

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ КРАПЕЛЬ ПРИ ДИСПЕРГУВАННІ
РІДИНИ В МАЛОГАБАРИТНОМУ РОТОРНОМУ
РЕКТИФІКАЦІЙНОМУ АПАРАТІ**

С.В. Сидоренко

Сумський державний університет, м. Суми

Розглянуті гідродинамічні особливості взаємодії фаз у контактному пристрої малогабаритного ректифікаційного апарату. Отримана залежність розміру крапель, що утворюються на виході з пакетів контактного пристрою при диспергуванні рідини. Побудовані графічні залежності діаметра крапель залежно від радіуса пакета насадки та швидкості обертання ротора.

Екологічна ситуація, що склалася сьогодні, є досить несприятливою та має стабільну тенденцію до погіршення. Постійне збільшення обсягів газопилових викидів, токсичних стоків та побутових й промислових відходів призводить до забруднення атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, постійного збільшення площ під складування твердих відходів і шламів.

Виробничі потужності, що працюють в Україні, мають переважно застарілі технології та обладнання, що проектувалося без урахування сучасних екологічних вимог.

Окремим напрямом розвитку природоохоронного обладнання є апарати для проведення тепломасообмінних процесів. Вони знайшли широке застосування у хімічній, нафтохімічній, металургійній, харчовій промисловості як обладнання для високоефективного очищення газових викидів та утилізації рідких відходів. Це абсорбери, скрубери, ректифікаційні колони та інше.

Традиційно це природоохоронне обладнання встановлювалось та сьогодні працює на потужних підприємствах зі значними обсягами утворення забруднюючих речовин. При цьому обладнання має великі одиничні потужності, значні габаритні розміри та відповідно значну метало- та енергоємність.

У той самий час виробничі лінії середньої та особливо малої потужності, або технологічні операції, де утворюється відносно «невелика» кількість шкідливих компонентів, взагалі не мають очисного обладнання або мають найпростіші конструкції з низькими показниками ефективності. Адже встановлення габаритних енергоємних систем на момент проектування було недоцільним унаслідок «незначного» впливу малопотужних виробництв на навколишнє середовище.

Сьогодні постає питання більш повного використання матеріалів, енергії та виробничих площ при постійному підвищенні екологічних вимог до виробництв.

Тому актуальним стає дослідження та розроблення малогабаритного та високоінтенсивного тепломасообмінного обладнання, яке при відносно невеликих розмірах та енергетичних витратах може давати значний природоохоронний та економічний ефект.

Таким обладнанням є клас малогабаритних роторних ректифікаційних апаратів (РРА) для проведення процесів у системі газ-рідина. Це обладнання реалізує спосіб організації взаємодії фаз у полі відцентрових сил.

Конструктивно апарат складається з ротора, всередині якого знаходиться контактний пристрій, ротор обертається на валу. Рідина подається всередину контактної пристрою та під дією відцентрового

прискорення рухається до периферії, газ – від периферії до центра в протитечії з рідиною (рис.1).

Рідина та газ усередині насадки взаємодіють в плівковому режимі на поверхні насадкових тіл або у струменево-краплинному режимі у вільному об'ємі апарату. Залежно від цього РРА поділяють на плівкові, розпилювальні та комбіновані плівково-розпилювальні.

Аналіз попередніх робіт щодо дослідження РРА [1-4] дозволив запропонувати контактний пристрій, що складається з кільцевих вісесиметричних пакетів насадки, встановлених на деякій відстані один від одного. Пакети виготовляються з металеві сітки заданого розміру чарунок та дроту (рис.2).

Опис гідродинамічних умов усередині контактної пристрою є важливим для визначення основних габаритних розмірів контактної пристрою та режимів роботи апарата.

