

***В. М. БАБЕНКО, І. О. ЛАВРОВА, К. ШЕВЧЕНКО, О. ТРОЦЕНКО***

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ГАЗОРІДИННОЇ СИСТЕМИ КОЛОННОГО АПАРАТУ ЗІ СТАБІЛІЗАТОРОМ ПІННОГО ШАРУ**

У статті представлені дослідження особливостей роботи газорідинної системи колонного апарату: розглянуті питання, пов'язані з конструктивними особливостями колонних апаратів, які дозволяють збільшити висоту пінного шару на сітчастих решітках апаратів, не збільшуючи при цьому ні навантаження по рідині, ні швидкість газового потоку. Розроблені нами технічні рішення дозволяють отримувати хороші показники для широкого діапазону навантажень по рідині і газу. Описані в статті методи розрахунку повністю підтверджують експериментальні дослідження і добре корелюють з раніше проведеними дослідженнями.

**Ключові слова:** колонні апарати, газо-рідинні системи, пінний шар, сітчасті грати.

***В. Н. БАБЕНКО, И. О. ЛАВРОВА, К. ШЕВЧЕНКО, А. ТРОЦЕНКО***

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ КОЛОННОГО АППАРАТА СО СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЕННОГО СЛОЯ**

В статье представлены исследования особенностей работы газожидкостной системы колонного аппарата: рассмотрены вопросы, связанные с конструктивными особенностями колонных аппаратов, которые позволяют увеличить высоту пенного слоя на сетчатых решетках аппаратов, не увеличивая при этом ни нагрузку по жидкости, ни скорость газового потока. Разработанные нами технические решения позволяют получать хорошие показатели для широкого диапазона нагрузок по жидкости и газу. Описанные в статье методы расчета полностью подтверждают экспериментальные исследования и хорошо коррелируют с ранее проведенными исследованиями.

**Ключевые слова:** колонные машины, газо-жидкостные системы, пенный слой, сетчатые решетки.

***V. N. BABENKO, I. O. LAVROVA, K. SHEVCHENKO, O. TROZENKO***

### **STUDY PECULIARITIES OF OPERATION A GAS-LIQUID SYSTEM OF A COLUMN APPARATUS WITH A FOAM LAYER STABILIZER**

The article presents the study of the features of the gas-liquid system of the column apparatus: issues related to the design features of column apparatuses are considered. They allow you to increase the height of the foam layer on the mesh lattices of the apparatus, without increasing at the same time neither the load on the liquid nor the gas flow rate. Questions, related to the structural features of columnar vehicles which allow to increase the height of foamy layer on the mesh lattices of vehicles, are considered in the article, here, not increasing speed of gas stream. Developed by us a contact element has good indexes for the wide range of loadings on a liquid and gas. The methods of calculation described in the article fully confirm experimental researches and well correlate with the before conducted researches

**Keywords:** columnar vehicles, gas-liquid systems, foam layer, wire mesh.

**Вступ.** Пінний режим і пінні апарати «класичного» типу [1, 2], потребують інтенсифікації робочих режимів з метою розробки апаратів зі стабілізатором пінного шару. Такі апарати знайшли широке застосування для уловлювання пилу з газів і для абсорбції газів в хімічній і суміжних галузях промисловості. Завдяки своїй високій ефективності, великій одиничній потужності, гарним експлуатаційним якостям, їх застосування дозволяє удосконалити стадії очищення газу в технологічних і санітарних цілях, збільшити коефіцієнт корисної дії та підвищити надійність газоочисного устаткування. Промислова реалізація такого методу стабілізації газорідинного шару значно розширює сферу застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. Одним з основних показників гідродинамічних режимів роботи пінного апарату служить висота піни – висота піни містить інформацію про гідродинамічні і конструктивні параметри апарату, а також дозволяє судити про розвиток поверхні контакту фаз.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Робота колонного апарату залежить від великої кількості параметрів, але одним з основних показників гідродинамічних режимів роботи пінних апаратів є висота піни  $H$ . Автори низки робіт [1–4, 6–8] підкреслюють, що висота піни залежить, в основному, від швидкості газового потоку  $W$ . Введення в систему стабілізатора пінного шару сприяє зростанню діапазону навантажень по газу і, як наслідок, підвищенню надійності та ефективності системи в цілому. Від висоти пінного шару залежать конструктивні параметри апарату, вона також характеризує ступінь розвиненості поверхні контакту фаз. Проте, крім висоти, важливою є однорідність шару, що утворюється з мінімальними витратами енергії.

