





## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему  
Дослідження гідродинамічних характеристик тарілок провального типу  
з невеликим вільним перерізом.

Листів – \_\_\_\_\_, ілюстрацій – \_\_\_\_\_, таблиць – \_\_\_\_\_, додатків – \_\_\_\_\_,  
посилань – \_\_\_\_\_.

Тарілки провального типу знайшли достатньо широке застосування в хімічній і суміжних з нею галузях промисловості.

Обмежує використання тарілок провального типу вузький діапазон стійкої роботи. У зв'язку з цим підвищується вимога до точності їх технологічного розрахунку.

Важливим параметром, який характеризує роботу тарілок провального типу є середній газовміст газорідинного шару. З одного боку газовміст залежить від гідравлічних характеристик тарілки провального типу таких, як гідравлічний опір газорідинного шару і його висоти, з іншого – залежить від ефективності роботи тарілки провального типу.

Метою роботи є дослідження середнього газовмісту на тарілках провального типу різного вільного перерізу в залежності від навантажень по газу та рідині.

Проведені дослідження середнього газовмісту на тарілках з вільним перерізом  $f = 0,15, 0,21$ , в широкому діапазоні навантажень за газом та рідиною на колоні з діаметром  $D = 0,057$  м.

На тарілках провального типу з невеликим вільним перерізом підтверджено існування трьох режимів роботи тарілок провального типу: режиму рівномірного барботажу, режиму рухомого газорідинного шару та режиму захлинання.

**Ключові слова:** Газовміст, тарілка провального типу, швидкість газу та рідини, колона, газорідинний шар, гідродинамічний режим, гідравлічний опір, гідравлічні характеристики.

## Зміст

Перелік умовних позначень	5
Вступ	6
1. Аналітичний огляд	8
1.1. Загальні відомості	8
1.2. Застосування тарілок провального типу в промисловості	10
2. Аналіз напрямків дослідження тарілок провального типу	31
2.1. Мета і задачі роботи	57
3. Опис експериментальної установки	58
4. Експериментальні дослідження	59
4.1. Методика проведення експериментів	63
4.2. Обробка експериментальних даних	60
5. Техніка безпеки при роботі в лабораторії	70
6. Висновки	74
Література	77

## Перелік умовних позначень

$D$  – діаметр апарату, м.

$\varphi$  – середній газовміст

$h_0$  – висота світлої рідини на тарілці, мм

$H$  – висота газорідинного шару, мм

$\Delta p$  – гідравлічний опір, кг/м<sup>2</sup>,

$w$  – швидкість газу в перерізі колони, м/с

$L$  і  $G$  – вагові швидкості рідини і газу (пара), кг/м<sup>2</sup>год

$\gamma_{\Gamma}$  і  $\gamma_{\text{ж}}$  – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/сек<sup>2</sup>;

$d_{\text{э}}$  – еквівалентний діаметр щілини (отвору у тарілці), м;

$f$  – вільний переріз тарілки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$\mu_{\text{ж}}$  – в'язкість рідини, сп;

$\mu_{\text{в}}$  – в'язкість води при 20°, сп.

## Вступ

Барботажна тарілка провального типу конструктивно являє плоский лист, по всій поверхні якого рівномірно розміщені отвори. На відміну від інших типів барботажних тарілок ці тарілки не мають спеціальних переливних пристроїв. Пар і рідина проходять в протитоці через одні й ті ж отвори. Барботажний шар на тарілці утворюється внаслідок підпору рідини парою. Висота барботажного шару залежить від величин потоків пари і рідини.

До провальних відносяться тарілки [1] решітчасті, колосникові, трубчасті, сітчасті (плоскі або хвилясті без зливних пристроїв). У стандартних тарілок площа живого перерізу тарілок змінюється в межах 15 – 30%. Рідина і пар проходять поперемінно через кожен отвір в залежності від співвідношення їх напорів. Тарілки мають малий опір, високий к.к.д., працюють при значних навантаженнях і відрізняються простотою конструкції. Тарілки провального типу прості за конструкцією і досить ефективні. Недоліком їх є необхідність точного регулювання заданого режиму (особливо по витраті газу) і чутливість до бруду і відкладень, що забивають отвори.

До переваг тарілок відносять простоту конструкції, малу металоємність, низьку вартість виготовлення, високу питому продуктивність, малий гідравлічний опір, відсутність гідравлічного градієнта рідини на тарілці і, отже, більш рівномірний розподіл потоку пара по перерізу колони. Конструкція тарілок і принцип їх роботи дозволяють успішно застосовувати ці тарілки при ректифікації сумішей, що містять суспензії. При роботі з речовинами, здатними утворювати відкладення в процесі ректифікації, тарілки провального типу доступніші для чищення, а при корозії заміна їх на нові обходиться дешевше, ніж заміна тарілок інших конструкцій.

Основним істотним недоліком тарілок провального типу вважають відносно вузький діапазон стійкої роботи з високою ефективністю, що

обмежує їх застосування в виробництвах, де можливі значні зміни навантажень тарілок по газу та рідині

Тому тарілки провального типу знайшли широке застосування в різних галузях промисловості.

Як і будь – який інший тип тарілок, ці тарілки можуть бути ефективні і успішно застосовані тільки в певних умовах, забезпечених правильним розрахунком і проектуванням.

## 1. Аналітичний огляд

### 1.1. Загальні відомості

Тарілки провального типу досить широко застосовуються в хімічній і деяких суміжних з нею галузях промисловості. Вони прості у виготовленні і надійні в експлуатації. У деяких випадках, наприклад, при інкрустування масообмінних пристроїв в колонних апаратах продуктами кристалізації або полімеризації, застосування крупнодірчатих тарілок провального типу стає єдиною можливою альтернативою.

До недоліків тарілок провального типу відносять вузький діапазон їх стійкої роботи і порівняно невисоку ефективність масообміну.

Гідравлічні параметри тарілок провального типу істотно залежать від геометричних характеристик тарілки, таких як вільний перетин, діаметр тарілки, діаметр отворів плато тарілки.

Існуючі нормативні документи, що визначають конструкцію і розміри щілинних тарілок провального типу [1, 2], передбачають щілини одного розміру незалежно від діаметра колони (ширина щілини 6 мм і її довжина 60 мм). Діаметри тарілок знаходяться в межах від 0,4 до 3,0 м.

Гідродинамічний розрахунок тарілок провального типу регламентується нормативними документами [3, 4], які призначені для розрахунку стандартизованих тарілок. У цих документах розрахунок гідравлічних параметрів не залежить від діаметра тарілки і діаметра отворів плато тарілки.

Залежність гідравлічних параметрів тарілок провального типу від діаметра колони і діаметра отворів плато тарілки носить складний характер.

В даний час обговорюється теорія масштабного переходу в хімічній технології [5]. Відзначається, що ефективність масообмінних пристроїв, в тому числі і тарілок провального типу, зменшується при збільшенні діаметра масообмінних колон.



Немає єдиної думки про «модельний» діаметр масообмінних колон, більше якого коефіцієнт масштабного переходу має значення близьке до одиниці. Цей діаметр може мати значення від 0,1 до 0,4 м і більше.

У колонних апаратах з забрудненими матеріальними потоками використовують тарілки провального типу з великим діаметром отворів (близько 100 мм). Вплив діаметра отворів на гідравлічні характеристики тарілок провального типу ще недостатньо вивчено.

Завданням цієї роботи є аналіз напрямків дослідження і особливостей застосування тарілок провального типу в промисловості, з метою вдосконалення методики їх розрахунку з урахуванням діаметра колони і діаметра отворів плато тарілки.

## 1.2 Застосування тарілок провального типу в промисловості

Тарілки провального типу досить широко застосовуються в хімічній [6-8], спиртовий [9-13], коксохімічної [14, 15] і нафтохімічної [16] промисловості.

В роботі [17] розглядається застосування тарілок провального типу з великими отворами і великим вільним перетином у виробництві соди. Цими тарілками був забезпечений дістілер і теплообмінник дистиляції (ТДС) установки дистиляції фільтрової рідини. Дірчасті тарілки з вільним перетином 0,2–0,4 мали отвори діаметром 90–140 мм.

Автори відзначають, що застосування отворів великого діаметру якісно змінює роботу дірчастих протитокових елементів в порівнянні з роботою звичайних одноковпачкових тарілок, сітчастих тарілок (з отворами діаметром від 1 до 20 мм) і від протитокових дірчастих тарілок провального типу.

