DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-74-81

УДК 066.015.23

АНАЛІЗ РОБОТИ ТЕРІЛОК ПРОВАЛЬНОГО ТИПУ З ВІЛЬНІМ ПЕРЕРІЗОМ ДО 25 %

Тараненко Г.В.

ANALYSIS OF THE WORK OF DUAL-FLOW SIEVE TYPE PLATES WITH FREE SECTION UP TO 25 %

Taranenko G.V.

В статті розглянута робота тарілок провального типу з вільним перерізом до 25 %. На гідродинамічні характеристики тарілок провального типу найбільше впливає їх вільний переріз. Тарілки дозволяють використовувати їх при роботі з забрудненими середовищами, так як прохід пари і рідини, через отвори що чергується, забезпечує їм дію, що самоочищує. розглянути гідродинамічні характеристики газорідинного шару на тарілці провального типу на основі рівняння Бернуллі в трьох перерізах. Перше, на рівні плато тарілки, друге – на рівні H ≈ 0,1 м від плато тарілки та третє – на виході з газорідинного шару. Було встановлено, що є три режими роботи тарілок провального типу. При низьких витратах газу спостерігається режим змочування, коли відбувається контакт газу з рідиною, яка затримується на тарілці. При подальшому збільшенні витрати газу розвивається барботажний режим, у якому газ проходить через рідину, як окремі бульбашки. Відбувається збільшення висоти піни за рахунок рівномірного потоку газу через отвори тарілки. Ще більш велике збільшення витрат газу та рідини призводить до розвитку пінного режиму. Відзначено, що на тарілках провального типу можна виокремити три режими роботи: режим однорідного барботажного шару; режим рухомого газоридинного шару; режим руйнування газоридинного шару. У колонних з невеликим діаметром D = 0,057 і 0,15 м і звичайним вільним перерізом (f < 0,25) газорідинний шар при швидкості, що перевищує w_{max}, починає різко збільшуватися до його виходу через верх колони. У колоні промислового розміру D = 2 м, при збільшенні швидкості газу вище w_{max}, через частину рідини на тарілці газ взагалі не барботується, а через іншу частину тарілки газ проходить з більшою швидкістю, ніж середня швидкість, розрахована на повний переріз колони. Показана особливість роботи таких масообмінних тарілок на відміну від тарілок з великим вільним перерізом >30 %. Робота тарілок з вільним перерізом до 25 %, пов'язана з параметром Т, що являє собою відношення суми периметрів всіх отворів плато тарілки до її діаметра.

Ключові слова *отвір, параметр, вільний переріз, діаметр, тарілкаи провального типу*

Вступ У сучасній промисловості широко використовуються тарілки провального типу для здійснення процесів абсорбції та ректифікації. На гідродинамічні характетистики тарілок провального типу найбільше впливає їх вільний переріз. При дослідженні тарілок провального типу необхідно звертати увагу, як впливає вільний прерріз тарілок на їх гідродинамічні характеристики.

Постановка проблеми. Метою роботи є дослідження гідродинамічних характеристик тарілок провального типу з вільним перерізом до 25%. Це є найбільше розповсюдженний тип тарілок, який використовується в промисловості. Тому дослідження таких тарілок, з метою удосконалення методики їх розрахунку, є актуальною задачею.

Тарілки дозволяють використовувати їх при роботі з забрудненими середовищами, так як прохід пари і рідини, через отвори що чергується, забезпечує їм дію, що самоочищує [1].

Крім цього, розглянути гідродинамічні характеристики газорідинного шару на тарілці провального типу на основі рівняння Бернуллі в трьох перерізах. Перше, на рівні плато тарілки, друге – на рівні H ≈ 0,1 м від плато тарілки та третє – на виході з газорідинного шару.

Визначити розрахунок точки біфуркації газорідинного шару за діаметром отворів у тарілці провального типу d_0 = 0,012 м.

Провести дослідження гідродинамічних характеристик тарілок провального типу з діаметром отвору d_0 = 0,023 м та вільним перерізом f = 0,16.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [2] були проведені дослідження тарілок провального типу в скрубері на системі повітря-вода. Вивчали режими роботи таких тарілок. Було встановлено, що є три режими роботи тарілок провального типу. При низьких витратах газу спостерігається режим змочування, коли відбувається контакт газу з рідиною, яка затримується на тарілці. При подальшому збільшенні витрати газу розвивається барботажний режим, у якому газ проходить через рідину, як окремі буль-

башки. Відбувається збільшення висоти піни за рахунок рівномірного потоку газу через отвори тарілки. Ще більш велике збільшення витрат газу та рідини призводить до розвитку пінного режиму.

В [3] повідомлюється, что на тарілках провального типу можна виокремити три режими роботи:

– режим однорідного барботажного шару;

– режим рухомого газоридинного шару;

– режим руйнування газоридинного шару.