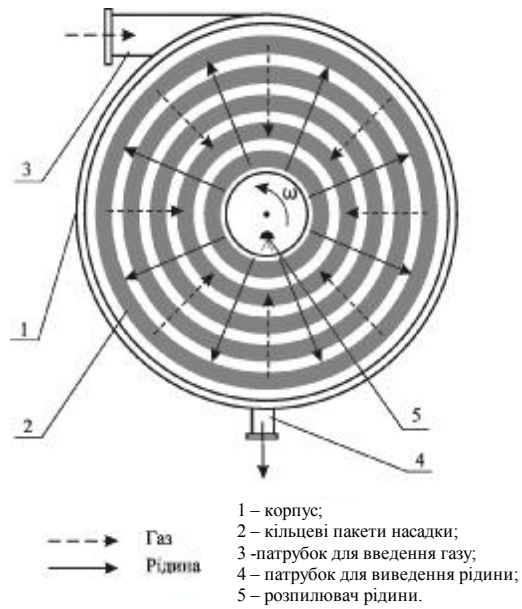


Рисунок 1 – Схема РРА

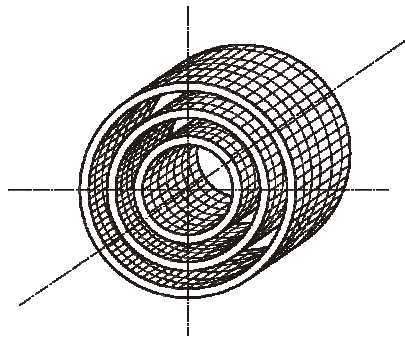


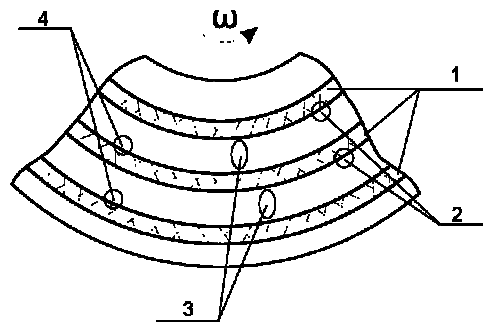
Рисунок 2 – Контактний пристрій РРА

У цьому контактному пристрої рідина всередині кільцевих пакетів перебуває в плівковому стані, на виході з кожного пакета за рахунок відцентрових сил відбувається диспергування рідини. У проміжках між пакетами насадки рідина перебуває у вигляді дрібнодисперсної краплинної фази. На вході до наступного пакета насадки відбувається бомбардування змоченої поверхні насадки краплями диспергованої рідини (рис.3).

Тобто в проміжку між пакетами насадки спостерігаються три характерних режими, що потребують дослідження.

Рисунок 3 – Характерні гідродинамічні зони в контактному пристрої РРА:

- 1 - кільцеві пакети насадки;
- 2 - зона відриву крапель (диспергування);
- 3 - зона вільного польоту;
- 4 - зона удару (бомбардування)



Розглянемо утворення крапель на виході з кільцевого пакета насадки. Етап формування краплі та її відрив є важливим для розгляду подальшої гідродинамічної обстановки всередині контактної пристрою. Розмір крапель, що утворюються, їх початкова швидкість визначають режим польоту в проміжку між двома кільцевими пакетами та характер удару об наступний пакет. Формування та відрив крапель рідини визначають циркуляцію всередині краплі, кінцеві ефекти, які при цьому присутні, істотно впливають на масообмін в апараті.

Опис гідродинаміки рідкої фази ускладнюється дією газової фази, що рухається протитечією рідини.

При диспергуванні рідкої фази на виході з пакета насадки подрібненню підлягають струмені або плівка рідини залежно від конструктивних особливостей пакетів насадки та густини зрошення.

Розпад струменів рідини на краплі й дроблення крапель відбуваються під дією зовнішніх і внутрішніх сил.

До зовнішніх – аеродинамічних сил – відносять сили взаємодії рідини із газовою фазою. Їх значення залежить від щільності навколишнього середовища, швидкості струменя й розмірів краплі рідини. До зовнішніх сил відносять також сили взаємодії при зустрічі струменів із твердою поверхнею. Збільшення швидкості руху струменів щодо зовнішнього середовища приводить до збільшення впливу зовнішніх сил, що інтенсифікує їхнє дроблення.