Дірчасті протитокові тарілки працюють в широкому діапазоні навантажень, починаючи з 40-50% номінального навантаження, проте режим «накопичення скидання» досягається при швидкості газу у вільному перетині апарата 2–2,5 м/с. Висота пінного шару на тарілці досягає 650–750 мм.

Автори відзначають, що при проведенні десорбції на дірчастих тарілках провального типу виявлені наступні особливості, такі як:

- стік рідини здійснюється в режимі, коли кожен отвір спочатку не пропускає рідину, потім частина рідини як би провисає під отвором, а далі починається стік;

- одночасно з рідиною через отвір надходить газ, причому рідина проходить по центральній частині, а газ – по периферії, тобто відбувається осьової стік рідини (рідина стікає як би в газовій сорочці). Периферійний рух газу перешкоджає відкладенню інкрустацій на крайках отворів. Дірчаста тарілка провального типу може працювати без чистки в 2–2,5 рази довше,

ніж одноковпачкова тарілка. Особливістю дірчастої тарілки є простота у виготовленні, при монтажі та експлуатації.

Дірчасту тарілку доцільніше застосовувати в дистиляторі, де через апарат проходять досить великі грудки, що утворилися в змішувачі.

В роботі йдеться про те, що позитивні результати отримані при використанні в ТДС ґратчастої і дірчастої тарілок провального типу. Зверху вниз в апараті встановлюють від двох до восьми ґратчастих тарілок, а далі дірчасті тарілки провального типу. Число дірчастих тарілок внизу апарату встановлюють залежно від очікуваного бризкоунесення зі змішувача або дистилятора (як уже зазначалося, дірчасті тарілки працюють краще в умовах відкладення інкрустацій). У нижній частині ТДС встановлюють не менше двох дірчастих протитокових контактних елементів, хоча є дані про тривалу експлуатації ТДС з усіма щілинними тарілками.

Також відмічається, що найбільш доцільно вільний перетин дірчастих і ґратчастих тарілок провального типу робити змінним по висоті апарату в залежності від кількості аміаку і діоксиду вуглецю, що виділяються на контактному елементі. Слід зазначити, що для спрощення розрахунків вільного перетину протитокових контактних елементів швидкість парової фази в отворах тарілки можна приймати на рівні 6–8 м/с за умови забезпечення питомого навантаження: в ТДС 25–35 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год); на вході в дистилятор 40–55 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).

В роботі сказано, що в содовій промисловості в тривалій експлуатації знаходилися такі дистиляційні колони з протитоковими контактними елементами:

- діаметром 2,4 м з 11 дірчастими тарілками провального типу вільним перетином 0,25 в дистилері. Робочі навантаження 80–140 м<sup>3</sup>/год фільтрової рідини;
- діаметром дистилера 3,0 м, ТДС – 3,2 м з 15 дірчастими контактними елементами і вільним перетином 0,30 в дистилері.

– діаметром 3,0/3,2 м з 15 дірчастими контактними елементами в дістіллері з вільним перетином 0,30.

Далі в роботі дано опис дистиляційної колони стосовно до апаратури продуктивністю 900 т соди на добу. Для зазначеної продуктивності дістіллер проектується з внутрішнім діаметром 3,0 м, висотою 21,7 і складається з царг, виконаних з чавуну марки СЧ 24-44. Товщина стінок царг 40 мм, загальна кількість царг – 22; міжтарілочна відстань 900 мм, висота царги-бази – 500 мм. В апараті встановлено 15 дірчастих протитокових тарілок. Верхні три тарілки дістіллера мають вільний перетин 0,37–0,40%, решта – 0,30%. Тарілки встановлені у фланцевих роз'ємах царг. Наведено дані для технологічного розрахунку дістіллера і теплообмінника дистиляції.

Дістіллер:

- навантаження за рідиною – 403537, кг/год;  
питоме навантаження – 57082 кг/(м<sup>2</sup>·год);  
щільність рідини – 1131 кг/м<sup>3</sup>;
- температура рідини на виході – 110–115 °С  
температура газу на виході – 95–98 °С.

Теплообмінник дистиляції:

- навантаження за рідиною – 293568, кг/год;  
питоме навантаження – 36000 кг/(м<sup>2</sup>·год);  
щільність рідини – 1110 кг/м<sup>3</sup>;
- температура рідини на виході – 95–98 °С  
температура газу на виході – 86–90 °С.

Автори роблять висновки, що застосування нових апаратів десорбційних колон, оснащених протитоковими дірчастими контактними елементами, в порівнянні з традиційно застосовуваними насадочними, ковпачковими і сітчастими апаратами з горизонтально-трубчастими конденсаторами зумовило такі переваги:

– збільшення в 1,3–1,7 рази продуктивності апаратів без зміни або зі зменшенням їх габаритів при зниженні питомих витрат енергоресурсів на реалізацію процесу десорбції;

– збільшення в 2–3 рази пробігу апаратів між чистками;

– застосування простих по конструкції контактних пристроїв, що дозволяють здійснити їх монтаж і демонтаж без розбирання колон;

– зниження гідравлічного опору колон;

– скорочення трудовитрат на чистку апаратів за рахунок використання контактних елементів більш простої конструкції.

В роботі [7] узагальнені результати експлуатації пінних апаратів, призначених для очищення газів від суспензій. Крім цього відзначається, що пінні апарати можуть використовуватися як охолоджувачі газів.

Автори повідомляють, що перший виробничий апарат для очищення від пилу повітря був встановлений в 1952 р. на заводі «Електросила». Там же були встановлені два апарати круглого перетину з тарілками провального типу. Апарати мали такі показники:

– діаметр – 1 м;

– висота – 1,43 м;

– продуктивність – 5000 м<sup>3</sup>/год;

– витрата води – 0,25 дм<sup>3</sup>/ч;

– ступінь очищення – 97–98%.

Далі в роботі йдеться, що на збагачувальній фабриці Оленегорського гірничо-збагачувального комбінату експлуатуються 22 пінних пиловловлювача ПГП-ЛТІ з тарілками провального типу продуктивністю від 5500 до 50000 м<sup>3</sup>/год. Апарати очищають від пилу газу після сушильних барабанів для сушки залізного концентрату, а також на аспіраційних системах дроблення і сушіння. Досвід експлуатації протягом 10 років показав їх високу ефективність (к.п.д. становить 98–98,5%) і невеликі експлуатаційні витрати. До недоліків цих апаратів відноситься те, що мали випадки

забивання тарілок пилом. Для апаратів ПГП-ЛТІ в ЛТІ ім. Ленради були розроблені типорозміри на пінні газоочисники.

Основні дані для вибору однополичних газоочисників з тарілками провального типу наведені в таблиці 1.1 [7]. Апарати призначені для очищення від пилу нейтральних газів з запиленістю до  $200\text{--}300 \text{ г/м}^3$  при температурі не вище  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  і не виробляючих в процесі водної промивки солей, що кристалізуються, здатних забивати тарілки або давати тверді відкладення на поверхнях апарату. В таблиці:

- $d_{an}$  – діаметр апарата, мм;
- $h_{an}$  – висота апарата, мм;
- $t$  – крок між отворами в тарілці, мм;
- $d_0$  – діаметр отвору в плато тарілки, мм.

В роботі також йдеться, що тарілками провального типу були забезпечені пінні апарати для охолодження і очищення від сажі газів у виробництві ацетилену методом електрокрекінгу метану. В апараті було встановлено три тарілки провального типу.

Характеристики апарату:

- діаметр – 1,6 м;
- висота – 5,47 м;
- товщина тарілок – 6 мм;
- діаметр отворів – 5–6 мм;
- температура крекінг–газів:
  - початкова –  $160\text{--}180 \text{ }^\circ\text{C}$
  - кінцева –  $35\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$
- швидкість газів – 1,1 м/с;
- температура охолоджуючої води –  $20\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- витрата охолоджуючої води – 13 л/с;
- гідравлічний опір –  $2000\text{--}3000$ , Па;
- ступінь уловлювання сажі при її початковій концентрації ( $2,6\text{--}3,0 \text{ г/м}^3$ ) – 84–88%.

Автори повідомляють, що для охолодження і очищення газів в системі мокрого виведення іонізуючої присадки (поташу) в установках з МГД-генератором використовується пінний апарат, забезпечений трьома тарілками провального типу. Продукти згорання (гази) надходять в нижню частину апарата. На зрошення подається 0,1–20%-ний розчин  $K_2CO_3$ . Концентрація карбонату калію на вході в апарат становить 5–7 г/м<sup>3</sup>.