Режими роботи діють у певному діапазоні роботи масообмінної тарілки.

Для щільності зрошення (L) існують мінімальна (w_{min}) та максимальна (w_{max}) швидкості газу, які характеризують діапазон стійкої роботи тарілки.

За швидкість w_{min} приймали швидкість газу, при L = const, при якій на тарілці провального типу з'являвся стійкий барботажний шар.

При швидкості w_{max} газорідинний шар на тарілці починав руйнуватися.

У колонних з невеликим діаметром D = 0,057 і 0,15 м і звичайним вільним перерізом (f < 0,25) газорідинний шар при швидкості, що перевищує w_{max}, починає різко збільшуватися до його виходу через верх колони.

У колоні промислового розміру D = 2 м, при збільшенні швидкості газу вище w_{max}, через частину рідини на тарілці газ взагалі не барботується, а через іншу частину тарілки газ проходить з більшою швидкістю, ніж середня швидкість, розрахована на повний переріз колони.

На рис. 1 представлена структура барботажного шару, що характерна для висоти барботажного шару до $H \approx 0{,}1$ м.

Як видно з рисунка, барботажний шар характеризується однорідною у всіх напрямках структурою комірчастої піни, горизонтальною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється в часі, для одних і тих же швидкостей газової та рідкої фаз.

Це свідчить, що у барботажному шарі сили тяжкості перевищують сили інерції рідини. Можна вважати, що барботажний шар в цьому режимі, як система, що самоорганізується, знаходиться в рівновазі, так як сили гідростатичного тиску і масові сили постійні в часі в будь-якій точці барботажного шару. Вектор швидкості руху рідини має один напрямок – зверху донизу. Так як на газорідинний шар не діють зовнішні сили, а діють лише сили, в результаті яких він утворений, то таку систему можна назвати, системою, що самоорганізується. Крім того, барботажний шар практично симетричний щодо осей координат, початок яких розташовується на центральній вертикальної осі тарілки провального типу.

При досягненні висоти газорідинного шару більшої $H \approx 0{,}1$ м він втрачає стійкість (рис. 2). Утворюється рухомий газорідинний шар, який характеризується відсутністю структурованої пористої піни. Вільна поверхня газорідинного шару криволінійна. Її висота змінюється в часі для тих самих швидкостей газової і рідкої фаз і має амплітуду і частоту. У газорідинному шарі спостерігаються флуктуації таких параметрів, як гідравлічний опір та висота газорідинного шару, а також швидкостей руху рідини, що мають хаотичний напрямок. Це свідчить, що сили інерції рідини у такому газорідинному шарі перевищують сили тяжкості.

Рис. 1. Робота тарілки провального типу у режимі однорідного барботажного шару: L = 12,7 м^3/(м^2·ч), w = 0,72 м/с.

Рис. 2. Робота тарілки провального типу в режимі рухомому газорідинного шару: L = 12,7 м^3/(м^2·ч), w = 0,83 м/с.

Крім цього, газорідинний шар втрачає симетричність щодо осей координат, початок яких розташовується на центральній вертикальній осі тарілки провального типу

У [4] запропоновано розглядати газорідинний шар на тарілці провального типу, як місцевий гідравлічний опір для проходження як газу, так і рідини. Автори записали рівняння Бернуллі для двох перерізів газорідинного шару, один з яких розташовується в площині тарілки, а другий на виході з шару піни. Зазначається, що для потоку газу істотним є те, що його швидкість при проходженні через шар піни різко змінюється від швидкості газу в отворах тарілки w_0 до швидкості газу, w, при виході його з шару піни. При цьому зазвичай $w_0^2 > w^2$ в 25 – 100 разів.

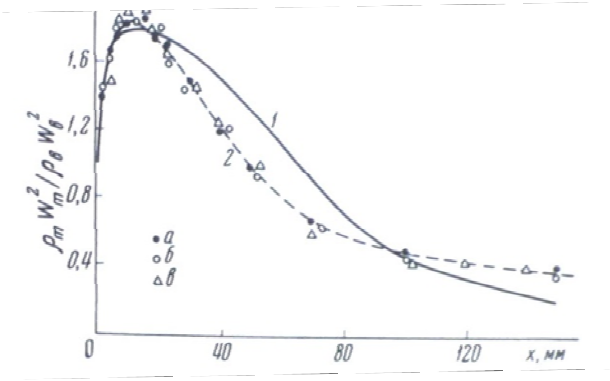

Рис. 3. Порівняння витоку повітряного струменя через отвір у стінці, в повітря і воду (d_0 = 10 мм, w_0 = 43 м/с);
1 – повітря – повітря, 2 – повітря – вода:
а – = 300; б – 200; в – 150 мм;
x – відстань до площини отвору, мм

На рис. 3 наведені графіки порівняння вимірювання динамічних напорів на осі повітряних струменів, що витікають через отвір у стінці, повітря і воду, для отвору 10 мм і швидкості w_0=43 м/с.