До внутрішніх сил відносять молекулярні сили й турбулентність потоку. Збільшення швидкості витікання сприяє збільшенню інтенсивності турбулентних пульсацій, що інтенсифікує дроблення рідини.

Дроблення струменя й утворення крапель відбуваються в такий спосіб. Під дією зовнішніх сил і турбулентних пульсацій завись рідини, що утворюється на виході з пакета насадки, розпадається на частинки різної форми. Малі частинки під дією сил поверхневого натягу приймають форми кулі й утворюють краплі, великі частинки продовжують розпадатися далі.

Автор роботи [5] показує, що формування монодисперсного потоку крапель можливо при використанні розпилювальних пристроїв з регулярною пористою структурою.

У запропонованому контактному пристрої забезпечується регулярна структура як за розмірами чарунок сітки (або пор), так і за розмірами та структурою, що утворюють сітку дротів (волокон).

Розглянемо процес утворення та відриву крапель від поверхні кільцевого пакета. Важливою характеристикою процесу диспергування є розмір крапель, що утворюються.

Для малих навантажень по рідині, прирівнявши відцентрову силу, що діє на краплю, до сили поверхневого натягу, отримаємо значення максимального критичного передвідривного об'єму V_* , а також значення

діаметра еквівалентної (по об'єму) сфери D_* $\left(\frac{\pi}{6} D_*^3 = V_*\right)$:

$$\frac{\pi D_*^3}{6} \rho_p r \omega^2 = \pi D_* \sigma, \quad (1)$$

де ρ_p - щільність рідини;
 r - радіус контактної пристрою;
 ω - кутова швидкість;
 σ - коефіцієнт поверхневого натягу.

Із рівняння (1) виразимо значення еквівалентного діаметра:

$$D_* = \sqrt{\frac{6\sigma}{\rho_p \omega^2 r}} . \quad (2)$$

Отримана залежність встановлює еквівалентний (по об'єму) діаметр краплі перед відривом. Але на практиці крапля перед відривом часто розділяється на дві частини, одна з яких відривається у вигляді краплі.

Тому

$$d_k = kD_* , \quad (3)$$

де d_k - діаметр краплі;

k - коефіцієнт, що враховує зменшення об'єму перед відривом ($k < 1$).

Звідси маємо

$$d_k = kD_* = k \sqrt{\frac{6\sigma}{\rho_p \omega^2 r}} . \quad (4)$$

У багатьох випадках формування краплі відбувається на виході з каналу або на зерні диспергуючого пристрою (елементі насадки). У цьому разі діаметр відривного перерізу має фіксоване значення d_0 , яке визначається характерними геометричними характеристиками контактної пристрою:

$$\frac{\pi D_*^3}{6} \rho_p r \omega^2 = \pi d_0 \sigma . \quad (5)$$

Звідси еквівалентний діаметр дорівнює

$$D_* = \sqrt[3]{\frac{6d_0 \sigma}{\rho_p \omega^2 r}} . \quad (6)$$

З урахуванням коефіцієнта зменшення об'єму діаметр краплі визначається так:

$$d_k = kD_* = k \sqrt[3]{\frac{6d_0 \sigma}{\rho_p \omega^2 r}} . \quad (7)$$

Залежності (4) та (7) отримані за відсутності опору газу. У контактних пристроях РРА рідина в диспергуючому пристрої (пакеті насадки) рухається з кінцевою швидкістю в протитечії з газом. Тому з урахуванням опору газу маємо

$$\frac{\pi D_*^3}{6} \rho_p r \omega^2 - \xi k_\phi \frac{\pi D_*^2}{4} \cdot \frac{\rho_g w_{відн}^2}{2} = \pi D_* \sigma , \quad (8)$$

де ξ - коефіцієнт гідравлічного опору;

k_ϕ - коефіцієнт форми, що враховує відмінність форми краплі від сферичної;

ρ_g - щільність газу;

$w_{відн}$ - відносна швидкість руху фаз.