Не менш важливим чинником роботи апарату є газовміст. Як відзначають більшість авторів [2–8], на величину газовмісту ( $\varphi_2$ ) впливають швидкість газу

© Бабенко В.М., Лаврова І.О., Шевченко К, Троценко О., 2019

в повному перетині апарата, густина зрошення й фізичні властивості рідини. Тому, наші дослідження були проведені залежно від цих параметрів. Крім того, як показав експеримент, внесення стабілізатора в шар змінює його газовміст. Це видно з рис. 1.

Зміна газовмісту виявляється істотною при збільшенні швидкості газу до 2,5 м/с. Якщо при малій швидкості газу різниця газовмісту для апарата зі стабілізатором і без нього була біля 5–6%, то при  $W_r=2,5$  м/с ця різниця сягає 10%, що досить істотно, якщо врахувати, що величина газовмісту при цій швидкості досягає значень 0,75. Існує думка, що збільшення газовмісту приводить до збільшення поверхні контакту фаз і до очевидного у зв'язку з цим збільшення ефективності роботи колонного устаткування. У певних межах це так, але було відзначено, що питома об'ємна поверхня контакту фаз [3, 4], росте до швидкостей газу  $W_r = 2,0-2,2$  м/с, а потім зменшується. Тому в цьому випадку стабілізатор пінного шару, стримуючи ріст газовмісту, дозволяє зрушити точку максимальної ефективності, на кривій  $\varphi_a = f(W_a)$  збільшуючи геометричну поверхню контакту фаз і відіграючи позитивну роль. Це твердження справедливо для більших, більше 2,5 м/с, наведених швидкостей  $W_r$ ,

але після проведених експериментів виявилось вірним і при  $W_r = 0,7-1,5$  м/с. Крім самого факту наявності стабілізатора, деякий вплив на розподіл газомісту має його розташування в шарі по висоті. У нашій експерименті стабілізатор перебував на відстані 15 мм над тарілкою. Та частина пінного шару, де перебуває стабілізатор, ущільнюється. Це особливо помітно при збільшених, у порівнянні з робочими, витратах рідини.

На рис. 1 і 3 ми спостерігаємо, як змінюється газовміст в стабілізаторі (рис. 2) пінного шару при різних навантаженнях. Видно, що у верхній частині стабілізатора, при критично низьких навантаженнях по газу піни практично немає, але вона ще спостерігається в нижній і середній частині стабілізаційного блоку.

В чарунках стабілізатора піна спостерігається навіть при провалі рідини на тарілки. Це можна пояснити наявністю спіральних каналів, що сприяє примусовому створенню пухирців газу з діаметром, рівним перетину самого каналу. Товщина плівки змоченої поверхні стабілізатора, по наших вимірах, змінюється в межах 1,5–2,5 мм і плин її, видимо, спрямовано назустріч газовому потоку, що й веде до зміни структури шару, у тому числі й газовмісту в пристінній зоні колонного апарату.