З графіків видно, що обидві криві близькі у всій області вимірів. Це дозволяє зробити висновок, що ядро газорідинного струменя на досить великих відстанях від отвору залишається газовим.

Аналіз даних [5] показує, що характер витоку газу з отвору в стінці, у воду і повітря однаковий. Динамічний напір має максимальне значення поблизу отвору в стінці і приймає мінімальне значення на відстані близько 100 мм від отвору в стінці.

В [6] були проведені вимірювання динамічного тиску в одиночному отворі «сухої» тарілки провального типу з вільним перерізом f = 16,3, 25 і 35,6 %.

Динамічне тиск вимірювали датчиком, який являв собою бронзову трубку довжиною 0,9 м і зовнішнім діаметром 0,008 м. Всередину трубки була поміщена мідна трубка діаметром 0,004 м і довжиною 1 м. Нижній кінець датчика був запаяний так, що внутрішня трубка розташовувалась по центру. Внутрішня трубка призначалася для вимірювання повної енергії газового потоку. У нижній частині датчика, в безпосередній близькості від входу у внутрішню трубку, у зовнішній трубці були просвердлені чотири отвори діаметром 0,002 м для відбору статичного тиску газу.

Трубки для відбору повного та статичного тиску приєднували до мікроманометру, який показував різницю між повним і статичним тиском, тобто. динамічний тиск.

Датчик розташовували на осі колони над центром тарілки провального типу. Його можна було встановлювати різною висоті від плато тарілки.

Геометричні характеристики досліджених тарілок провального типу наведено у таблиці1.

Таблиця 1

Геометричні характеристики тарілок провального типу

Номер тарілки	Вільний переріз *f, %*	Діаметр отворів, d_0, м	Число отворів, *n*, од.
1	16,3	0,023	1
2	25	0,0285	1
3	35,6	0,034	1
4	14,6	0,005	19
5	25,4	0,005	33
6	36,1	0,005	47

Діаметр колони, у який досліджувалися тарілки, становив D = 0,057 м.

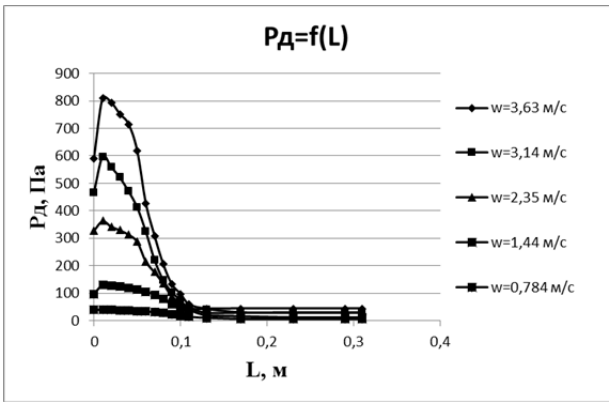

Рис. 4. Графіки залежності динамічного тиску (*Рд*, Па) від відстані до плато тарілки (*L*, м) для різних значень швидкості газу в перерізі колони (*w*, м/с). Тарілка № 1, табл. 1

На рис. 4 представлені графіки зміни динамічного тиску на різній відстані від плато тарілки (з одним отвором) для низки швидкостей газу в перерізі колони.

В [6] були проведені вимірювання статичного тиску на різній відстані від плато тарілки.

Результати вимірів представлені на рис. 5

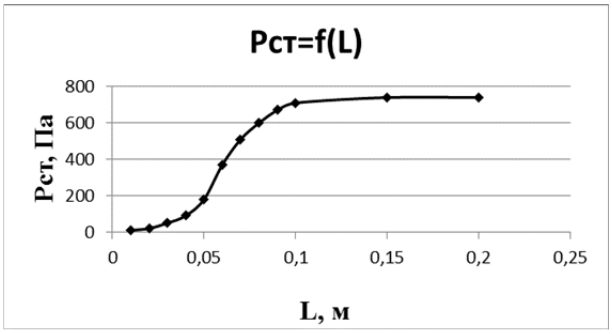

Рис. 5. Графік залежності локального статичного тиску ($P_{ст}$, Па) від відстані до плато тарілки (L, м) для швидкості газу в перерізі колони w = 3,6 м/с. Діаметр отвору становив d_0= 0,023 м.

З графіків видно, що різка зміна динамічного (рис. 4) та статичного тиску (рис. 5) газового струменя відбувається на відстані близько L = 0,1 м від плато тарілки.