Характеристика апарату:

- діаметр – 1,4 м;
- товщина тарелок–5 мм;
- діаметр отворів–6 мм;
- вільний перетин тарілки – 0,25;
- температура газів:
  - початкова – 150–250 °С
  - кінцева – 50 °С
- витрата охолоджуючого розчину – 33 м<sup>3</sup>/год;
- швидкість газу – 1,3–1,5 м/с;
- температура охолоджувальної води – 20–30 °С;
- гідравлічний опір – 800–1000, Па;
- ступінь очищення – 20–30%.

Таблиця 1.1 – Основні дані для вибору однополичних гідроочищувачів з тарілками провального типу

№ з/п	Позначення апарату ПГП-ЛТІ	Витрата газу, м <sup>3</sup> /год	Витрата води		Швидкість газу в апараті, м/с	Гідравлічний опір тарілки, Па	Висота піни, мм	Площа тарілки, м <sup>2</sup>	Розміри апарату, мм		
			л/ м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /год					діаметр	висота	Шаг / діаметр отвору
1	3	2400	0,8	2,4	1,6	300	70	0,42	703	2275	13/6
		3000			2,0	340	90				
		3600			2,4	400	120				
		3600			1,6	300	70				
2	4,5	4500	0,8	3,6	2,0	340	120	0,63	890	2410	13/6
		5400			2,4	400	75				
		5350			1,65	310	90				
3	6,5	6500	0,82	5,33	2,0	340	90	0,91	1070	2460	13/6
		7800			2,4	400	120				
		7650			1,7	310	75				
4	9	9000	0,82	7,4	2,0	340	90	1,26	1260	2920	13/6
		10500			2,35	390	115				
		10200			1,7	310	75				



Продовження табл. 1.1

5	12	12000	0,85	10,2	2,0	340	75	1,68	1450	3180	13/6
		14000			2,3	380	90				
		13600			1,7	310	110				
6	16	16000	0,85	13,6	2,0	340	90	2,34	1680	3510	13/6
		18400			2,3	380	110				
		17900			1,7	310	75				
7	21	21000	0,87	18,3	2,0	340	90	2,94	1920	4220	13/6
		24200			2,3	380	110				
		23800			1,7	310	75				
8	28	28000	0,87	24,4	2,0	340	75	3,92	2220	4730	13/6
		32100			2,3	380	90				
		30000			1,7	310	110				
9	35	35000	0,9	31,5	2,0	340	90	4,90	2480	5160	13/6
		40000			2,3	380	110				
		38000			1,7	310	75				
10	45	45000	0,9	40,5	2,0	340	90	6,30	2820	5680	13/6
		52000			2,3	380	110				

Також в роботі повідомляється, що в системі очищення газів розпилювальних сушарок у виробництві вітаміну В<sub>12</sub> працює пінний апарат з тарілкою провального типу діаметром 2,8 м. Спочатку тарілка, що використовується, з вільним перетин 0,193 і діаметром отворів 6 мм була замінена на тарілку з діаметром отворів 8 мм і вільним перетином 0,241, щоб уникнути утворення відкладень. На зрошення апарату подавалася оборотна вода. Швидкість газу в перетині апарату становила 1,8 м/с, питома витрата води – 0,95 л/м<sup>3</sup>. При цьому концентрація пилу в газі знижується з 0,65 до 0,006 г/м<sup>3</sup>. Температура газу зменшується з 95 до 50 °С. Гідравлічний опір апарату становить 300 Па.

У роботі відзначається, що пінні апарати можуть бути застосовані на підприємствах вогнетривкої, цементної, анілінофарбувальної промисловості, глиноземного виробництва, чорної і кольорової металургії, де спостерігаються втрати цінних продуктів з газами, що відходять.

Автори роботи [8] повідомляють про досвід впровадження в промисловість пінних апаратів зі стабілізатором шару – ПАСШ. Повідомляється, що тарілки провального типу з порівняно невеликими отворами 4–8 мм, які широко використовуються до теперішнього часу, схильні забиватися при роботі в забруднених середовищах. Тому апарати ПАСШ забезпечені тарілками провального типу з великим діаметром отворів і стабілізаторами барботажного шару. Представлені результати дослідження роботи тарілок провального типу з різним діаметром отворів. Вказується, що при переході від отворів діаметром менше 10 мм до отворів діаметром більше 35 мм висота газорідного шару збільшується приблизно в 5–6 разів. Тому для пінного промислового апарату з тарілками провального типу еквівалентний діаметр отворів становить 50–100 мм, а вільний перетин тарілки досягає значення 0,7.

В роботі йдеться про те, що апарати ПАСШ були впроваджені в різні виробництва. Наприклад, в Джамбульському ВО «Хімпром» і ВО «Куйбишевфосфор» для очищення газів, що відходять, від шлакових льоток

фосфорної печі, замість пінних апаратів старого типу з контактними ґратами стали застосовувати апарати з тарілкою провального типу з великими отворами і подвійною стабілізацією пінного шару. Зрошення проводили 3–9%-ним розчином соди. При лінійній швидкості газу 4,5 м/с висота газорідного шару досягає 600 мм, ефективність уловлювання фосфорних і фтористих сполук становить 97%, пилу і сірчистих сполук – від 95 до 96%.

У роботі вказується, що на Чірюртовському заводі фосфорних солей і Мелеузовському хімічному заводі для очищення газів, що відходять, від пилу преципітату були застосовані пінні апарати з крупноперфорованими тарілками і зі стабілізацією пінного шару. Впровадження цих апаратів дозволило працювати на пульпах з співвідношенням Т: Р до 1: 1, вловлювати 99% пилу і повертати уловлений пил в технологічний процес. Кількість пилу, що викидається в атмосферу, зменшилася в 100 разів.

Також в цій роботі йдеться, що апарати ПАСШ знайшли широке застосування для очищення газів на алюмінієвих заводах. На Братському заводі з виробництва алюмінію впроваджено 42 пінних апарату зі стабілізатором піни. На Красноярському – 6 апаратів. Заміна пінних апаратів застарілих конструкцій на ПАСШ дозволила зменшити число ступенів в кожному апараті з двох до одного. Ступінь очищення газів від фтористого водню збільшилася з 92–94 до 96–97%.

В огляді [9] наведені результати роботи з впровадження тарілок провального типу на бражній колоні Ацетонобутілового виробництва з діаметром 2 м. Бражна колона до переобладнання мала 24 сітчастих тарілки при відстані між ними 0,51 м. Продуктивність колони по бражці становила 40 м<sup>3</sup>/год.

В роботі повідомляється, що сітчасті тарілки були замінені на ґратчасті тарілки провального типу з вільним перетином 15,4%, ширина прямокутних отворів становила 0,004 м. У колоні були встановлені 25 тарілок провального типу з відстанню між тарілками 0,51 м. Після

переобладнання колони продуктивність по бражці зросла до 100 м<sup>3</sup>/год при тих же умовах роботи, що і до переобладнання.

У роботі зроблені наступні висновки, що:

– при необхідності збільшити продуктивність бражних колон можна рекомендувати заміну ковпачкових і сітчастих тарілок на тарілки провального типу, що сприятиме збільшенню продуктивності колон в 2 рази;

– при будівництві нових бражних колон необхідно їх забезпечувати тарілками провального типу, що дозволить отримати економію металу на їх виготовлення, спростити конструкцію тарілок і полегшити їх ремонт.

У роботах [12-13] описується досвід впровадження тарілок провального типу у виробництві етилового спирту. Вказується [12], що ґратчасті тарілки провального типу мають незначний гідравлічний опір при великій пропускній спроможності за рідиною і газом (парою).

В роботі [13] наводяться дані по впровадженню ґратчастих тарілок провального типу в бражних колонах різного діаметру: 0,6, 1,0, 1,6 і 2,0 м.

Для колони діаметром 1,0 м в цій роботі опубліковані наступні параметри роботи колони:

- продуктивність апарату – 3000 дал спирту/добу;
- витрата бражки – (5–18) м<sup>3</sup>/год;
- концентрація бражки – (7,0–7,5) об%;
- витрата пари – (1600–2800) кг/год;
- щільність зрошення – (12–22,5) м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год);
- питома витрата пари – (17,5–19,5) кг/дал;
- міцність бражного дистиляту – (30–40) об.%;
- гідравлічний опір однієї тарілки – (300–400) Па;
- швидкість пари у вільному перетині колони – (1,4–1,6) м/с.

