

УДК 621.5.013 : 546.224-31 : 532.5

І. Є. Малєєв, М. І. Гавриленко, В. І. Нікітін

Одеський національний університет, хімічний факультет,
кафедра неорганічної хімії та хімічної екології
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

ГІДРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОГЛИНАННЯ ОКСИДУ СІРКИ (IV) В ЕРЛІФТНОМУ АПАРАТІ

У роботі представлені результати досліджень впливу форми поперечного перерізу секцій, в яких потоки направлені доверху та донизу, висоти стовба рідини в апараті, нахилу колони від вертикального положення на кут від 1° до 3° на такі гідродинамічні характеристики ерліфтного апарату, як гідравлічний опір та газовміст. Проаналізована їх залежність від різноманітних режимів роботи апарату. Обґрунтовані оптимальні гідродинамічні режими роботи ерліфтного апарату при проведенні в ньому процесу сорбції оксиду сірки (IV) органічними азотовмісними основами.

Ключові слова: ерліфтний апарат, абсорбент, потік, газовміст

У наш час проблема очищення повітряного басейну і його екологічний стан надзвичайно актуальні. Одним з основних компонентів газів, що відходять з теплових електростанцій, хімічних і нафтопереробних виробництв та безпосередньо викидаються в атмосферу є оксид сірки (IV). Відомо, що останнім часом ерліфтні реактори використовуються як масообмінні апарати для здійснення різних процесів в газорідних системах. Існує велика кількість робіт, присвячених вивченню гідродинамічних і масообмінних характеристик апаратів цього типу, однак отримання достовірних даних є не зовсім простою задачею через труднощі в прогнозуванні гідродинамічної поведінки апарату, який вивчається. У зв'язку з цим, нами були продовжені раніше розпочаті дослідження [1; 2] по вивченню гідродинамічних і масообмінних характеристик апарату ерліфтного типу. Основні технічні характеристики і параметри ерліфтного апарату, який вивчається, а також принципова схема експериментальної установки були представлені нами в [3].

Вплив на гідравлічний опір апарату і газовміст таких змінних, як швидкість потоків газу і рідини, діаметра колони, параметрів газорозподільних пристроїв і характеристик рідин, вивчалось багатьма дослідниками. Однак, вплив форми поперечного перерізу секцій, у яких потоки направлені доверху та донизу, а також вплив міри відхилення колони від вертикального положення і висоти абсорбенту в апараті, залишається маловивченим. Вивчення впливу зміни форми поперечного перерізу стало можливим завдяки конструктивним особливостям даного ерліфтного апарату. Газоповітряна суміш (ГПС) складалася з повітря і SO_2 . Рідкою фазою в дослідях були дистильована вода і розчини органічних азотовмісних основ різних концентрацій (гексаметилентетрамін, карбамід, моно- і діетаноламін). Висота абсорбенту в апараті (h_0 , мм) визначалася відстанню від газорозподільного пристрою і до поверхні шару рідини. Так при об'ємі сорбенту 500 мл висота шару сорбенту дорівнювала 205 мм, при 1000 мл – 410 мм, 1500 мл – 620 мм і при 2000 мл – 830 мм. Кут нахилу колони (α) характеризувався кутом між вертикаллю і поздовжньою віссю колони в її нахиленому положенні.

Для даного типу апаратів характерним є циркуляція потоку рідини що, насамперед, зумовлено різницею питомої ваги дисперсії в зонах руху потоків та пов'язано з подачею газу в зону, в якій потік піднімається. Газ потрапляє у нижню частину останньої і підіймається доверху у вигляді газових бульбашок. Оскільки щільність в барботажній трубці за рахунок більш високого газовмісту менша, ніж в каналній зоні, то в системі виникає рух потоку доверху у барботажній трубці і донизу в каналній зоні. У першому наближенні можна відрізнити декілька моделей потоку у секції, в якій потік рухається донизу. Встановлено, що при дуже низьких вхідних швидкостях газового потоку відбувається майже повне розділення газової і рідкої фаз в газорідинному сепараторі. При збільшенні швидкості газового потоку з паралельним збільшенням швидкості рідини, у секції, в якій потік направлений донизу, спостерігається поява бульбашок. Фронт бульбашок опускається при зростанні швидкості потоку газу. Бульбашки залучаються до вихрового потоку, схожого на картину руху часток в барботажних колонах, відмінного тим, що більша кількість бульбашок виноситься вгору. При цьому середній розмір їх (діаметр 2 – 4 мм) не змінюється до тих пір, поки більш дрібні бульбашки (з діаметром меншим за 2 мм) не утворюються в низу колони. При подальшому збільшенні швидкості газу бульбашковий фронт опускається до нижньої частини секції та газ починає “проскакувати» в секцію, в якій потік направлений доверху. При зростанні швидкості рідини вихровий рух бульбашок послідовно змінюється хвильовим, а потім – прямолінійним. Із збільшенням швидкостей газового потоку зростає стабільність системи, а також швидкість потоку рідини. Все вищесказане схематично зображено на рис. 1.