В [7] було запропоновано рівняння (1) для розрахунку точки біфуркації барботажного шару на тарілках провального типу

$$lg\left(\frac{Y}{T^{0,5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X. \quad (1)$$

Рівняння (1) привели до вигляду рівняння (2)

$$Y/T^{0,5}=1,188*10^{-1,68*X} \quad (2)$$

Значення Y визначаємо за рівнянням (3)

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_п}{\rho_р} \cdot \left(\frac{\mu_р}{\mu_в}\right)^{0,16} \quad (3)$$

Значення X визначаємо за рівнянням (4)

$$X = \left(\frac{G_р}{G_п}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_п}{\rho_р}\right)^{1/8} \quad (4)$$

Шукане значення вільного перерізу тарілки провального типу визначаємо методом послідовного наближення за рівняннями (2) – (4).
Фізико-хімічні константи в рівняннях (2) – (4) враховували з урахуванням кореляції Шервуда [9, 10].

До рівняння (2) входить параметр Т, який є відношенням суми периметрів всіх отворів плато тарілки до її діаметру [3]. Таким чином, параметр Т є функцією таких геометричних параметрів тарілки провального типу, як її діаметр, вільний переріз і діаметр отворів плато тарілки. Це дає можливість за рівняннями (2) - (4) розраховувати вільний переріз тарілок провального типу за заданою швидкістю, розрахованою на повний переріз колони, для різних діаметрів колони. Отже, можливе гідродинамічне моделювання тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками.

У [11] говориться, що ефективність масопереносу при дистиляції пов'язана з динамікою руху рідини на тарілках провального типу. Це визначає структуру газоріднинного шару та область контакту між газовою та рідкою фазами. Таким чином, режими роботи тарілок безпосередньо впливають на їхню ефективність. Більшість із цих досліджень вивчають перехід від пінного режиму роботи до струменевого режиму.

Традиційно сприймається картина, що пінний режим складається з бульбашок у рідині, яка є суцільною фазою і струменевий режим, який складається з крапель у газовій безперервній фазі.

Ці визначення пінного і струменевого режимів передбачає раптову зміну природи двофазної суміші та передбачає два окремі вирази міжфазної області для прогнозування ефективності масообмінної тарілки для цих двох режимів.

У [11] запропоновано модель структури піни на тарілці провального типу діаметром 0,153 м дистиляційної колони. На тарілці піна визначена як комбінація бульбашок і безперервних струменів газу.

Ця ефективна модель застосовується як для піни, так і режиму розпилення. У ній підсумкова ефективність оцінюється шляхом складання вкладів як бульбашок, так і струменів, які присутні в дисперсії.

$$E_{OG} = (1 - f_i)E_B + f_i E_j \quad (5)$$

де E_{OG} – загальна точка ефективності;

E_B – загальна точка ефективності барботажної зони;

E_j – загальна точка ефективності для струменевої зони;

f_i – об'ємна частка газу, що обходить бульбашки у вигляді безперервних струменів;

$$E_B = (1 - FSB)E_{LB} + FSB * E_{SB} \quad (6)$$

де E_{LB} – загальна точка ефективності великих бульбашок;

E_{SB} – загальна точка ефективності для малих міхурів;

FSB – частка малих міхурів.

В [1] досліджено тарілки провального типу, які встановлювалися в колонах великого діаметру, в умовах дистиляції. Було запропоновано моделі прогнозування їх ефективності для тарілок з вільним перерізом 15 – 25% та діаметром отворів 12 – 25 мм. Відстань між тарілками складала 0,3 – 0,6 м.

Моделі для прогнозування ефективності були засновані на оцінці впливу величини уносу на загальну ефективність масообмінної тарілки провального типу.

Встановлено, що при високих навантаженнях на колону ректифікації, вплив уносу на ефективність масообмінних тарілок може бути виражений співвідношенням:

$$E_w/E_p = \frac{1}{1+E_p\Psi/(1-\Psi)} \quad (7)$$

або

$$\Psi = \frac{1-\phi}{\phi E_p + (1-\phi)} \quad (8)$$

де $\phi = E_w / E_p$ – відношення «мокрої» ефективності (з уносом) до піку кривої «сухої» ефективності;

$E_w -$ «мокра» эфективність;

$E_p -$ пик кривої «сухої» эфективності;

Ψ – знижуючий фактор ефективності з уносом, у парі

В [3] проводилися дослідження ефективності роботи тарілок провального типу на стенді з колоною 0,3 м при ректифікації системи метанол-вода (50 мол.%). На стенді з колоною 0,15 м досліджували масообмін при десорбції двоокису вуглецю із води азотом.