В роботі робляться висновки, що апарати з ґратчастими тарілками провального типу в порівнянні з апаратами такої же продуктивності, але з сітчастими тарілками мають діаметр апарату набагато менше. Це забезпечує зниження витрати металу на виготовлення апаратів на 25–35%. Виготовлення

самих тарілок провального типу значно простіше, ніж виготовлення сітчастих тарілок. Апарати з ґратчастими тарілками провального типу стійкі в роботі в широкому діапазоні навантажень за рідкою і паровою фазою, займають менше виробничих площ, прості в обслуговуванні. Висока ефективність контактних пристроїв забезпечує роботу апарату з мінімальною витратою пари, що гріє, і охолоджуючої води при високій якості кінцевого продукту.

В роботі [14] наведено опис використання на коксохімічному виробництві Новолипецького металургійного комбінату (ВАТ НЛМК) абсорбера з крупнодирчастими тарілками провального типу, для уловлювання бензольних вуглеводнів.

Абсорбер був представлений двоступеневим апаратом діаметром 5 м і висотою 28,85 м. В абсорбері були встановлені тарілки провального типу з вільним перетином 0,3 і діаметром отворів 0,070 м (на I ступені – п'ять тарілок, на II ступені – тринадцять тарілок); відстань між тарілками 0,5 м.

Об'ємна витрата коксового газу становила 170–180 тис. м<sup>3</sup>/год. На зрошення II ступені абсорбера подавали бензольне поглинальне масло (об'ємна витрата 150–160 м<sup>3</sup>/год). I ступень абсорбера також зрошується поглинальним маслом.

Ступінь уловлювання бензольних вуглеводнів в абсорбері 60–70% при питомій витраті поглинального масла 0,8–0,9 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газу. Остаточна концентрація бензольних вуглеводнів в коксовому газі 9–12 г/м<sup>3</sup> при початковій концентрації 25–30 г/м<sup>3</sup>. Різниця тисків на вході і виході газу абсорбера не перевищує 4 кПа.

Автори роботи відзначають, що включення в роботу тарічастого абсорбера дозволило:

- витягати бензольні вуглеводні з усього коксового газу коксових батарей № 5-8;
- скоротити кількість працюючого обладнання і спростити його обслуговування;

– знизити енерговитрати завдяки виведенню з роботи чотирьох насосів, що подають масло на бензольні скрубери 2-й і 3-й черг.

В роботі [15] наводяться відомості про впровадження крупнодирчастих тарілок провального типу в процесі очищення коксового газу від сірководню. У 2002 р ВАТ «Алчевськкокс» успішно завершив I чергу реконструкції цеху очищення коксового газу від сірководню вакуум-карбонатним способом. Була виконана реконструкція сірчаних скруберів діаметром 6 м № 3 і № 4 з заміною дерев'яної хордової насадки на тарілки провального типу. У 2007 р. в складі комплексу коксової батареї № 10–біс ВАТ «Алчевськкокс» (II черга реконструкції цеху сіркоочищення) була завершена реконструкція сірчаних скруберів діаметром 6 м № 1 і № 2 з заміною дерев'яної хордової насадки на тарілки провального типу. При реконструкції сірчаних скруберів була передбачена установка двома пакетами 21-ої крупнодирчастої тарілки провального типу. У роботі вказується, що крупнодирчасті тарілки провального типу не схильні до заростання або забивання отворів відкладеннями. Передбачалося, що після II черги реконструкції цеху сіркоочищення уловлювання сірководню з коксового газу буде здійснюватися двома газовими потоками (табл. 1.2) [15]:

Таблиця 1.2 – Проектні показники роботи скруберів

№	Найменування характеристики	Чисельні значення	
		I потік	II потік
1	Кількість коксового газу, що подається, тис. $\text{нм}^3/\text{год}$	~100	~100
2	Кількість поглинаючої розчину, що подається, $\text{м}^3/\text{год}$	350	350
3	Вміст сірководню на вході в скрубери, $\text{г}/\text{нм}^3$	18	18
4	Вміст сірководню на виході з скрубера, $\text{г}/\text{нм}^3$	0,5	0,5
5	Гідрравлічний опір апарату, мм вод. ст.	~120	~110

– 1–й газовий потік у складі сірчаних скрубєрів діаметром 6 м № 3 и № 4;

– 2–й газовий потік у складі сірчаних скрубєрів діаметром 6 м № 1 и № 2.

При цьому скрубєри № 3 і № 1 – перший ступінь уловлювання, скрубєри № 4 і № 2 – другий ступінь.

В даний час в експлуатації знаходяться дві черги сірчаних скрубєрів.

Експлуатація реконструйованих скрубєрів з установкою в них тарілок провального типу, йдеться в роботі, показала, що вони забезпечують уловлювання сірководню з коксового газу до норм, що передбачені за ПТЕ. У табл. 1.3 [15] представлені усереднені характеристики роботи сірчаного скрубєра № 4 згідно з даними заводу станом на липень 2008 р.

Таблиця 1.3 – Усереднені показники роботи сірчаного скрубєра № 4

№	Найменування характеристики	Чисельні значення
1	Кількість коксового газу, що подається, тис. нм <sup>3</sup> /год	до 100
2	Кількість поглинаючої розчину, що подається, м <sup>3</sup> /год	375
3	Вміст сірководню на вході в скрубєр, г/нм <sup>3</sup>	7,4
4	Вміст сірководню на виході з скрубєра, г/нм <sup>3</sup>	0,3–0,4
5	Гідравлічний опір апарату, мм вод. ст.	50

У цій статті також вказується, що для ефективного кінцевого охолодження коксового газу і виключення шкідливих викидів в атмосферу Гіпрококс розробив технічні проекти кінцевого газового холодильника діаметром 3,6 м для ВАТ «Маркохім» (в даний час – КХП МК «Азовсталь») та реконструкції кінцевого газового холодильника діаметром 2,8/4,0 м для ВАТ «Алчевськкокс». У цих проектах в якості контактних пристроїв замість плоскопаралельної насадки застосовані крупнодирчасті тарілки провального типу. Їх застосування дозволило значно знизити металоємність, зменшити вартість апаратів і витрати з їх експлуатації, збільшити продуктивність по

коксовому газу, знизити температуру газу, що виходить з апаратів. З огляду на велику ефективність роботи тарілок провального типу, при реконструкції на ВАТ «Алчевськкокс» кінцевого газового холодильника діаметром 2,8/4,0 м продуктивністю по коксовому газу 125–130 м<sup>3</sup>/год, було встановлено 7 гратчастих (крупнодирчастих) тарілок. У табл. 1.4 [15] представлені дані, отримані в процесі експлуатації холодильників діаметром 2,8/4,0 м.

Таблиця 1.4 – Аналіз роботи кінцевих газових холодильників за даними заводу

№	Найменування характеристики	Чисельні значення
1	Кількість коксового газу, що подається, тис. нм <sup>3</sup> /год	125–130
2	Кількість води, що подається, м <sup>3</sup> /год	До 900
3	Температура коксового газу на вході в холодильник, °С	50
4	Температура коксового газу на виході з холодильника, °С	23
5	Температура води на вході в холодильник, °С	22
6	Температура води на виході з холодильника, °С	28–29
7	Масова доля нафталіну в смолі на вході в холодильник, %	8,5
8	Масова доля нафталіну в смолі на виході з холодильника, %	10,6

В огляді [16] розглянуто досвід впровадження тарілок провального типу в нафтохімічній промисловості, як за кордоном, так і в країнах колишнього СРСР. Широке впровадження в промисловість тарілок провального типу за кордоном почалося з 1950 року. Тарілки провального типу використовувалися в основному для заміни ковпачкових тарілок в різних нафтохімічних виробництвах. Діаметри промислових колон становили від 0,6 до 3,2 м.

В роботі повідомляється, що заміна ковпачкових тарілок на тарілки провального типу має ряд переваг. Наприклад, в деетанізаторах,



стабілізаторах і абсорбера заміна ковпачкових тарілок на тарілки провального типу привела до збільшення продуктивності колон на 60% при такій же мірі поділу. При цьому перепад тиску на тарілках провального типу в три рази менше ніж на ковпачкових. Вартість колон, з тарілками провального типу нижче вартості звичайних колон на 20–45%.