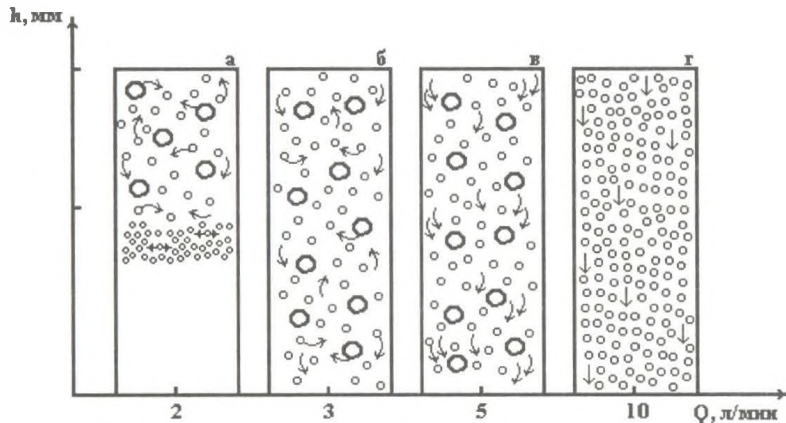


Рис. 1. Залежність структури газорідинного потоку в секції, в якій потік направлен донизу, від витрати ГПС. а – утворення бульбашкового фронту; б – вихровий рух потоку; в – хвильовий рух потоку; г – прямолінійний рух потоку

Як було відмічено в [3], гідравлічний опір прямопропорційно залежить від витрати ГПС і збільшення об'єму сорбенту в апараті. Залежність гідравлічного опору (ΔP , мм.вод.ст.) від витрати ГПС (Q , л/хв) і висоти шару сорбенту (h_0 , мм) в апараті представлені в табл. 1 у вигляді апроксимованих рівнянь:

$$\Delta P = A \cdot Q^n \quad (1)$$

З приведених рівнянь виходить, що гідравлічний опір апарату залежить від форми

поперечного перерізу секцій потоків. Коли секція, в якій потік направлений доверху, має круглу форму поперечного перерізу, абсолютні значення гідравлічного опору апарату вищі, ніж при роботі апарату з кільцевою формою поперечного перерізу.

Таблиця 1

Залежність гідравлічного опору від витрати ГПС при різних висотах шару сорбенту (h_0) в ерліфтному апараті

h_0 , мм	1		2	
	A	n	A	n
205	45.45	0.828	31.227	0.819
410	70.35	0.785	44.68	0.813
620	103.92	0.711	64.45	0.768
830	137.13	0.7	101.16	0.709

де: 1 – подача ГПС в центральну трубу; 2 – подача ГПС в кільцевий простір; h_0 – висота шару сорбенту в апараті, мм.; A, n – коефіцієнти пропорційності у апроксимованому рівнянні.

Вплив нахилу колони на гідравлічний опір визначався при подачі ГПС в центральну трубу. Результати представлені у вигляді апроксимованих рівнянь в табл.2. Із даних рівнянь можна зробити висновок, що кут нахилу колони практично не впливає на гідравлічний опір при малих об'ємах сорбенту в апараті (h_0 змінювалася від 205 до 410 мм). При досить великих об'ємах сорбенту (при h_0 більше за 620 мм) із збільшенням кута нахилу колони відбувається незначне зменшення гідравлічного опору в ерліфтному апараті.

Таблиця 2

Залежність гідравлічного опору від витрати ГПС при різних висотах шару сорбенту і кута нахилу колони. Подача ГПС в центральну трубу

α , ° град	h_0 , мм							
	205		410		620		830	
	A	n	A	n	A	n	A	n
0°	45.45	0.828	70.35	0.785	103.92	0.711	137.13	0.70
1°	47.22	0.814	75.05	0.761	106.91	0.704	140.78	0.70
2°	49.19	0.80	77.31	0.75	109.31	0.70	145.33	0.70
3°	51.56	0.78	79.62	0.74	114.16	0.69	145.59	0.71

де: α – кут нахилу колони, градус; h_0 – висота шару сорбенту в апараті, мм.; A, n – коефіцієнти пропорційності у апроксимованому рівнянні.

