

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

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

*Сумський державний університет; 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова 2,
e-mail: rohnpr@yandex.ru*

Розглянуто умови створення протитечієного руху фаз на контактних ступенях, а також основні закономірності руху потоків у прямотечієно-відцентрових елементах масообмінно-сепараційних тарілок. За результатами фізичного і математичного моделювання гідродинаміки і їх узагальнення отримано гідралічні характеристики тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроїв для колонних апаратів. Запропоновано нову корисну модель контактної пристрою (тарілки) з масообмінно-сепараційними елементами для колонних абсорберів осушування природного газу.

Ключові слова: протитечієний рух, масообмін, вихрова тарілка, абсорбер, моделювання

Рассмотрены условия создания противоточного движения фаз на контактных ступенях, а также основные закономерности движения потоков в прямоточно-центробежных элементах массообменно-сепарационных тарелок. По результатам физического и математического моделирования гидродинамики и их обобщения получены гидравлические характеристики тарельчатых массообменно-сепарационных контактных устройств для колонных аппаратов. Предложена новая полезная модель контактного устройства (тарелки) с массообменно-сепарационными элементами для колонных абсорберов осушки природного газа.

Ключевые слова: противоточное движение, массообмен, вихревая тарелка, абсорбер, моделирование

The conditions of counterflow phases movement creation at contact steps and the main regularity of streams movement in uniflow-centrifugal elements of mass-transfer and separation trays are considered. The hydraulic characteristics of disk type mass-transfer and separation contact devices for column vehicles under the results of physical and mathematical modelling of hydrodynamics and their generalization are received. The new useful model of the contact device (tray) with mass-transfer and separation elements for absorption columns of natural gas dehydration is offered.

Keywords: countercurrent movement, mass transfer, vortex plate, absorber, the simulation.

Під час проектування колон тарілчастого типу для проведення масообмінних процесів у нафто- та газопереробній промисловості особлива увага приділяється вибору контактних елементів. Оптимальний підбір конструктивних параметрів тарілки та напрямку руху потоків дає змогу створити такі гідродинамічні умови проведення процесу масообміну, за яких досягається мінімальне значення бризковинесення, рівномірний розподіл рідини між тарілками, ефективне контактування суцільної та дисперсної фаз.

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

Метою написання статті є обґрунтування можливості створення протитечієного руху потоків на тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроях та розроблення конструкції тарілки з новою організацією контактуючих руху потоків. Протитечієний рух на проти-

вагу перехресному, уможливіє рівномірний розподіл рушійної сили на кожному з контактних пристроїв колони. До переваг запропонованої схеми руху фаз належать низький гідралічний опір та можливість роботи колони за значних витрат по газовій і рідинній фазах.

Основні завдання роботи:

– проведення експериментальних досліджень гідродинаміки руху потоків у межах масообмінно-сепараційної секції з прямотечієно-відцентровими елементами, визначення режимів роботи тарілки та її гідралічного опору;

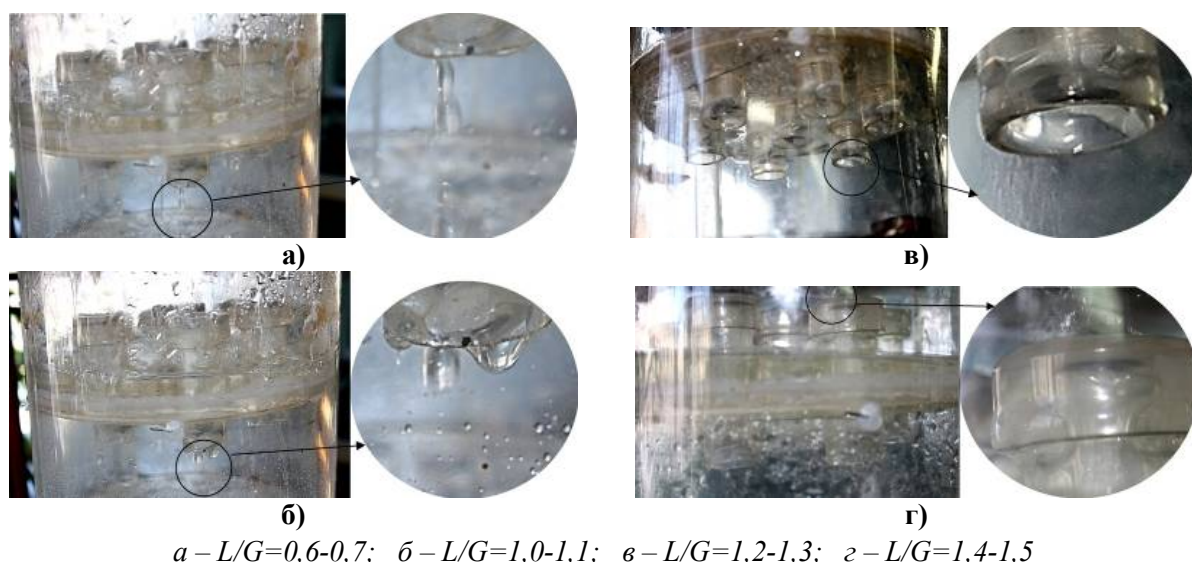
– комп'ютерне моделювання руху газового потоку в межах прямотечієно-відцентрового елемента, визначення його основних геометричних характеристик;