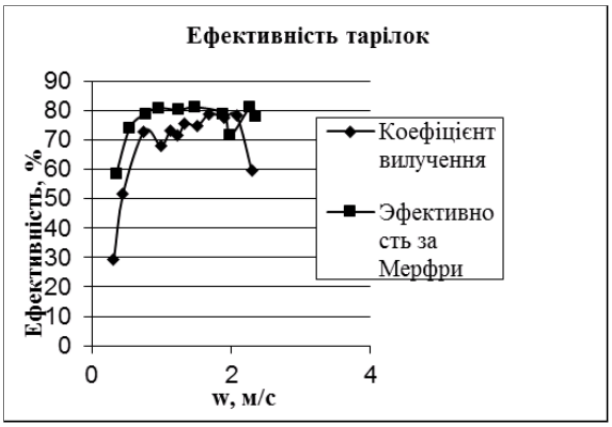

Рис. 6. Графіки залежності коефіцієнта вилучення для умови ректифікації та ефективності по Мерфрі в рідкій фазі для умов десорбції двоокису вуглецю з води азотом

В [3] також представлений, на рис. 7 графік залежності гідравлічного опору тарілки провального типу від швидкості газу в перерізі колони в умовах десорбції двоокису вуглецю з води азотом.

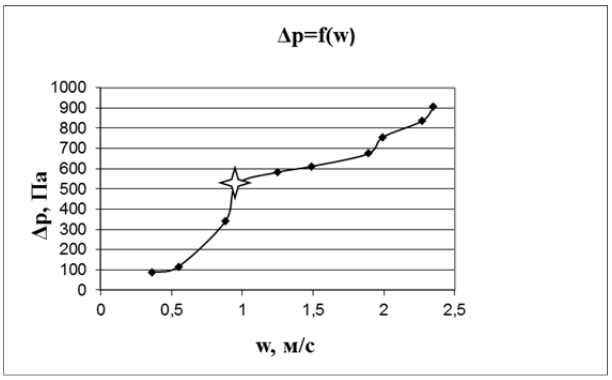

Рис. 7. Графік залежності гідравлічного опору від швидкості газу в перерізі колони в умовах десорбції двоокису вуглецю із води азотом.
Щільність зрошення L = 12,7 м^3/(м^2·ч).

- Точка біфуркації

З порівняння графіків залежності ефективності та гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колони видно, що в режимі однорідного барботажного шару ефективність та гідравлічний опір зростають пропорційно швидкості газу в перерізі колони. Максимальна ефективність масопереносу тарілок досягається у точці біфуркації. Як зазначалося раніше, при цьому режимі пінний шар відрізняється стабільністю своїх параметрів у часі. Для розрахунку кінетичних характеристик тарілок, у цьому випадку, застосовують рівняння, що базуються на дифузійній моделі перенесення маси через поверхню розділу фаз.

Після точки біфуркації, в режимі рухомого газоріднинного шару, гідравлічний опір та ефективність мало залежать від швидкості газу (пара) у перерізі колони. Параметри газоріднинного шару нестабільні у часі (вони мають амплітуду та частоту зміни своїх значень у довільно вибраній точці шару). Для розрахунку кінетичних параметрів масопередачі в цьому режимі обгрунтовано використовувати рівняння, що засновані на моделях оновлення поверхні масопереносу з використанням таких параметрів як θ (час контакту або період оновлення елементів поверхні контакту фаз) і s (швидкість оновлення поверхні).

Зі сказаного можна зробити висновок, що для промислового використання тарілок провального типу, можна рекомендувати використовувати роботу тарілок у режимі рухомого газоріднинного шару, коли ефективність тарілок провального типу максимальна, а гідравлічний опір тарілок не збільшується.

З літературного огляду можна зробити наступні висновки. Газоріднинний шар на тарілці провального типу слід розглядати як місцевий опір для проходження як газу, так і рідини [4]. Крім двох перерізів, які розглядаються в роботі, необхідно розглянути характерний переріз, який розташовується на відстані $H \approx 0{,}1$ м від її плато [3].

У цьому перерізі [6] відбувається різка зміна динамічного (рис. 4) та статичного тиску (рис. 5) газового струменя, що витікає в газову фазу, з одиночного отвору в тарілці, динамічний тиск різко зменшується, а статичний тиск різко збільшується.

В роботі [5] розглядався виток газового струменя в рідину і для порівняння – виток газового струменя в газову фазу. Робиться висновок, що ядро на доволі великих відстанях від отвору залишається газовим.

Таким чином, оскільки виток газового струменя в рідину і газ практично однаковий, висновки, зроблені в [5], які стосувалися гідродинаміки витоку газового струменя в газ і рідину, можна поширити на висновки, зроблені в [6], які стосувалися витоку газового струменя в газову фазу.

Таким чином, оскільки виток газового струменя в рідину і газ практично однаковий, висновки, зроблені в [5], які стосувалися гідродинаміки витоку газового струменя в газ і рідину, можна поширити на

висновки, зроблені в [6], які стосувалися витоку газового струменя в газову фазу.