Середній газовміст (ϵ) в апараті розраховувався нами через статичну висоту дисперсії H_L і висоту аерованої дисперсії H_F , які визначалися шляхом візуальних спостережень.

$$\epsilon = (H_F - H_L) / H_F \quad (2)$$

Графіки залежності значень газовмісту від величини витрати ГПС і висоти шару сорбенту в апараті нами були наведені раніше [3]. При зміні форми поперечного перерізу, характер залежності газовмісту від величини витрати ГПС в апараті змінюється, зберігаючи характер залежності при різних об'ємах сорбенту. Виходячи з представлених даних можна зробити висновок про те, що форма поперечного перерізу секцій, в якій рухаються потоки, істотно впливає на характер залежності газовмісту, а отже, і на характер залежності коефіцієнту масопередачі і на величину хемосорбції в апараті. У табл.3 представлені апроксимовані рівняння ($\epsilon = A \cdot Q^n$) залежності газовмісту від витрати ГПС, об'єму сорбенту в апараті і форми поперечного перерізу секцій. При введенні ГПС в центральну трубу залежність газовмісту від витрати ГПС має екстремальний характер. В зв'язку з цим апроксимовані рівняння були отримані нами для ділянок, на яких спостерігається збільшення газовмісту при зростанні витрати ГПС.

Таблиця 3

Залежність газовмісту від витрати ГПС при різних висотах шару сорбенту в ерліфтному апараті

	1		2		3	
Q, л/мин	3 - 14		3 - 7		9 - 14	
h ₀ , мм	A	n	A	n	A	n
205	0.0969	0.4658	0.0386	1.2999	0.0322	0.7187
410	0.0819	0.4981	0.0328	1.2637	0.0459	0.7319
620	0.0726	0.5089	0.0306	1.1095	0.0067	1.4991
830	0.0541	0.5801	—	—	—	—

де: 1 – подача ГПС в кільцевий простір; 2, 3 – подача ГПС в центральну трубу; Q – витрата ГПС, л/хв; h_0 – висота шару сорбенту в апараті, мм.; A, n – коефіцієнти пропорційності у апроксимованому рівнянні.

Вплив куту нахилу на значення газовмісту при подачі ГПС в центральну трубу зображений на рис.2. З даних видно, що зі збільшенням відхилення колони від вертикалі на кут α газовміст зменшується. Одна з причин даного явища полягає в тому, що бульбашки газу підіймаються доверху (при нахилі колони) по верхній стінці колони, і з збільшенням кута а їх коалесценція відбувається більш інтенсивно. Аналогічні результати спостерігалися і у авторів [4].

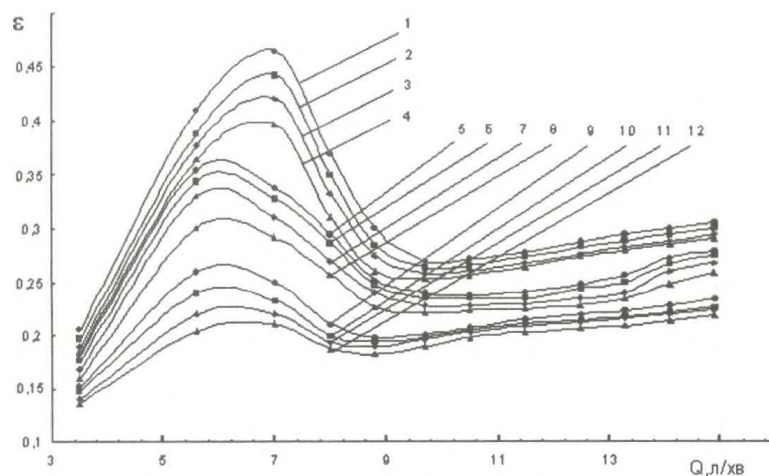


Рис. 2. Вплив кута нахилу на значення газовмісту при подачі ГПС в центральну трубу
 1 – 4 – $h_0 = 205$ мм; 5 – 8 – $h_0 = 410$ мм; 9 – 10 – $h_0 = 620$ мм.
 1. – $\alpha = 0^\circ$; 2. – $\alpha = 1^\circ$; 3. – $\alpha = 2^\circ$; 4. – $\alpha = 3^\circ$; 5. – $\alpha = 0^\circ$; 6. – $\alpha = 1^\circ$; 7. – $\alpha = 2^\circ$; 8. – $\alpha = 3^\circ$;
 9. – $\alpha = 0^\circ$; 10. – $\alpha = 1^\circ$; 11. – $\alpha = 2^\circ$; 12. – $\alpha = 3^\circ$