Також в роботі відзначається, що ґратчасті тарілки рекомендується застосовувати у всіх випадках, коли можливе забруднення зависами або забивання отворів полімерними продуктами. Наприклад, в колоні для відпарювання спиртів від жирних кислот продуктивність збільшилася на 50% і час міжремонтного пробігу збільшилася в два рази після установки ґратчастих тарілок провального типу.

В огляді вказується на суперечливість даних за діапазоном стійкої роботи тарілок провального типу. Коли в одних літературних джерелах говориться про недопущення зниження продуктивності нижче 60% від максимальної, то в інших роботах повідомляється, що зміна навантажень в двох і триразовому інтервалі не погіршує робочі характеристики колон з тарілками провального типу.

В огляді наводиться інформація про заміну жолобчастих тарілок на ґратчасті в колоні для виділення етилен–метанової фракції з насиченого абсорбенту. Досягнута продуктивність в 1,5 рази перевищувала граничну продуктивність колони з жолобчастим тарілками. Питома витрата пара в колоні з тарілками провального типу була на 8–10% менше, ніж в колоні з жолобчастим тарілками. Гідравлічний опір в колоні з тарілками провального типу в 1,5–2 рази менше, ніж в колоні з ковпачковими тарілками. У трикратному діапазоні зміни навантажень, в процесі експлуатації колона з тарілками провального типу працювала з приблизно постійною ефективністю.

У цій роботі повідомляється, що на заводі синтетичного каучуку замість трьох колон первинної ректифікації була встановлена одна колона з ґратчастими тарілками. При такій заміні підвищилася стабільність складу

одержуваного бутадієн-ректифікату. Експлуатація тарілок показала, що вони значно менше забиваються термополімером. Міжремонтний пробіг збільшився в два рази. Скоротилися витрати електроенергії, пари і води. Було встановлено, що колона ефективно працює в досить вузькому діапазоні зміни навантажень за парою і рідиною.

В роботі йдеться про те, що у виробництві стиролу основні колони агрегату, які мають діаметр 3 м, забезпечені тарілками провального типу, які мають змінний по висоті колони вільний переріз. В аналогічних агрегатах колона діаметром 2,6 м з 48 решітчастими тарілками і дві колони діаметром 2 м з 45 ковпачковими тарілками мали однакову ефективність при одній і тій же продуктивності і однаковій відстані між тарілками. Середній коефіцієнт корисної дії тарілок провального типу склав 0,7.

В роботі повідомляється, що успішно використовуються тарілки провального типу в коксохімічному виробництві. Була введена в експлуатацію дослідно-промислова колона для уловлювання бензолу кам'яновугільним маслом. Діаметр колони 0,8 м, вільний перетин тарілок 20%, відстань між тарілками 360 мм. Установка колони дозволила:

- вивести з експлуатації 4 бензолових скрубера;
- усунути бризкоунесення поглинального масла зі зворотним газом;
- зменшити експлуатаційні витрати;
- загальний обсяг апаратури зменшився в 47 разів..

Ще більш ефективною, йдеться в роботі, виявилася заміна в масообмінних колонах насадки на тарілки провального типу. В процесі моноетаноламінового очищення були встановлені тарілки провального типу в дослідно-промисловому абсорбері діаметром 1,6 м. Одночасні випробування тарілчастого і насадкового абсорбера забезпеченого кільцями Рашига 25x25x3 мм показали, що продуктивність тарілчастого абсорбера на 25% більше насадкового, а концентрація вуглекислого газу в очищеному газі в тарілчастому абсорбері нижче, ніж в насадок в 2 – 4 рази.

В роботі повідомляється, що відомо застосування тарілок провального типу з великим вільним перетином. На одному із заводів синтетичного каучуку працює спиртова колона з 70 тарілками провального типу з вільним перетином 0,58.

Наведено дані, таблиця 1.5 [16], в якій показана ефективність промислових колон з тарілками провального типу, з різними геометричними параметрами.

В огляді робиться висновок, що:

- решітчасті тарілки знайшли широке застосування в різних виробництвах;
- найбільший економічний ефект спостерігається при заміні різних насадкових скрубєрів на колони з тарілками провального типу;
- вказується на переваги тарілок провального типу перед жолобчастим і тунельно-ковпачковими тарілками;
- всюди, де необхідна робота з забрудненими рідинами, впровадження тарілок провального типу призводить до економічного ефекту, внаслідок збільшення часу міжремонтного пробігу та скорочення часу на чистку апаратів. Також бажано застосування тарілок провального типу при обробці сумішей, що полімеризуються, або сумішей, що дають інкрустації, хоча в одній з колон етилену виробництва спостерігалось відкладення полімерів на крайках щілин решітчастих тарілок;
- не викликає сумніву переваги тарілок провального типу у вакуумній ректифікації через нижчий їх гідравлічного опір в порівнянні з масообмінними тарілками інших конструкцій;
- відзначається відносно невелика ефективність тарілок провального типу і вузький діапазон їх стійкої роботи. Хоча вказують, що дослідними даними, отриманим при обстеженні промислових колон, притаманний недолік деякої частковості висновків. Не завжди можна гарантувати, що при обстеженні колони експлуатувалися в оптимальному режимі.

– експлуатація тарілок провального типу в оптимальному режимі можлива лише при наявності точних розрахункових методів, які дозволять забезпечити їх правильний розрахунок і проектування.

Таблиця 1.5 – Ефективність роботи промислових колон з решітчастими тарілками

№ з/п	Виробництва	Діаметр колони, м	Число тарілок, шт..	Відстань між тарілками, мм	Вільний перетин тарілок, д.о.	КПД тарілки, д.о.
1	Виробництво стиролу (ректифікація суміші етилбензол–стирол)	2,6	48	400	0,12-0,18, змінний за висотою	Зміцнююча частина - 0,68; вичерпна частина - 0,73
2	Виробництво стиролу	3,0	50	400	0,12-0,18	Зміцнююча частина - 0,19; вичерпна частина - 0,56
3	Розділення газів піролізу	1,2-1,6	40	450	0,16-0,2	Середнє 0,4 - 0,5
4	Установка АВТ-2	3,2	25	450	0,08-0,15	0,45
5	Центральна газофракціонуюча установка	2,4	до 80	450	–	Середнє 0,42
6	Ректифікація бражки	–	–	350	0,125	0,5 - 0,6
7	Ізобутанова колона	1,8	90	450	0,18	Розділювальна здатність така ж як у ковпачкової діаметром 2,4 м, число тарілок 81 шт., відстань між

						тарілками 600 мм
8	Масляна абсорбція пропану і бутану з попутних нафтових газів	1,8	30	-	0,17	Коефіцієнт вилучення в 1,6 рази більше, ніж в колоні з капсульними тарілками

Наведений вище аналіз дозволяє зробити висновок, що в промисловість впроваджувалися тарілки провального типу звичайного вільного перетину, який змінюється від 0,08 до 0,2. Хоча відома експлуатація колони з тарілками провального типу з великим вільним перетином – 0,38. Відомий також досвід експлуатації тарілок провального типу зі змінним по висоті колони вільним перерізом. Ширина щілин впроваджених в промисловість тарілок провального типу становила 0,004–0,005 м, при цьому не вказується довжина щілини. Діаметр отворів плато дірчастих тарілок провального типу становив 0,006–0,007 м.

З аналізу літературних даних щодо впровадження тарілок провального типу можна зробити наступні висновки:

- тарілки провального типу з успіхом застосовуються в апаратах великої одиничної потужності;
- успішно працюють в промислових умовах колони забезпечені тарілками провального типу зі змінним вільним перерізом тарілок по висоті колони;
- крупнодірчасті тарілки провального типу найбільш ефективно застосовувати в апаратах із забрудненою рідкою і (або) газовим середовищем;
- спостерігається тенденція до застосування тарілок провального типу великого вільного перетину і з великим діаметром отворів;

– наведені суперечливі дані за діапазоном стійкої роботи тарілок провального типу і їх ефективності. Це може говорити про неправильне застосування тарілок цього типу в промислових умовах і відсутності надійної методики їх розрахунку;

– необхідне проведення подальших досліджень роботи тарілок провального типу, які мають різний вільне перетин і діаметр отворів плато тарілки, такі дані необхідні для вдосконалення методики розрахунку тарілок провального типу з урахуванням діаметра колони, в якій вони встановлюються.

