

Б. А. Серябряков

ГІДРОДИНАМІКА ТА МАСОПЕРЕДАЧА ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ У ВІДЦЕНТРОВОМУ АПАРАТІ

В статті описано та обґрунтовано теоретичне та експериментальне дослідження гідродинаміки і масообміну у системі «газ – рідина» під впливом відцентрових сил, моделювання процесів, розробка методики інженерного розрахунку високоефективного енерго- і ресурсозберігаючого обладнання.

Ключові слова: гідродинаміка, масоперенос, центробіжний апарат.

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться мова у доповіді відносяться до галузі хімічного машинобудування. Масообмінні процеси мають велике значення в більшості хімічних виробництв. Металоемність колонних апаратів на підприємствах хімічної галузі становить 28 % від всієї металоемності або 20–50 % вартості всього технологічного устаткування. У цих умовах визначальне значення набуває підвищення інтенсивності масообмінних процесів і створення апаратів великої одиничної потужності, що входять до складу компактних малогабаритних установок і технологічних ліній. Зниження металоемності та енергетичних витрат поряд із підвищенням ефективності роботи апаратів можливо за допомогою використання відцентрових сил. Це дозволяє зменшити час перебування речовин в апараті, покращити керування процесами за рахунок зміни гідродинамічних факторів, а також зменшити енергетичні витрати при багатотоннажному виробництві.

2. Постановка проблеми

Обґрунтовано теоретичне та експериментальне дослідження гідродинаміки і масообміну у системі «газ – рідина» під впливом відцентрових сил, моделювання процесів, розробка методики інженерного розрахунку високоефективного енерго- та ресурсозберігаючого обладнання. Предметом досліджень є кінетика і механізм процесів масообміну, вплив гідродинамічних і масообмінних параметрів на процес і керуваність процесу.

3. Основна частина

3.1. Аналіз літературних джерел за темою дослідження. В роботах [1–2] проведений аналіз різних конструкцій роторних і відцентрових апаратів і дана їх класифікація. Показано, що найбільш перспективними для інтенсифікації тепломасообміну і створення малогабаритного устаткування

є високошвидкісні відцентрові апарати, що відносяться до групи апаратів з поверхню контакту у виді швидкісної постійно обновлюваної плівці рідини і з поверхнею, що розвивається у вільному обсязі, за рахунок інтенсивного краплеутворення. Розглянуто роботи, що висвітлюють гідродинаміку і кінетику масовіддачі в роторних апаратах.

3.2. Результати досліджень. В роботі [3] запропоновано модель руху двухфазного середовища, з урахуванням дії конструкції, яка визначена особливостями контактних пристроїв, що характеризує три зони контакту у відцентровому апараті.

Для контактної пристрою з радіальними лопатками запропонована розрахункова формула, що дозволяє визначити мінімальне число лопаток при якій запобігається віднесення рідкої фази

$$n_p = \frac{38,2\omega_0 R_n \sin(\gamma/2)}{(R_n - R_b)(R_n + R_b)}. \quad (1)$$

Теоретично визначені граничні режими роботи відцентрового апарата, що визначаються початком «захливання» його контактної пристрою. «Захливання» контактної пристрою відцентрового апарата визначається як навантаженням по фазах, так і швидкістю обертання ротора.

При роботі апарата в режимах близьких до граничних, збільшується товщина плівки рідини в шарі контактної пристрою за рахунок гальмування дії парового потоку. Це помітно позначається на ступені перекриття живого перетину каналів, що у свою чергу, обумовлюється збільшенням сил тертя між взаємодіючими фазами. «Захливання» контактної пристрою відбувається у внутрішньому його перетині тобто при $r = r_0$. У режимах, близьких до захливання, швидкість газу у внутрішньому перетині контактної пристрою значною мірою залежить від співвідношення навантаження по фазах і від швидкості обертання ротора.

Було експериментально визначено сумарне значення віднесення рідкої фази. Кількість віднесеної з контактної елемента рідини визначали сепараційним методом, що заснований на уловлюванні

віднесених крапель рідини у винесеному сепараторі-крапельвідбійнику. Це дозволяє відокремлювати не менш 99,3 % віднесеної з апарата рідини при максимальних швидкостях повітря, а зі зменшенням швидкості ефективність сепарації зростає до 99,8 %.

В роботі [4–6] представлені результати експериментального вивчення кінетики масовіддачі в рідкій і газовій фазах для перерахованих контактних пристроїв. Оскільки поверхня контакту фаз і її залежність від навантажень по фазах і швидкості обертання ротора залишалися невідомими, як характеристику швидкості масообміну використовувалася висота одиниці переносу в рідкій і газовій фазах.

Виявилось, що висота одиниці переносу, у рідкій фазі, у всіх випадках росте, а ефективність масовіддачі знижується з підвищенням навантаження по газу. При цьому щільність зрошення практично не впливає на інтенсивність масовіддачі в досліджуваному діапазоні її зміни. При зміні частоти обертання ротора від $n = 2000$ об/хв до 9000 об/хв, величина h_L зменшується в 2,5–4 рази для усіх вивчених типів контактних елементів.