– зіставлення результатів експерименту та комп'ютерного моделювання з метою визначення оптимальних умов створення протитечієного 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 залежно від навантажень по суцільній та дисперсній фазах.

В ході проведення експериментальних досліджень масообмінно-сепараційної контактної ступені виділено чотири гідродинамічні режи-



а – $L/G=0,6-0,7$; б – $L/G=1,0-1,1$; в – $L/G=1,2-1,3$; г – $L/G=1,4-1,5$

Рисунок 1 – Гідродинамічні режими роботи тарілчастих масообмінно-сепараційних контактних пристроїв при співвідношенні рідини до газу L/G , кг/кг

ми, які відрізняються ступенем завихрення рідини в прямогачійно-відцентровому елементі, характером руху рідини в прямогачійно-відцентровому елементі, поведінкою рідини на полотні контактної ступені та інтенсивністю бризковинесення з контактної ступені.

При співвідношенні рідини до газу $L/G=0,6-0,7$ кг/кг об'єм рідини, яка надходить до центральної частини масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, частково 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 зіткнення фаз не розвинена; відбувається нерівномірне зливання рідини на розташовану нижче тарілку (режим 1, рис. 1, а).

При суттєвому підвищенні співвідношення рідини до газу ($L/G=1,0-1,1$ кг/кг) об'єм рідини, яка надходить до центральної частини масообмінного елемента, значною порівняно з попереднім режимом мірою диспергується потоком газу, але рідина ще частково зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента у вигляді крапель. Потік газу, у свою чергу, проходить крізь шар рідини з інтенсивнішим порівняно з попереднім режимом утворенням вихрів, бульбашок газу і піни; площа зіткнення фаз більш розвинена, ніж в попередньому режимі. При цьому рідина окремими краплями стікає у внутрішній стінці патрубку, а решта рідини зливається через плівкоз'ємник (режим 2, рис. 1, б).

Гідродинамічний режим зі співвідношенням рідини до газу $L/G=1,2-1,3$ кг/кг характеризується тим, що об'єм рідини, яка надходить до центральної частини масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, повністю диспергується потоком газу, злив рідини по внутрі-

шній стінці контактної трубки масообмінного елемента відсутній. Потік газу проходить крізь шар рідини з інтенсивним вихроутворенням і утворенням дрібнодисперсних бульбашок газу і піни. Таким чином, площа зіткнення фаз найбільш розвинена. При цьому рідина стікає у вигляді плівки з плівкоз'ємника, а зливання рідини по внутрішній стінці масообмінного патрубку відсутнє. Цей режим є оптимальним (режим 3, рис. 1, в).

Подальше збільшення співвідношення рідини до газу ($L/G=1,4-1,5$ кг/кг) призводить до того, що об'єм рідини, яка надходить до центральної частини масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку диспергується меншою мірою, ніж при оптимальному режимі, оскільки газ проходить крізь 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 до плівкоз'ємника разом з газовим потоком, але більша частина плівки рухається з потоком газу на вищерозташовану тарілку крізь центральний верхній отвір контактної трубки масообмінного елемента, не потрапляючи до плівкоз'ємника, тобто для даного режиму характерне підвищене бризковинесення і значне зменшення площі зіткнення фаз (режим 4, рис. 1, г).

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

Результати, які ілюструють залежність гідравлічного опору контактної пристрою в кожному з досліджуваних гідродинамічних режимів, наведено на рис. 3.