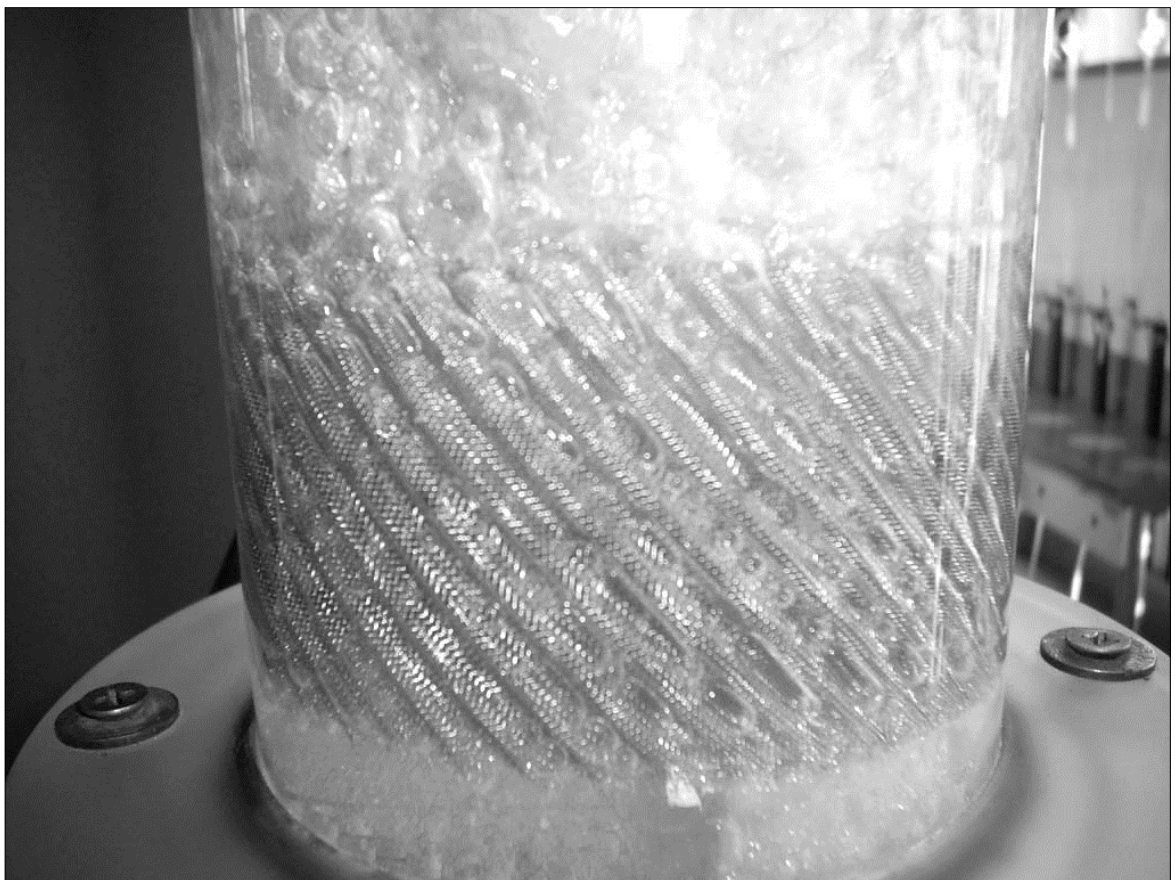


Рис. 1. Приклад зміни газовмісту в стабілізаторі пінного шару при різних навантаженнях

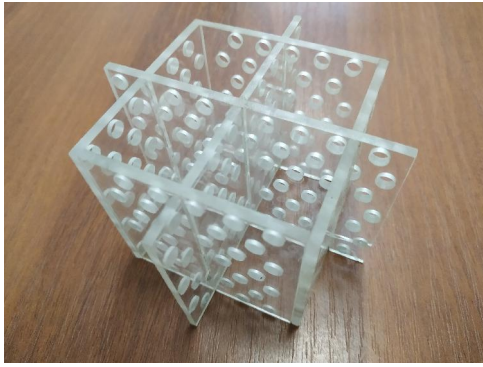


Рис. 2. Стабілізатори, використані в дослідженнях

**Гідродинаміка сітчастих ґрат.** Гідродинаміка сітчастих та близьких до них за характеристиками провальних ґрат без стабілізатора піни досить повно досліджена у низці робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників [1–8]. Встановлено, що основний вплив на гідродинаміку зрошуваних ґрат здійснюють швидкість газу у вільному перетині апарату  $W_z$ , вільний перетин ґрат  $S_0$  та густина зрошування  $L_0$ .