Масообмін, контрольований газовою фазою в апараті з указаними контактними пристроями вивчали на прикладі десорбції аміаку з водяного розчину в потік повітря. Встановлено, що висота одиниці переносу h_G в газовій фазі росте зі збільшенням швидкості газу. Було встановлено, що для усіх вивчених конструкцій контактних елементів висота одиниці переносу знижується з ростом щільності зрошення і зі збільшенням частоти обертання ротора, тобто інтенсивність масовіддачі росте і висота одиниці переносу досягає величини приблизно 25–30 мм при частоті обертання ротора 5000 об/хв, що на порядок нижче значень h_G одержуваних при десорбції аміаку з водяного розчину в повітря в звичайних насадочних колонах.

Експериментально знайдені значення ΔP_{GL} послужили основою для одержання кореляційних залежностей, що дозволяють розрахувати гідравлічний опір апарату для вивчених контактних пристроїв.

Для діапазону навантажень по рідині від $0,7$ до 15 кг/(м²с) для усіх досліджених типів контактних пристроїв справедливе рівняння загального виду

$$\frac{\Delta P_{GL}}{\rho_G W_G^2} = Eu = A Re_G^{-a} Fr^b. \quad (2)$$

Показники ступеня a і b , та коефіцієнт A визначаються для кожного типу контактних пристроїв.

У випадку, коли навантаження по рідині перевищує межу усталеної роботи апарата, тобто $15 < Q_L < 55,5$ кг/(м²с) для досліджених контактних пристроїв після обробки експериментальних даних, отримані наступні рівняння:

$$\text{тип 1} - \Delta P_{GL}/\rho_G W_G^2 = 3,114 Re_G^{-0,72} \cdot Re_L^{0,2} Fr^{0,3};$$

$$\text{тип 2} - \Delta P_{GL}/\rho_G W_G^2 = 48,1 \cdot Re_G^{-0,85} \cdot Re_L^{0,2} Fr^{0,3};$$

$$\text{тип 3} - \Delta P_{GL}/\rho_G W_G^2 = 1,88 \cdot Re_G^{-0,54} \cdot Re_L^{0,2} Fr^{0,3}.$$

Середнє відносне відхилення розрахункових та експериментальних значень не перевищує 15 %.

Література

1. Машини та апарати у хімічних, харчових в переробних виробництвах [Текст] : підручник / Л. Л. Товажнянський, В. П. Шаповров, **В. Ф. Моїсєєв** та ін. — Х. : Колегіум, 2011. — 606 с.
2. Машини та апарати у хімічних, харчових в переробних виробництвах [Текст] : навч.-метод. посібник / **В. Ф. Моїсєєв**, І. В. Пітак та ін. — Х. : НТМТ, 2011. — 220 с.
3. Бубликова Є. В. Закономірності гідродинаміки та масопередачі процесу ректифікації у відцентровому апараті [Текст] : дис. канд. техн. наук / Є. В. Бубликова. — Х., 2008. — 182 с.
4. Бубликова Є. В. Технология озонирования при очистке сточных вод [Текст] / Є. В. Бубликова, Ю. В. Сіренко, **В. Ф. Моїсєєв** // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — 2004. — № 37 — С. 88–93.
5. Бубликова Є. В. Закономерности уноса жидкой фазы в центробежном тепло- массообменном аппарате [Текст] / Є. В. Бубликова, **В. Ф. Моїсєєв** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006, — № 6/3. — С. 34–38.
6. Бубликова Е. В. Исследование массообмена в центробежном теплообменном аппарате [Текст] / Е. В. Бубликова, **В. Ф. Моїсєєв** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007, — № 1/3. — С. 33–37.

ГИДРОДИНАМИКА И МАССОПЕРЕДАЧА ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ АППАРАТЕ

Б. А. Серебряков

В статье описано и обосновано теоретическое и экспериментальное исследование гидродинамики и массообмена в системе «газ — жидкость» под действием центробежных сил, моделирование процессов, разработка методики инженерного расчета высокоэффективного энерго- и ресурсосберегающего оборудования.

Ключевые слова: гидродинамика, массоперенос, центробежный аппарат.

Богдан Андреевич Серебряков, студент кафедры химической техники и промышленной экологии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», тел.: (093) 7124890, e-mail: bserebriakov@mail.ru.

HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER PROCESS OF RECTIFICATION IN A CENTRIFUGAL VEHICLE

B. Serebriakov

The article described and justified by theoretical and experimental study of hydrodynamics and mass transfer in a «gas — liquid» by centrifugal force, process modeling, development of methods of engineering calculation of highly energy- and resource-saving equipment.

Keywords: hydrodynamics, mass transfer, centrifugal machine.

Bogdan Serebriakov, student, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (093) 7124890, e-mail: bserebriakov@mail.ru.