Залежність гідравлічного опору контактної пристрою від співвідношення витрат дисперсної (рідина) і суцільної (газ) фаз продемонстровано на рис. 4. Діапазон стійкої роботи тарілки – 2.

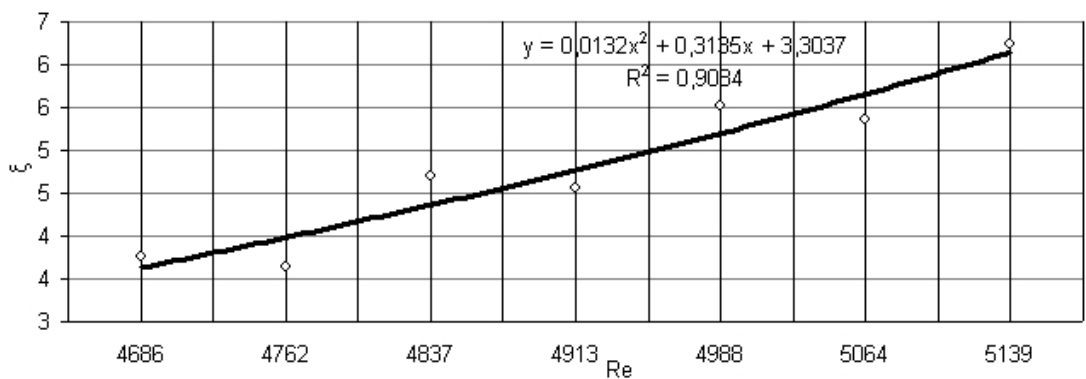
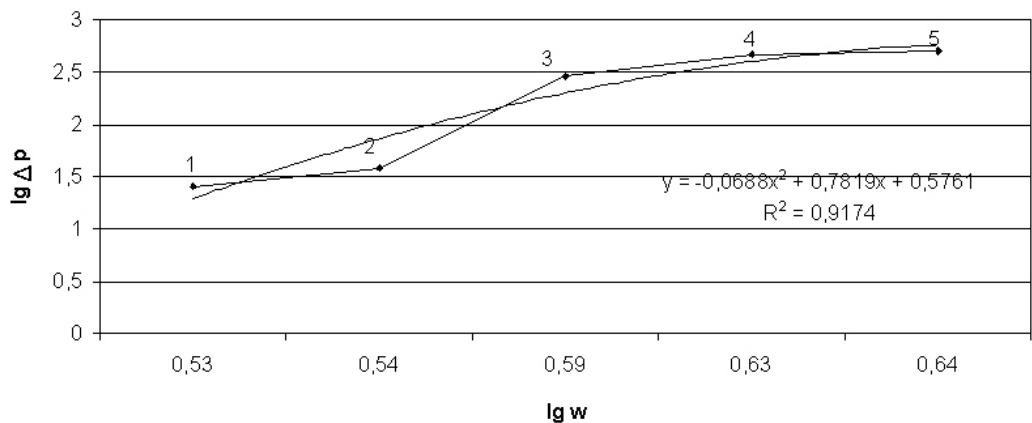
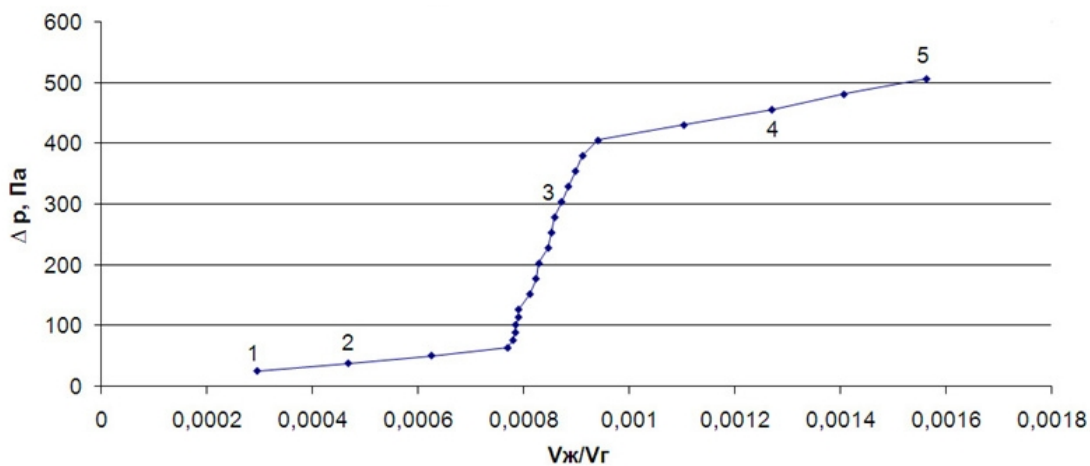