## 2. Аналіз напрямків дослідження тарілок провального типу

В літературі [17–25] наведені дані з дослідження роботи тарілок провального типу. Досліджувалися як гідравлічні параметри, так і ефективність роботи тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками.

Для дослідження гідравлічних характеристик тарілок провального типу в роботі [17] описаний стенд з колоною 1,4 м, в якому встановлювалася одна тарілка, рис. 2.1. Дослідження тарілок проводилися на модельній системі повітря – вода.

Конструктивні параметри досліджених тарілок наведені в таблиці 2.1 [17].

Таблиця 2.1 – Конструктивні параметри тарілок провального типу

Параметри	Типорозмір				
	I	II	III	IV	V
Вільний переріз, $f$ , %	22,68	22,41	22,78	30,12	41,88
Діаметр отворів, $d_0$ , м	0,03	0,06	0,12	0,12	0,12

Товщина тарілок складала  $\delta = 0,004$  м, матеріал – сталь Ст. 3, кромки отворів гострі.

В експериментах вимірювалися такі параметри:

- швидкість повітря в режимі виникнення газорідного шару на тарілках і на початку хвильового режиму;
- гідравлічний опір сухих і зрошуваних тарілок;
- висота газорідного шару на тарілках;
- бризкоунесення.





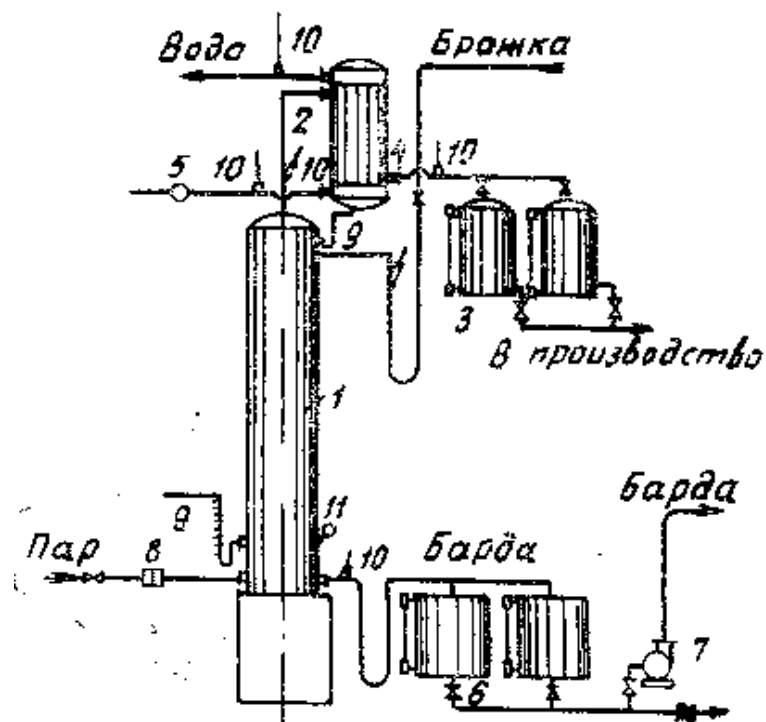


Рисунок 2.2 – Схема брагоперегонної установки:

1 – колона; 2 – конденсатор; 3 – дистиляційні баки; 4 – ліхтар дистиляту; 5 – водомір; 6 – баки для барди; 7 – насос; 8 – діафрагма; 9 – водяні манометри; 10, 11 – термометри.

Результати дослідів наведені в таблиці 2.2 [9].

Таблиця 2.2 – Результати дослідів з роботи бражної колони

Відстань між тарілками, м	Вільний перетин тарілки, %	Швидкість парів, віднесених до повного перетину колони, м/с	К.п.д. тарілок провального типу	Знімання спирту з одиниці обсягу, кг/(м <sup>3</sup> ·год)
0,3	28,5	1,24	0,69	154,0
0,3	28,5	1,2	0,53	148,5
0,3	28,5	1,24	0,53	146,0
0,3	28,5	1,12	0,53	140,0
0,3	15,4	1,07	0,56	131,0
0,3	15,4	1,16	0,78	130,0
0,3	15,4	1,4	0,4	140,0
0,3	15,4	1,28	0,5	136,0

Продовження табл. 2.2

Відстань між тарілками, м	Вільний перетин тарілки, %	Швидкість парів, віднесених до повного перетину колони, м/с	К.п.д. тарілок провального типу	Знімання спирту з одиниці обсягу, кг/(м <sup>3</sup> ·год)
0,3	15,4	1,57	0,4	154,0
0,3	15,4	0,92	0,67	99,5
0,3	15,4	1,48	0,4	142,0
0,3	15,4	1,07	0,55	129,0
0,3	21,0	1,41	0,61	218,0
0,3	21,0	1,76	0,55	244,0
0,3	21,0	1,50	0,55	208,0
0,3	21,0	1,30	0,5	182,0
0,3	21,0	1,92	0,5	222,0
0,3	21,0	1,80	0,5	222,0
0,3	21,0	1,73	0,61	244,0
0,7	18,0	1,89	0,7	222,0
0,7	18,0	2,00	0,8	320,0
0,7	18,0	2,18	0,8	396,0
0,7	18,0	1,97	0,8	288,0
0,7	18,0	1,90	0,9	354,0
0,7	18,0	1,74	0,8	276,0
0,7	18,0	1,42	0,8	232,0

В роботі [18] досліджувалися тарілки провального типу в умовах ректифікації на різних модельних системах, таблиця 2.3. Дослідження проводилися на трьох аналогічних установках з тарілками провального типу діаметром 0,050, 0,12, 0,4 м. Тарілки були виготовлені з нержавіючої сталі. Діаметр отворів плато тарілок становила 0,003 мм, вільний перетин – 25%, товщина – 2 мм.

Представлена схема установки для досліджень тарілок діаметром 0,12 м на рис. 2.3 [18].

Таблиця 2.3 – Фізико-хімічні властивості модельних систем

Номер суміші	Суміш	Концентрація, % мол.	Фізико-хімічні властивості системи					Висота шару піни (при $w=1,4\text{м/с}$ ), мм
			$\gamma_p$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_n$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ , дин/см	$\mu_p \cdot 10^4$ , кг·с/м <sup>2</sup>	$\mu_n \cdot 10^6$ , кг·с/м <sup>2</sup>	
1	Ацетон-бензол	50	794	2,34	20,7	0,304	0,882	170
2	Ацетон-бензол	10	810	2,56	21,3	0,324	0,920	155
3	Ацетон-метанол	20	758	1,46	19,5	0,317	1,005	80
4	н. Гексан-бензол	75	650	2,98	16,0	0,223	0,820	290
5	н. Гексан-бензол	15	770	2,80	20,3	0,300	0,870	260
6	Метанол-Бензол	90	770	1,60	19,7	0,365	1,072	70
7	Метанол-Бензол	40	820	1,94	22,4	0,3667	0,975	220
8	Метанол-изобутанол	50	750	1,40	19,0	0,480	-	70
9	Метанол-изобутанол	10	733	2,10	20,3	0,436	1,0	80
10	Метанол-вода	80	780	1,10	22,2	0,454	1,215	75
11	Метанол-вода	50	840	1,04	27,5	0,476	1,223	ПО
12	Метанол-вода	30	890	0,94	33,0	0,444	1,227	210
13	Метанол-вода	10	946	0,81	45,0	0,360	1,233	50
14	Метанол-вода	3	955	0,66	55,0	0,300	1,231	40
15	Етанол-вода	50	833	1,10	21,0	0,462	1,130	140
16	Етанол-вода	20	896	1,12	27,5	0,410	1,123	160

Колона мала одну досліджувану і одну розподільну тарілки. Відстань між тарілками становила 0,5 м. На зовнішню поверхню була нанесена прозора напівпровідникова плівка двоокису олова для термостатування колони.

Вгорі колони на трубі, з якій надходить рідина з конденсатора, шарнірно підвішувалася розподільна воронка. При вертикальному положенні

воронки рідина надходила в колону, а при похилому положенні – в карман, з якого по обвідній лінії вона стікала в кип'ятильник.