Численні експерименти, проведені в [3], на тарілках провального типу з різним вільним перерізом, при різних навантаженнях по газу та рідині, які були проведені в колонах різного діаметра, показують, що біфуркація газорідинного шару здійснюється при висоті газорідинного шару $H \approx 0{,}1$ м.

На цій висоті кінетична енергія газового потоку переходить у кінетичну енергію рідини на тарілці провального типу, здійснюючи його турбулізацію, що говорить про перехід режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідинного шару.

У [7, 8] запропоновано рівняння (2) – (4) для розрахунку межі роботи в точці біфуркації газорідинного шару на тарілках провального типу.

Також за рівняннями (2) – (4) можна визначити значення вільного перерізу тарілки провального типу методом послідовного наближення.

Фізико-хімічні константи в рівняннях (2) (4) враховували з урахуванням кореляції Шервуда [9, 10].

В [11] досліджувалась ефективність тарілок провального типу в дистиляційній колоні діаметром 0,153 м. Загальна ефективність оцінювалася за рівняннями (5) та (6) у яких вона складалася з ефективності барботажної та струминної зон. Причому, у свою чергу, ефективність барботажної зони складалася з ефективності великих бульбашок та ефективності для малих бульбашок пари.

У [1] було проведено дослідження ефективності тарілок провального типу за умов ректифікації різних бінарних систем.

Ефективність масообмінних тарілок визначали за рівняннями (7) і (8) по відношенню до «мокрою» ефективності (з уносом) до піку кривої «сухої» ефективності.

Геометричний параметр T визначає гідравлічні характеристики тарілок провального типу і його можна використовувати для фізичного моделювання тарілок із різними геометричними характеристиками.

В [3] проводилися дослідження ефективності роботи тарілок провального типу в умовах ректифікації та десорбції. Встановлено, що

– газорідинний шар на тарілці провального типу, відповідно до основних понять синергетики, можна розглядати, як систему, що самоорганізується, яка при певних навантаженнях по газу рідини, переходить з рівноважного стану в нерівноважний стан, що визначає режими роботи тарілки.

– максимально ефективна робота тарілок провального типу спостерігається у режимі рухомого газорідинного шару;

Діаметр отвору входить у визначення параметра T, рівняння (2), отже, впливає на гідравлічний розрахунок тарілок. Таким чином, величина діаметра отвору впливає на гідродинамічні та кінетичні характеристики тарілок провального типу.

Необхідні експериментальні дослідження впливу діаметра отвору на гідравлічні характеристики тарілок провального типу.

Розрахунок експериментальних даних. У цій роботі проведено дослідження тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 16$ %. Діаметр отворів становив $d_0 = 0{,}005$ та 0,023 м, на лабораторній установці, опис якої наведено у [3].

Діаметр колони становив $D = 0{,}057$ м, Вимірювалися гідравлічний опір тарілки, та висоту газорідинного шару. Дослідження проведено в широкому діапазоні зміни навантажень газу та рідини на модельній системі повітря – вода.

Результати досліджень

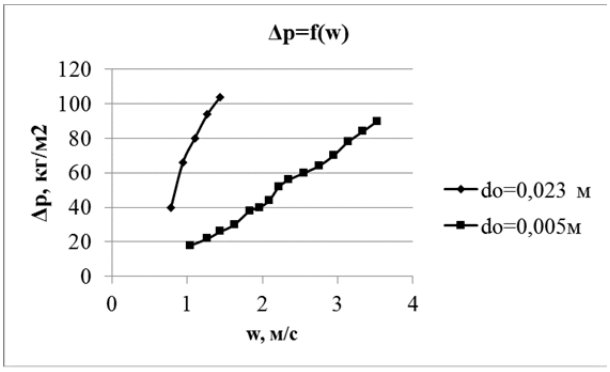

Рис. 8. Графік залежності гідравлічного опору від швидкості газу в перерізі колони за умови системи вода – повітря. Щільність зрошування $L = 3{,}9$ м^3/(м^2·ч)

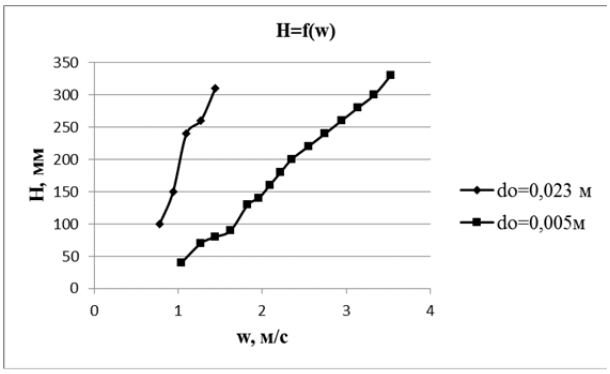

Рис. 9. Графік залежності висоти газорідинного шару від швидкості газу в перерізі колони за умови системи вода – повітря. Щільність зрошування $L = 3{,}9$ м^3/(м^2·ч)

З графіків, рис. 8 видно, що гідравлічний опір тарілки провального типу з отвором, $d_0 = 0{,}023$ м, значно більше гідравлічного опору тарілки з отворами, $d_0 = 0{,}005$ м при однаковому вільному перерізі обох тарілок. В [1] також відзначається збільшення гідравлічного опору тарілок провального типу зі збільшенням діаметра отворів при однаковому вільному перерізі тарілок, для тих самих умов проведення експериментів.

