Ю. Смілянська, А.С. Артюхов, О.О. Ляпощенко //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2011. — №4(41). — С. 92-95.