Зміна властивостей рідини і газу менш суттєво впливає на гідродинаміку ґрат [12–16]. Так, зміна в'язкості рідини з 0,1 до 2,3 Па·с, практично не впливає на  $H$ ,  $\Delta P$ ,  $\varphi_z$ .

$$\Delta P = \left( \frac{\sigma_{жс}}{\sigma_в} \right)^{0,1} \left( \frac{\mu_{жс}}{\mu_в} \right)^{0,066} \quad (1)$$

Оскільки в більшості технологічних процесів хімічних та нафтохімічних виробництв при абсорбції та очищенні газів  $\sigma_{жс}$ ,  $\mu_{жс}$ ,  $\rho_{жс}$  незначно відрізняються від тих же параметрів для води, а  $\mu_z$ ,  $\rho$ , відповідно для повітря, дослідження гідродинаміки ґрат із стабілізатором піни проводилося у моделюючій системі повітря – вода.

Очевидно, що мінімальний опір проходу газу буде при висоті рідини над отвором  $h_{жс}$ , а гідравлічний натиск, що викликає витікання рідини з отвору, визначається з рівняння:

$$W_{ожс} = \mu_p \cdot \varphi_{ожс} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (2)$$

де:  $W_0$  – швидкість рідини в отворі ґрат, м/с;

$\mu_p$  – коефіцієнт витрат через отвір.

Розв'язуючи рівняння (2), отримаємо:

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left( \frac{W_{ожс}}{\mu_p \cdot \varphi_{ожс}} \right)^2 \quad (3)$$

Таким чином, витікання буде відбуватися при досягненні рівності:

$$(h_{жс} + \Delta h) \cdot \rho_{жс} \cdot g = \Delta P + \Delta h \cdot \rho_{жс} \cdot g, \quad (4)$$

де:  $\rho_{жс}$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta P$  – гідравлічний опір зрошуваних сітчастих ґрат, Па

Розподіл потоків на ґратах відбувається за умови витрат мінімуму енергії на здоляння гідравлічного опору ґрат газом, або на створення різниці рівнів на ґратах.

Умову мінімуму втрат енергії зазвичай виражають у вигляді рівняння:

$$\frac{d}{d \cdot \varphi_{0,жс}} (W_{0z} \cdot \Delta P) = 0 \quad (5)$$

Під час роботи ґрат в пінному режимі при зростанні  $W_z$  та незмінній густині зрошення повинна зрости частка перетину ґрат, що зайнята газом  $\varphi_{0z}$ , та знизитися частка перетину, зайнята рідиною, що стікає  $\varphi_{0жс}$ .

Для протікання незмінної кількості рідини крізь ґрати повинна зростати швидкість витікання останньої. У свою чергу, швидкість витікання рідини може зростати тільки при зростанні  $\Delta h$ , тобто при зростанні гребінців хвиль на поверхні шару піни. Особливо помітним зростання  $\Delta h$  стає при хвильовому режимі роботи тарілки.