Таким чином, в роботі досліджено вплив висоти шару сорбенту в апараті, форми поперечного перерізу секцій потоків та нахилу колони на гідрравлічний опір і газовміст. Внаслідок досліджень встановлено:

— із збільшенням висоти шару сорбенту відбувається збільшення гідрравлічного опору і зменшення величини газовмісту;

— форма поперечного перерізу трохи впливає на характер залежності гідрравлічного опору зі збільшенням витрати ГПС, хоч і відбувається збільшення абсолютних величин ΔP ; розглядаючи ж вплив на газовміст, була визначена не тільки зміна величини, але і повна зміна характеру залежності при переході від круглого до кільцевого поперечного перерізу секцій потоків;

— вплив кута нахилу колони, при подачі ГПС в центральну трубу, на гідрравлічний опір визначено нами тільки при значних об'ємах сорбента в апараті, а утримуюча здатність по газу зменшується при збільшенні кута нахилу від 0° до 3° .

Підбиваючи підсумки, необхідно зазначити, що при сорбції оксиду сірки (IV) розчинами органічних азотовмісних основ оптимальний гідродинамічний режим роботи даної колони спостерігається при подачі ГПС в центральну трубу і витраті ГПС 6 – 7 л/хв і при витраті 12 – 14 л/хв, незалежно від того, куди подається ГПС. При даних умовах роботи спостерігається найбільша величина газовмісту, отже, і найбільші значення об'ємного коефіцієнту масопередачі [3], а міра поглинання SO_2 розчинами досягає 100%.

Література

1. Гавриленко М. И., Малеев И. Е., Никитин В. И. Гидродинамические и массообменные характеристики плоского эрлифтного аппарата // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. — 1998. — 41, № 3. — стр. 101-104.
2. Малеев И. Е., Гавриленко М. И., Никитин В. И. Изучение гидродинамических и массообменных

- характеристик аппарата эрлифтного типа в процессе сорбции оксида серы (IV) // Вести ВУЗов. Химия и хим.технология. — 2000. — 43, № 2. — стр. 41-43.
3. Гавриленко М. И., Никитин В. И., Малеев И. Е. Изучение процесса поглощения оксида серы (IV) растворами азотсодержащих оснований в аппаратах эрлифтного типа // Вестник Одесск. госуниверсит. — 1998. — № 2. — стр. 12-15.
4. Yamashita F. Effect of liquid depth, column inclination and baffle plates on gas hold-up in bubble columns. // J. Chem. Eng. Jap., — 1985, — 18, № 4. — pp. 349-353.

Малеев И. Е., Гавриленко М. И., Никитин В. И.
Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,
химический факультет, кафедра неорганической химии и химической экологии.
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ОКСИДА СЕРЫ (IV) В ЭРЛИФТНОМ АППАРАТЕ

Резюме

В работе представлены результаты исследований по влиянию формы поперечного сечения секций восходящего и нисходящего потоков, высоты жидкости в эрлифтном аппарате, наклона колонны от вертикального положения на угол от 1 до 3° на такие гидродинамические характеристики эрлифтного аппарата, как гидравлическое сопротивление и газосодержание. Определены оптимальные гидродинамические режимы работы эрлифтного аппарата при проведении в нем процесса сорбции оксида серы (IV) органическими азотсодержащими основаниями.

Ключевые слова: эрлифтный аппарат, абсорбент, поток, газосодержание.

Maleev I. E., Gavrilenko M. I., Nikitin V. I.
I. I. Mechnikov Odessa National University, Department of Chemistry,
Faculty of Inorganic Chemistry and Chemical Ecology.
Dvoryanskaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

HYDRODYNAMIC FEATURES OF ABSORPTION SULFUR DIOXIDE IN THE AIRLIFT REACTOR

Summary

In activity the results of probing on influence of a cross-section profile of sections riser and downcomer of flows, altitude of a liquid in the airlift reactor, inclination of a string from a vertical rule position on angle from 1 up to 3° on such hydrodynamic parameters of the airlift reactor, as hydraulic resistance and hold-up are submitted. The optimal hydrodynamic duties of the airlift reactor are determined at carrying out in a process of sorption sulfur dioxide by organic nitrogen compound bases.

Keywords: airlift reactor, absorbent, flow, hold-up.