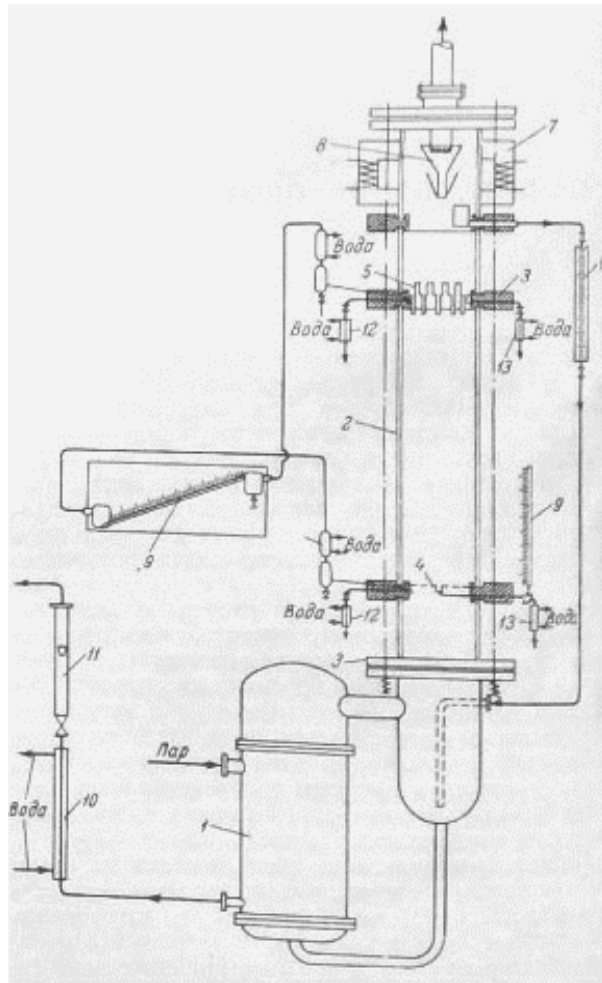


Рисунок 2.3 – Схема дослідної установки для дослідження роботи тарілок провального типу діаметром 120 мм:

1 – кип'ятильник; 2 – скляні царги колони; 3 – текстолітові фланці; 4 – тарілка провального типу; 5 – розподільча тарілка; 6 – вимірвальна судина; 7 – електромагніти; 8 – розподільча воронка; 9 – манометри; 10 – конденсатор; 11 – ротаметр; 12 – пристрій для взяття проби пари; 13 – пристрій для взяття проби рідини.

Змінюючи положення воронки за допомогою електромагнітів і програмного реле часу, встановлювали необхідне флегмове число і щільність зрошення. Інтенсивність нагрівання кип'ятильника регулювали за кількістю одержуваного конденсату пари, що гріє.

Кип'ятильник на установці з колоною діаметром 0,05 м нагрівався електричним струмом.

Колона діаметром 0,4 м була виготовлена з нержавіючої сталі і мала оглядові вікна для спостереження за роботою тарілки. Зрошення цієї колони здійснювали за допомогою насоса, а витрату рідини визначали ротаметром.

На кожному режимі роботи колон проводили від 8 до 10 дослідів. Розбіжність в матеріальному балансі кожного досвіду не перевищувала 10–15%.

Фізико-хімічні властивості досліджених сумішей представлені в таблиці 2.3. Питома вага рідини  $\gamma_p$ , її в'язкість  $\mu_p$  і поверхневий натяг  $\sigma$  визначалися дослідним шляхом при температурі ректифікації. Питома вага пари  $\gamma_n$  і його в'язкість  $\mu_n$  визначали за довідниками або вираховували за відомим рівнянням.

Коефіцієнти збагачення знаходили з використанням кривих рівноваги. Окремі точки цих кривих визначалися експериментально на досліджуваних сумішах. Отримувані при цьому розбіжності не перевищували  $\pm 1,0\%$ .

В роботі [19] досліджувалися тарілки провального типу на різних модельних системах:

- вода - повітря;
- миш'яково-содовий розчин - повітря;
- вода - коксовий газ;
- миш'яково-содовий розчин - коксовий газ.

Характеристика тарілок приведена в таблиці 2.4.

Схема дослідної установки представлена на рис. 2.4 [19]. Колони і тарілки були виготовлені з органічного скла. Товщина тарілок становила 4–6 мм.

Характеристика випробуваних тарілок представлена в таблиці 2.4 [19].

Таблиця 2.4 – Характеристика випробуваних тарілок провального типу

№ тарілки	Діаметр колони і тарілок, м	Вільний перетин тарілки, %	Еквівалентний діаметр, м	Крок отворів або ширина полос, м	Ширина щілини, м
Дірчасті тарілки					
1	0,075	20,5	0,0038	0,008	–
2	0,075	30,0	0,0046	0,007	–
3	0,075	40,0	0,0038	0,005	–
4	0,240	15,0	0,0030	0,007	–
Гратчасті тарілки					
5	0,075	13,0	0,0082	0,017	0,0041
6	0,075	22,5	0,0084	0,008	0,0042
7	0,075	31,0	0,0080	0,005	0,0040
8	0,240	0,15	0,0060	0,015	0,0030

Більшість дослідів проводилося на двох тарілках з відстанню між ними в 0,3 м.

Газ надходив через розподільник 1 в колону 2 і, пройшовши через тарілки 3, виходив в штуцер 4. Зрошувана рідина рівномірно подавалася з бачка 9 через розподільник 5 на верхню тарілку і відводилася з колони через штуцер 6. Витрату рідини вимірювався ротаметром 7, витрату газу – діафрагмою 8. Крім вимірів витрат рідини і газу, під час дослідів вимірювалися опір сухих і зрошуваних тарілок і висота рідини (піни) на тарілці.

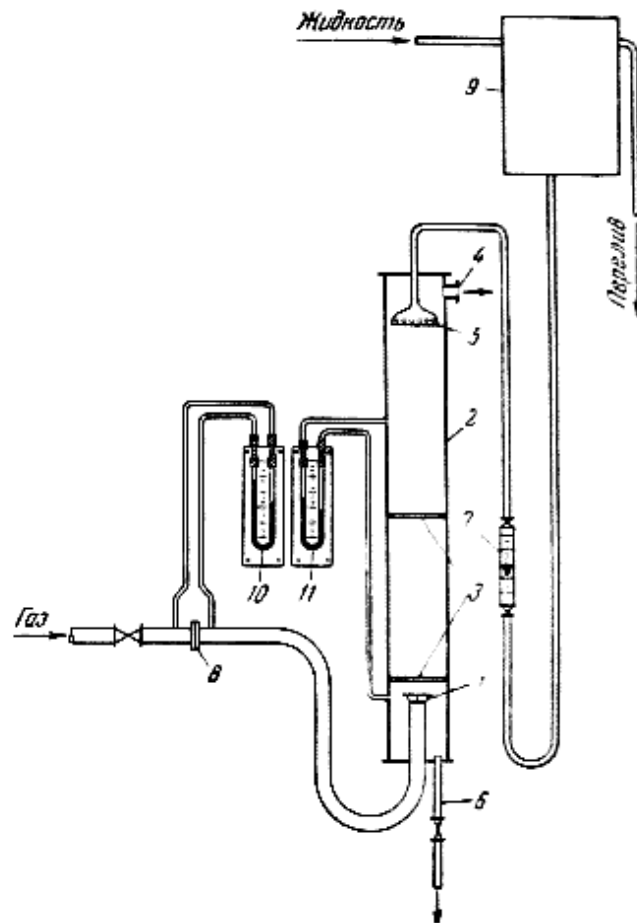


Рисунок 2.4 – Схема дослідної установки:

1 і 5 – відповідно розподільники газу і рідини; 2 – колона;  
 3 – тарілки; 4 і 6 – штуцери; 7 – ротаметр; 8 – діафрагма;  
 9 – напірний бачок; 10 і 11 – диференціальні манометри.

З наведених вище даних видно, що, в основному, були досліджені тарілки провального типу з невеликим діаметром отворів (або шириною щілини). Тарілки встановлювалися в колонах малого діаметра.

Тарілки провального типу знайшли досить широке застосування в хімічній і суміжних з нею галузях промисловості. Вони прості у виготовленні і експлуатації, а так само здатні тривалий час працювати з забрудненими робочими середовищами.

Геометричні характеристики цих тарілок такі, як вільний переріз, діаметр отворів в плато тарілки, її зовнішній діаметр, можуть змінюватися в широких межах.

У цих умовах необхідно подальше вдосконалення методики гідравлічного розрахунку тарілок провального типу.