При визначенні нижньої межі роботи сітчастих ґрат без стабілізатора, отримане наступне рівняння:

$$W_{0z} \cdot 8,1 \cdot \left( \frac{e_{ш}}{L_0} \right)^{0,5} d_{mp}^{0,33} \quad (6)$$

Автори інших робіт для визначення верхньої та нижньої меж режимів роботи сітчастих ґрат без стабілізатора використовують залежність:

$$Y = B \cdot e^{4x}$$

$$Y = \frac{W_2}{g \cdot d_3 \cdot S_0} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_{жс}} \left( \frac{\mu_{жс}}{\mu_6} \right)^{0,16}, \quad (8)$$

$$X = \left( \frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho_2}{\rho_{жс}} \right)^{0,125},$$

де:  $e$  – основа натурального логарифму;  $d_3$  – еквівалентний діаметр отвору;  $\mu_{жс}$  – в'язкість рідини, Па·с;  $\mu_6$  – в'язкість води при 20 °С, Па·с;  $\rho_2$  – густина газу, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{жс}$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – вагова швидкість рідини, кг/м<sup>2</sup>·год;  $G$  – вагова швидкість газу, кг/м<sup>2</sup>·год;  $B$  – коефіцієнт пропорційності.

Для нижньої межі роботи рекомендується значення  $B = 4$ , для верхньої  $B = 16$ .

Вплив властивостей рідини та газу на  $W_2^{KP}$  ілюструють залежності (2–6), якими в тому чи

іншому вигляді користуються дослідники [11,15]. Очевидно, що значно впливає на величину  $W_2^{KP}$  відношення  $\rho_2 / \rho_{жс}$ .

Відомо, що для початку роботи ґрат на них необхідно створити певний запас рідини. Встановлено, що сітчасті ґрати мають досить велику провалюючу спроможність. Тому для початку роботи сітчастих ґрат необхідно створити велике навантаження по газу і рідині. При певних значеннях вільного перетину ґрат необхідно створити необхідну густину зрошення, а піноутворення розпочинається тільки при досягненні певної швидкості газу в повному перетині апарату.

Мінімальну швидкість газу, при якій на ґратах починає утворюватися пінний шар, назвемо критичною швидкістю  $W_2^{KP}$ . Результати дослідів показали, що при постійній густині зрошення для початку роботи ґрат необхідна тим більша швидкість, чим більше вільний перетин ґрат.

На рис. 1 чітко видно наявність пінного шару як під, так і над стабілізатором піни, тобто  $W_2^{KP}$  вже пройдена.