Звідси діаметр краплі після відриву з урахуванням коефіцієнта зменшення об'єму дорівнює

$$d_k = kD_* = k\xi \left(k_\phi \frac{\rho_z w_{відн}^2}{4\rho_p r \omega^2} + k \sqrt{\left(\xi \ k_\phi \frac{\rho_z w_{відн}^2}{4\rho_p r \omega^2} \right)^2 + \frac{12\sigma}{\rho_p r \omega^2}} \right) \quad (9)$$

Після відриву з поверхні насадки крапля під дією відцентрових сил рухається у вільному просторі між двома кільцевими пакетами.

Краплі, які утворюються при диспергуванні, мають початкову швидкість, що відповідає швидкості півки або струменів на виході з пакета насадки.

Значення діаметра крапель, що утворюються, розраховані за формулою (9) залежно від радіуса контактної пристрою, на якому відбувається диспергування, для фіксованої швидкості обертання, залежно від частоти обертання та від відцентрового прискорення $a_{вц} = \omega^2 r$ – наведені на рис.4-6. При побудові залежностей швидкість газу на виході з контактної пристрою (на радіусі 50мм) бралася 5 м/с.

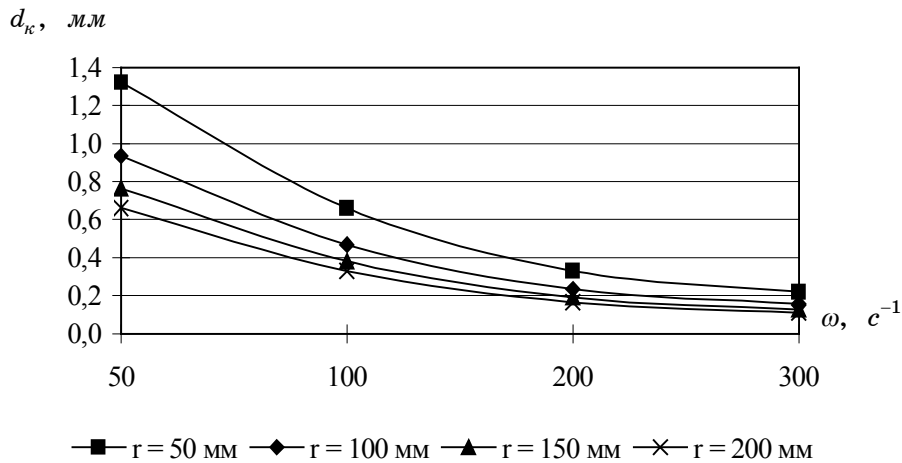


Рисунок 4 – Залежність розміру крапель від частоти обертання ротора

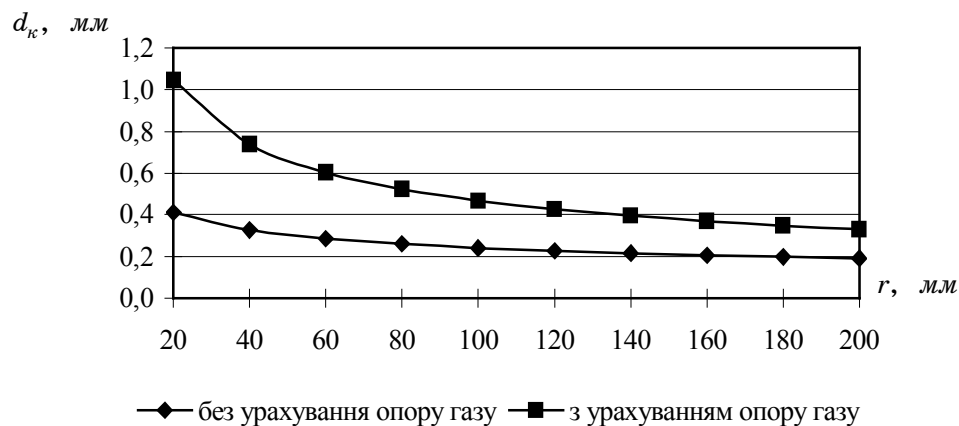


Рисунок 5 – Залежність розміру крапель від радіуса контактної пристрою, на якому відбувається диспергування, при фіксованій частоті обертання $\omega = 100 c^{-1}$