З графіків, рис. 8 видно, що гідравлічний опір тарілки провального типу з отвором, $d_0 = 0{,}023$ м, значно більше гідравлічного опору тарілки з отворами, $d_0 = 0{,}005$ м при однаковому вільному перерізі

обох тарілок. В [1] також відзначається збільшення гідравлічного опору тарілок провального типу зі збільшенням діаметра отворів при однаковому вільному перерізі тарілок, для тих самих умов проведення експериментів.

З графіків, рис. 9 видно, що у тарілок провального типу з отвором $d_0 = 0{,}023$ м відсутній режим однорідного барботажного шару, так як тарілка вступає в роботу, коли висота газорідинного шару перевищує $H \approx 0{,}1$ м.

Тарілки з отворами, $d_0 = 0{,}005$ м, вступають у роботу при висоті газорідинного шару значно менше висоти $H \approx 0{,}1$ м. На таких тарілках також існує режим однорідного барботажного шару.

Захлинання тарілок з отвором, $d_0 = 0{,}023$ м, настає при значно менших швидкостях газу в перерізі колони, ніж у тарілки з отворами, $d_0 = 0{,}005$ м, за інших рівних умов.

Висновки

1. Гідродинамічні характеристики газорідинного шару на тарілці провального типу розглядається на основі рівняння Бернуллі у трьох перерізах. Перший, на рівні плато тарілки, другий – на рівні $H \approx 0{,}1$ м від плато тарілки та третій – на виході з газорідинного шару.

У другому перерізі відбувається біфуркація газорідинного шару.

2. Рівняння (2) – (4) призначені для розрахунку точки біфуркації газорідинного шару на тарілках провального типу при діаметрі отворів у тарілці $d_0 = 0{,}012$ м.

3. Проведено дослідження гідродинамічних характеристик тарілок провального типу з діаметром отвору $d_0 = 0{,}023$ м та вільним перерізом $f = 0{,}16$.

4. Необхідні подальші дослідження з метою отримання рівнянь для розрахунку точки біфуркації тарілок провального типу з діаметром отворів $d_0 = 0{,}025$ м

Література

1. Garcia J.A., Fair J.R. Distillation sieve trays without downcomers. prediction of performance characteristics. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002. № 41. P. 1632-1640.
2. Kurella Swamy B.C. Meikap Hydrodynamic characteristics of a three-stage dual-flow sieve plate scrubber. *South African Journal of Chemical Engineering.* 2017. № 23. P. 91-97.
3. Тараненко Г.В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий: монография. Луганск: 2013. 175 с.
4. Касаткин А. Г., Дытнерский Ю. И., Попов Д. М. Гидравлические закономерности процессов на барботажных тарелках провального типа *Хим. пром.* 1961, № 7, С. 482 – 491.
5. Васильев А. С, Талачев В. С., Павлов В. П., Плановский А. Н. Закономерности истечения струи газа в жидкость. *TOXT.* 1970, том IV, № 5, С. 727 – 735.
6. Тараненко Г.В. Дослідження витікання газу з отвору в тарілці провального типу. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* 2021. № 1 (265). С. 124-127.
7. Taranenko G. Calculation of the lower operating limit of dual-flow plates with different geometrical characteristics. 2015. ScienceRise. Vol. 3, Issue 2 (8). – P. 67–73.
8. Тараненко Г.В. Гидродинамическое моделирование режимов работы тарелок провального типа, установленных в колоннах различного диаметра 2017. *ScienceRise.* Том 6, № 1(35) С. 34-38.
9. Sherwood T. K., Shipley G. H., Holloway F. A. L. Flooding Velocities in Packed Columns *Industrial & Engineering Chemistry.* 1938. Vol. 30, Issue 7. P. 765–769.
10. Касаткин А. Г., Дытнерский Ю. И., Умаров С. У. К расчету колонн с провальными тарелками. *Химическая промышленность.*1958. № 3. С. 38–45.
11. Syeda S. R., Afacan A., Chuang K. T. A Fundamental Model for Prediction of Sieve Tray Efficiency. *Chemical Engineering Research and Design.* 2007. Vol. 85(A2), Issue 2. P. 269–277.