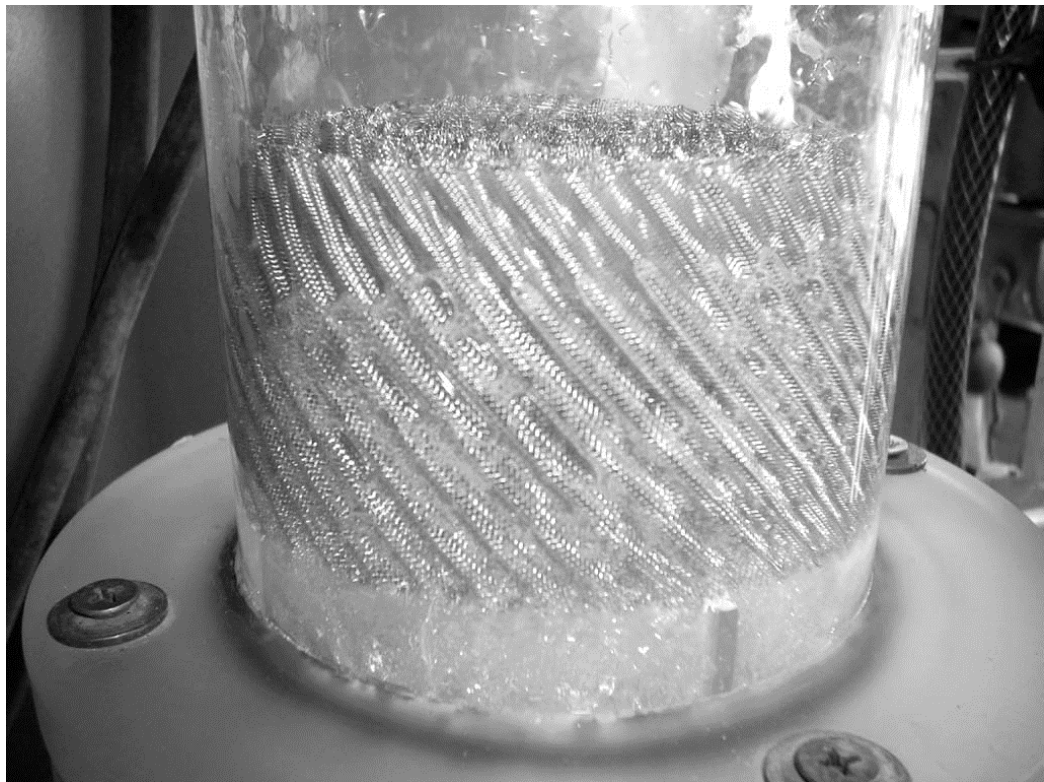


Рис. 3. Загальний стан, коли густина зрошення недостатня для створення ефективної висоти пінного шару.

На рис. 3 спостерігається стан, коли  $W_2^{KP}$  вже досягнута, але густина зрошення недостатня для створення ефективної висоти пінного шару.

Саме для такого випадку необхідний розроблений нами стабілізатор шару піни.

З рис. 3 видно, що протиточні ґрати із стабілізатором починають ефективно працювати при суттєво менших значеннях  $W_2^{KP}$ , ніж ґрати без стабілізатора. Крім того, проти точні сітчасті ґрати без стабілізатора не працюють при густині зрошення

менше  $3 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$ , тоді як грати із стабілізатором стабільно працюють при густині зрошення  $0,6 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$ .

Залежність  $W_2^{kp}$  від діаметру отворів, отримана експериментальним шляхом повною мірою кореспондується із даними вітчизняних та зарубіжних дослідників [1,2]. Математична обробка даних дала залежність:

$$W_2^{kp} = 372S_0^{3,0} \cdot L_0^{0,3} \quad (9)$$

Відхилення дослідних даних  $W_2^{kp}$  від розрахованих складає  $\pm 10\%$ .

Порівняння режимів роботи зі стабілізаторами та без них показало, що їх використання значно розширює діапазон сталої роботи сітчастих грат в пінних апаратах.

Особливе значення ця обставина приймає при обробці технологічних газів від сушарок, реакторів та інших видів обладнання, кількість видалених газів від яких може коливатися в широких межах в залежності від потреб технології.

**Гідравлічний опір сітчастих грат.** Як відмічалось вище, на гідродинаміку зрошуваних грат головним чином впливають швидкість газу в повному перетині апарату, густина зрошування та вільний перетин грат.

Проведені нами дослідження висоти пінного шару та висоти вихідного шару рідини на сітчастих гратах зі стабілізатором пін підтвердили вагомий вплив  $W_2$ ,  $S_0$ ,  $L_0$ ,  $d_{mp}$  на  $H$ ,  $h_0$ . Враховуючи отримані залежності для  $H$ ,  $h_0$ , а також дані інших авторів по розрахункам загального гідравлічного опору зрошуваних грат  $\Delta P$ , можна записати для системи повітря-вода:

$$\Delta P = f(W_2, L_0, S_0, d_{mp}) \quad (10)$$

Оскільки значення  $H$ ,  $h_0$  в разі використання стабілізатора вище, ніж відповідні  $H$ ,  $h_0$  без нього, закономірно припустити, що і гідравлічний опір грат із стабілізатором буде вище опору зрошуваних грат без стабілізатора.

Для гідравлічного опору грат із шаром пінни  $\Delta P$  можна записати залежність:

$$\Delta P = \Delta P_{cp} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{cl} \quad (11)$$

де:  $\Delta P_{cp}$  – гідравлічний опір сухих грат, Па;  
 $\Delta P_{\sigma}$  – гідравлічний опір, що виникає за рахунок сил поверхневого натягу при виході газу зі щілин, Па;  
 $\Delta P_{cl}$  – гідравлічний опір пінного шару.