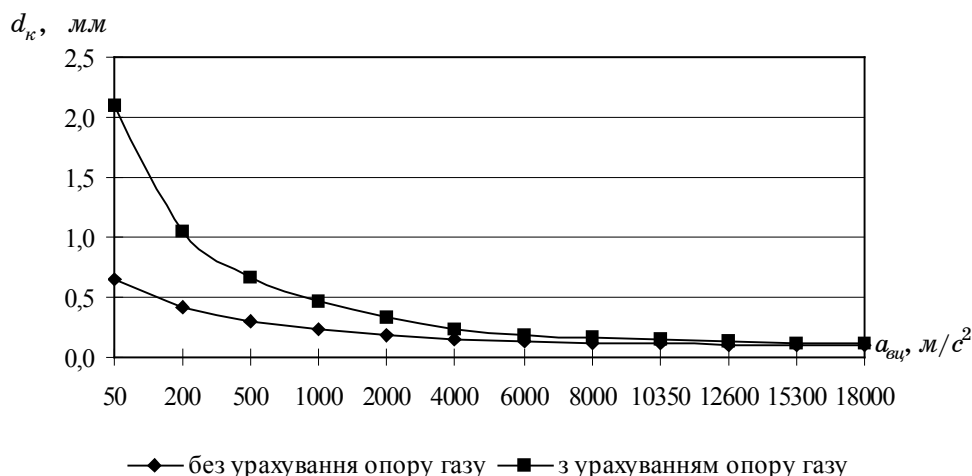


Рисунок 6 – Залежність розміру крапель від відцентрового прискорення

Розмір крапель, що утворюються при диспергуванні в контактному пристрої, як було зазначено вище, є важливою характеристикою, від якої залежить подальший режим процесу взаємодії фаз у РРА. Але при аналізі результатів розрахунків (або експериментальних досліджень) для проектування розмірів та режиму роботи РРА найбільш доцільно використовувати залежність розміру частинок рідини від відцентрового прискорення (рис.6). Така залежність дає можливість створювати необхідні гідродинамічні умови в широкому спектрі габаритних розмірів та швидкостей обертання, що дозволяє спроектувати оптимальний РРА для розв'язання конкретних задач.

SUMMARY

SIZING OF DROPS AT LIQUID DISPERSION IN THE COMPACT ROTOR RECTIFICATION DEVICE

S.V. Sidorenko, postgraduate student

Considered hydrodynamic features of phase's interaction in the contact device of small-sized rotor rectification device. Received the dependence of the drops size which are formed on an exit from packages of the contact device at liquid dispersion. Constructed graphic dependences of drops diameter depending on radius of a package bed and speed of rotation.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии)/Под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1988. – 240с.
2. Лазненко Д.О. Розробка і дослідження малогабаритних апаратів для процесів ректифікації: Дис...канд.техн.наук: 05.17.08. – Суми, 2001.
3. Олевский В.М., Ручинский В.Р. Ректификация термически нестойких продуктов. – М.:Химия, 1972. – 200с.
4. Симаков Н.Н. Гидродинамика двухфазного потока как основа моделирования и расчета межфазного тепло- и массообмена в процессах с распыливанием жидкости: Дис...д-ра.физ-мат наук: 05.17.08. – Ярославль, 2003.
5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. 256 с.

Сидоренко С.В., аспірант, СумДУ, м. Суми

Надійшла до редакції 5 листопада 2007 р.