References

1. Garcia J.A., Fair J.R. Distillation sieve trays without downcomers. prediction of performance characteristics. Ind. Eng. Chem. Res. 2002. № 41. P. 1632-1640.
2. Kurella Swamy B.C. Meikap Hydrodynamic characteristics of a three-stage dual-flow sieve plate scrubber. South African Journal of Chemical Engineering. 2017. № 23. P. 91-97.
3. Taranenko H.V. Hydravlycheskye y massoobmennыe kharakterystyky tarelok provalnoho typa s razlychnыm dyametrom otverstyi: monohrafyia. Luhansk: 2013. 175.
4. Kasatkyn A. H., Dыtnerskyi Yu. Y., Popov D. M. hydravlycheskye zakonomernosty protsessov na barbotazhnыkh tarelkakh provalnoho typa Khym. prom. 1961, № 7, S. 482 – 491.
5. Vasylev A. S, Talachev V. S., Pavlov V. P., Planovskyi A. N. Zakonomernosty ystechenyia struy haza v zhydkost. TOKhT. 1970, tom IV, № 5, S. 727 – 735.
6. Taranenko H.V. Doslidzhennia vytikannia hazu z otvoru v tariltsi provalnoho typu. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. 2021. № 1 (265). S. 124-127.
7. Taranenko G. Calculation of the lower operating limit of dual-flow plates with different geometrical characteristics. 2015. ScienceRise. Vol. 3, Issue 2 (8). – P. 67–73.
8. Taranenko H.V. Hydrodynamycheskoe modelyrovanye rezhymov raboty tarelok provalnoho typa, ustanovlennыkh v kolonnakh razlychnoho dyametra 2017. ScienceRise. Tom 6, № 1(35) S. 34-38.
9. Sherwood T. K., Shipley G. H., Holloway F. A. L. Flooding Velocities in Packed Columns Industrial & Engineering Chemistry. 1938. Vol. 30, Issue 7. P. 765–769.
10. Kasatkyn A. H., Dыtnerskyi Yu. Y., Umarov S. U. K raschetu kolonn s provalnыmy tarelkamy. Khymycheskaia promыshlennost.1958. № 3. S. 38–45.
11. Syeda S. R., Afacan A., Chuang K. T. A Fundamental Model for Prediction of Sieve Tray Efficiency. Chemical Engineering Research and Design. 2007. Vol. 85(A2), Issue 2. P. 269–277.

Taranenko G. Analysis of the work of dual-flow sieve type plates with free section up to 25 %

In industry, column apparatuses with mass transfer contacts are widely used for absorption and rectification procedures. One of the types of such devices are dual-flow sieve type plates. The design of these trays allows them to be used when working with polluted environment, since the alternating passage of vapor and liquid through the holes provides a self-cleaning effect. From the graphs, Fig. 8, it can be seen that the hydraulic resistance of dual-flow sieve type plates with a hole, d_0 = 0,023 m, is much greater than the hydraulic resistance of a tray with holes, d_0 = 0,005 m, with the same free section of both trays. In, there is also an increase in the hydraulic resistance of dual-flow sieve type plates with an increase in the diameter of the holes for the same free section of the trays, for the same experimental conditions. It is necessary to carry out studies on large diameter columns in order to determine the dependence of the hydrodynamic parameters of dual-flow sieve type plates on the diameter of the holes in the tray plateau. Dual-flow sieve type plates cymbals have been little studied abroad. It is of interest to study such trays, especially on industrial columns of small diameter. When using dual-flow sieve type plates with large hole diameters, the range of their stable operation on columns of small diameter is reduced. Such trays are recommended to be used on large columns. The hydrodynamic characteristics of the gas-liquid layer on a dual-flow sieve type plates are considered based on the Bernoulli equation in three sections. The first one, at the level of the tray plateau, the second one, at the level H ≈ 0,1 m from the tray plateau, and the third one, at the outlet of the gas-liquid layer. In the second section, the bifurcation of the gas-liquid layer occurs. Equations (2) - (4) are designed to calculate the bifurcation point of the gas-liquid layer on the trays of dual-flow sieve type plates., with the diameter of the holes in the tray d_0 = 0,012 m. Studies of the hydrodynamic characteristics of a dual-flow sieve type plates with a hole diameter d_0 = 0,023 m and a free section f = 0,16 were carried out. Further research is needed in order to obtain equations for calculating the bifurcation point a dual-flow sieve type plates a hole diameter d_0 = 0,025 m. The results of the research can be used in the calculation of the a dual-flow sieve type plates.

Key words: *hole, parameter, free section, diameter, dual-flow sieve type plate.*

Тараненко Геннадій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), gtaranenko@ukr.net

Стаття подана 05.03.2022 р.