### Гідравлічний опір сухих сітчастих грат.

Гідравлічний опір сухих грат є сумою наступних витрат тиску:

- витрати на стискання струменів при вході в отвори,
- витрати на тертя в отворах,
- витрати на розширення струменів при виході з отворів.

Гідравлічний опір сітчастих грат може бути виражений залежністю:

$$\Delta P_{cp} = f(\text{Re}_0, S_0), \quad (12)$$

В свою чергу:

$$\text{Re} = \frac{W_0 d_s}{\nu_s}, \quad (13)$$

$$d_s = 2\epsilon_{щ}, \quad (14)$$

$$W_0 = \frac{W_2}{S_0}, \quad (15)$$

де:  $\Delta P_{cp}$  – гідравлічний опір сухих грат;  $\text{Re}$  – критерій Рейнольда, віднесений до швидкості газу в отворах грат;  $d_s$  – еквівалентний діаметр отвору, м;  $\nu_s$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\epsilon_{щ}$  – ширина отвору в гратах, м.

З залежності (12) витікає, що на  $\Delta P_{cp}$  може впливати на  $d_{mp}$ , оскільки при постійному вільному перетині грат ширина отвору може змінюватися, а в результаті буде перемінним  $\text{Re}_0$ . Опір сухих грат можна виразити формулою:

$$\Delta P_{cp} = \xi_{0z} \frac{\rho_s W_0^2}{2}, \quad (16)$$

де;  $\rho_s$  – густина газу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\xi_{0z}$  – коефіцієнт місцевого опору, віднесений до швидкості газу в отворах грат.

В загальному випадку коефіцієнт місцевого опору залежить від критерія Рейнольда та величини вільного перетину грат. Вигляд залежності  $\xi_{0z} = f(\text{Re}_0)$  змінюється від характеру руху газу.

При ламінарному режимі, коли  $\Delta P \approx W_2$ , а  $C$  – константа:

$$\xi_{0z} = \frac{C}{\text{Re}_0} \quad (17).$$

При турбулентному режимі, коли  $\Delta P \approx W_a^{1,75}$ :

$$\xi_{0a} = \frac{C_1}{\text{Re}_0^{0,25}} \quad (18).$$

І при режимі розвиненої турбулентності, що є автомоделним, коли  $\Delta P \approx W_0^2$ :

$$\xi_{0z} = \frac{C_2}{\text{Re}_0} \quad (19).$$

### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Досягнуті наступні результати за деякими питаннями з теми інноваційних досліджень: як видно з формул (13–15) автомоделний режим в пінних апаратах настає вже при  $W_2 \geq 1,2$  м/с, тобто практично з початку пінного режиму.

Таким чином, можна зробити висновок, що при пінному режимі коефіцієнт місцевого опору  $\xi_{0z}$  не залежить від діаметру отворів при пропорційному змінненні всіх параметрів, тобто при незмінному  $S_0$ , та швидкості газу в щілинах грат.