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта опору сухих тарілок від значення критерію Рейнольдса



1-2 – режим 1; 2-3 – режим 2; 3-4 – режим 3; 4-5 – режим 4

Рисунок 3 – Логарифмічна залежність гідравлічного опору контактної пристрою від швидкості газу



1-2 – режим 1; 2-3 – режим 2; 3-4 – режим 3; 4-5 – режим 4

Рисунок 4 – Залежність гідравлічного опору контактної пристрою від співвідношення об'ємних витрат рідини і газу

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 стало можливим способом математичних (комп'ютерних) моделювань у середовищі програмного продукту SolidWorks Simulation (<http://www.solidworks.com>). В проце-

сі моделювань були випробувані різні варіанти процесу із зміною конструктивних параметрів контактної масообмінно-сепараційного елемента. Змодельовані тривимірні моделі течій газового потоку з високодисперсною краплинною рідиною по елементах масообмінно-сепараційних пристроїв візуалізовано методами комп'ютерної графіки на рис. 5.

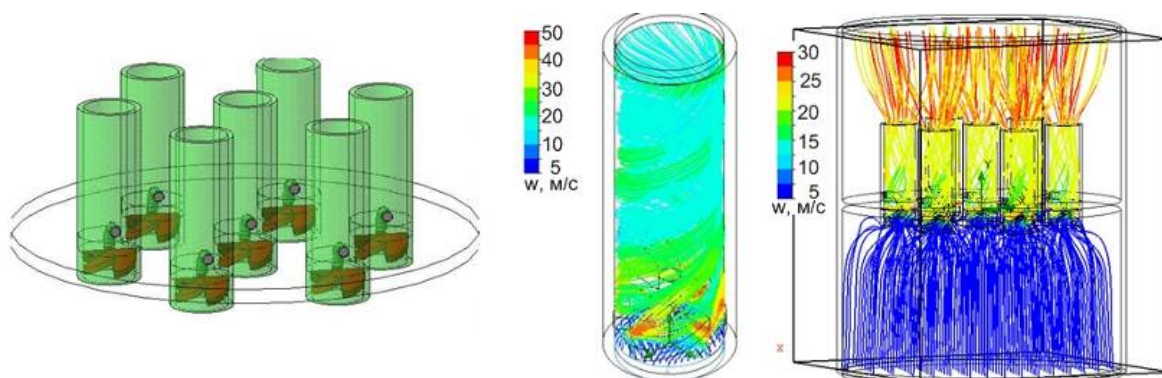


Рисунок 5 – 3D-модель тарілки з контактними елементами та траєкторії руху газового потоку із заливками за значенням локальних швидкостей

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].

Внесено зміни до конструкції прямооточно-відцентрового елемента (спрямоване стікання рідини через плівкознімач та сегментні отвори у полотні тарілки) створюють вигідні умови для протитечійного руху фаз на контактних тарілках та в межах колонного апарату. Дослідження гідродинаміки таких апаратів показали, що використання тарілок з протитечійним рухом фаз на контактних ступенях та прямоотечійним у відцентрових масообмінно-сепараційних елементах дає змогу значно збільшити поверхню контакту фаз і зменшити бризковинесення. Впровадження протитечійного руху на противагу перехресному уможливорює більш рівномірний розподіл і одночасне збільшення рушійної сили 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 фазах.

Література

1 Войнов Н.А. 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 / А.Є. Артюхов, К.В.Коробченко, О.О.Ляпощенко // Матеріали І міжнародної конференції молодих вчених ССТ 2010. Хімія та хімічні технології. – Львів, 2010. – С.96-97.

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

4 Пат. № 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.– 2с.: іл.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
17.10.11*

*Рекомендована до друку Оргкомітетом
науково-технічної конференції
“Нафтогазова енергетика – 2011”,
яка відбулася в ІФНТУНГ
10-14 жовтня 2011 р.*