### Список литературы

1. Рамм В.М. Абсорбция газов М., «Химия» 1976, с. 460–467.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Изд. 2-е. М., «Химия» 1971, 269 с.
3. Стабников В.Н. Ректификационные аппараты. М., «Машиностроение», 1995. 356 с.
4. Ректификационные и абсорбционные колонны с новыми конструкциями тарелок. М., ВНИИОЭНГ, 1996. 64 с.
5. Чехов О. С., Матрозов В. И. Труды МИХМ, 1997, вып. 15, с. 78–96.
6. Позин М.Е., Мухленов И.П. и др. Пенный способ обработки газов и жидкостей. Л., Госхимиздат, 1985. 248 с.
7. Позин М.Е., Мухленов И. Я., Тарат Э. Я. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы. Л., Госхимиздат, 2002. 123 с.
8. Клапанные тарелки для массообменных аппаратов. М., Центр, ин-т. н-техн. информ. и техн. - Эконом, исслед. по хим. и нефт. машиностр., 1992. 40 с.
9. Norman W. S., Grocott G.I., Trans. Inst. Chem. Eng., 1991, v. 39, № 4, p. 305–312.
10. Hoppe C., Chem. Ing. Techn., 1999, Bd. 39, № 11, p. 659–666.
11. Robin B.I., Brit. Chem. Eng., 2002, v. 4, № 6, p. 351–354.
12. Бляхер И.Г., Живайкин Л.Я. и др. Хим. пром., 1996, № 3, с. 178–181; 2000, № 9, с. 678–680.
13. Стабников В. Я., Николаев А.П. Труды Киев, технол. ин-та пищевой пром., 1990, вып. 22, с. 171–178.
14. Родионов А.И. Труды ХТИ им. Д.И. Менделеева, 1993, вып. 40, с. 66–69.
15. Аэров М.Э., Быстрова Т.А. и др. Хим. и технол. топлив и масел, 1999, № 1, с. 37–41.
16. Mailer H. M., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem., 1999, v. 51, № 5, p. 625–632.

### References (transliterated)

1. Ramm V.M. Absorbicija gazov M., «Himija» 1976, pp. 460–467.
2. Aleksandrov I.A. Rektifikacionnye i absorbcionnye apparaty. Izd. 2-e. M., «Himija» 1971, 269 p.
3. Stabnikov V.N. Rektifikacionnye apparaty. M., «Mashinostroenie», 1995. 356 p.
4. Rektifikacionnye i absorbcionnye kolonny s novymi konstrukcijami tarelok. M., VNIIOJeNG, 1996. 64 p.
5. Chehov O. S., Matrosov V. I. Trudy MIHM, 1997, vyp. 15, pp. 78–96.
6. Pozin M.E., Muhlenov I.P. i dr. Pennyj sposob obrabotki gazov i zhidkostej. L., Goshimizdat, 1985. 248 p.
7. Pozin M.E., Muhlenov I. Ja., Tarat Je. Ja. Pennyje gazoocistiteli, teploobmenniki i absorbery. L., Goshimizdat, 2002. 123 p.
8. Klapannye tarelki dlja massoobmennyh apparatov. M., Centr, in-t. n-tehn. inform. i tehn. - Jekonom, issled. po him. i nef. mashinostr., 1992. 40 p..
9. Norman W. S., Grocott G.I., Trans. Inst. Chem. Eng., 1991, v. 39, № 4, p. 305–312.
10. Hoppe C., Chem. Ing. Techn., 1999, Bd. 39, № 11, pp. 659–666.
11. Robin B.I., Brit. Chem. Eng., 2002, v. 4, № 6, pp. 351–354.
12. Bljaher I.G., Zhivajkin L.Ja. i dr. Him. prom., 1996, № 3, pp. 178–181; 2000, № 9, pp. 678–680.
13. Stabnikov V. Ja., Nikolaev A.P. Trudy Kiev, tehnol. in-ta pishhevoj prom., 1990, vyp. 22, pp. 171–178.
14. Rodionov A.I. Trudy HTI im. D.I. Mendeleeva, 1993, vyp. 40, pp. 66–69.
15. Ajerov M.Je., Bystrova T.A. i dr. Him. i tehnol. topliv i masel, 1999, № 1, pp. 37–41.
16. Mailer H. M., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem., 1999, v. 51, № 5, pp. 625–632.

Надійшла (received) 23.08.2019

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Лаврова Інна Олегівна (Лаврова Інна Олеговна, Lavrova Inna Olegovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

**Бабенко Володимир Миколайович (Бабенко Володимир Николаевич, Babenko Volodimir)** – кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри Хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

**Шевченко Кирил Володимирович (Шевченко Кирил Владимирович, Shevchenko Kiril)** – аспірант кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

**Троценко Олександр Володимирович (Троценко Александр Владимирович, Trozenko Oleksandr)** – аспірант кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.