Одним з основних параметрів роботи тарілок провального типу є гідравлічний опір тарілки. Розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу присвячена велика кількість робіт, що також говорить про складність поставленого завдання.

Автори робіт застосовують різні підходи до отримання розрахункових рівнянь для визначення гідравлічного опору тарілок провального типу.

У статтях [16, 19] була використана одна і та ж фізична модель роботи тарілки провального типу, рис. 2.5.

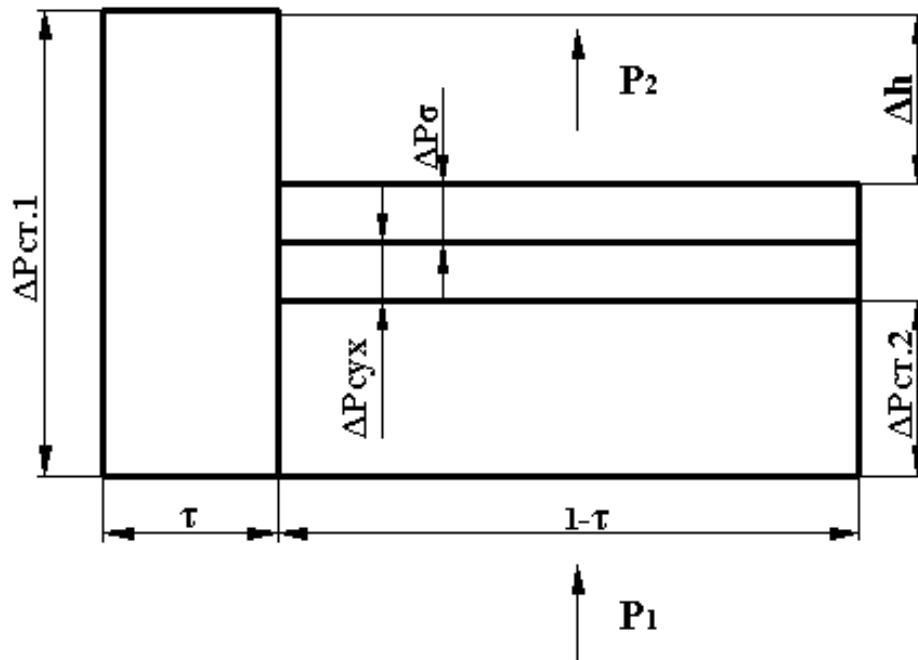


Рисунок 2.5 – Розподілення статичного тиску рідини на тарілці провального типу

Загальний гідравлічний опір тарілки  $\Delta P_m = P_1 - P_2$ , визначали за адитивністю опору сухої тарілки  $\Delta P_{сух}$ , опору статичного стовпа рідини  $\Delta P_{ст.2}$  і опору сил поверхневого натягу  $\Delta P_{\sigma}$ .

Опір сухий тарілки визначалося за рівнянням

$$\Delta P_{сух} = \zeta \frac{\rho_e w_0^2}{2}, \quad (1)$$



Опір сил поверхневого натягу за рівнянням

$$\Delta P_{\sigma} = 4 \frac{\sigma}{d_0}, \quad (2)$$

$$\Delta P_m = \Delta P_{cyx} + \Delta P_{2cm.2} + \Delta P_{\sigma}, \quad (3)$$

Передбачалося, що витікання рідини з тарілки відбувається під дією гідравлічного напору  $\Delta h$ , рис. 2.5. На підставі цього припущення автори записували швидкість витікання рідини в щілинах тарілки рівнянням

$$u = \mu_0 \tau \sqrt{2g\Delta h}, \quad (4)$$

де  $u$  – швидкість витікання рідини в щілинах тарілки, м/с.

Робилося і припущення, що стовп рідини в зоні стікання не містить бульбашок газу, тобто

$$\Delta P_{cm.1} = \rho_{жс} g h, \quad (5)$$

де  $h$  – висота стовпа світлої рідини в зоні стікання, м.

Після цього записувалося співвідношення між величинами  $h$  і  $\Delta h$ :

$$\rho_{жс} g h = \Delta P_m + \rho_{жс} g \Delta h, \quad (6)$$

А співвідношення між статичним тиском в зоні барботажа газу ( $\Delta P_{cm.2}$ ) і статичним тиском в зоні стікання рідини ( $\Delta P_{cm.1}$ ) виражалось коефіцієнтом  $\beta$

$$\beta = \frac{\Delta P_{cm.2}}{\Delta P_{cm.1}} = \frac{\Delta P_m - \Delta P_{cyx} - \Delta P_{\sigma}}{\Delta P_m + \rho_{жс} g \Delta h}, \quad (7)$$

У підсумку, автори роботи [19] отримали рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу

$$\Delta P_m = \frac{\zeta}{1-\beta} \frac{\rho_z w_0^2}{2(1-\tau)^2} [1 - \tau(1-\beta)] + \frac{4\sigma}{d_{экв}(1-\beta)} \quad (8)$$

В роботі [22] коефіцієнт  $\beta$  пропонувався визначати за рівнянням

$$\beta = 1,11 \left( \frac{\rho_z}{\rho_{жс}} \right)^{0,118} \quad (9)$$

Іншим важливим параметром, що входять в рівняння (7), є величина  $\tau$ , яка являє собою частину площі отворів тарілки провального типу, зайнятої стікає рідиною.

В роботі [16] величина  $\tau$  визначалася з умови мінімуму втрат енергії газового потоку на подолання гідравлічного опору тарілки, яке записувалося у вигляді

$$\frac{\partial(w_0 \Delta P_m)}{\partial \tau} = 0, \quad (10)$$

Автори роботи [19] отримали рівняння для розрахунку величин  $\Delta P_{cm.2}$ ,  $\Delta P_m$ ,  $\tau$ , виходячи з умови мінімуму втрат енергії рідинного потоку, що проходить через тарілку провального типу

$$\frac{\partial(\Delta P_{cm.2})}{\partial \tau} = 0, \quad (11)$$

$$\Delta P_{cm.2} = \frac{\beta}{1-\beta} \left[ \frac{\zeta \rho_p w_0^2}{2(1-\tau)^3} \right] + \frac{4\sigma}{d_{эке}}, \quad (12)$$

де

$$\tau = \frac{\left[ \left( \frac{L_0}{G_0} \right)^2 \frac{\rho_\Gamma}{\rho_{ж} \zeta \mu_0^2} \right]^{1/3}}{1 + \left[ \left( \frac{L_0}{G_0} \right)^2 \frac{\rho_\Gamma}{\rho_{ж} \zeta \mu_0^2} \right]^{1/3}}. \quad (13)$$

Тут  $L_0$  та  $G_0$  – витрати рідини та газу, кг/с,  $\mu_0 = 0,62$  – коефіцієнт витрати при витіканні рідини з отвору.

Автори роботи [20] пов'язують визначення гідравлічного опору тарілок провального типу з гідродинамічними режимами, які виникають на тарілках. Спочатку визначається оптимальний режим роботи тарілок провального типу, який залежить від граничних швидкостей газу і рідини роботи тарілок, при яких визначається висота піни на тарілках, рівняння (14)

$$\frac{h_n}{d_s} = 4Fr^{0.2}, \quad (14)$$

де  $h_n$  – висота піни на тарілці;

$d_3$  – еквівалентний діаметр отворі плато тарілки;

$$Fr = \frac{w_0^2}{gd_3} \text{ – критерій Фруда;}$$

$w_0$  – швидкість газу у вільному перетині тарілки.

Робоча швидкість газу повинна бути обрана трохи нижче граничної швидкості газу.

Остаточно пропонується наступне рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілок

$$\Delta p_m = \zeta_{об.} \frac{w_0^2 \gamma_z}{2g} + 0,43 h_n \left( \frac{L}{G} \right)^{0,325} \left( \frac{\gamma_z}{\gamma_{жс}} \right)^{0,18} \left( \frac{\mu_{жс}}{\mu_z} \right)^{0,0362} \gamma_{жс} + \frac{4S}{d_3}, \quad (15)$$

де  $\zeta_{об.}$  – коефіцієнт опору тарілки;

$L$  и  $G$  – вагові швидкості рідини і газу;

$\mu_{жс}$  и  $\mu_z$  – в'язкість рідини і газу;

$S$  – поверхневий натяг рідини.

Автори роботи [5 21] відзначають, що рівняння, отримані в роботі [16], отримані для всього інтервалу роботи тарілок і виведені з закономірностей гідростатики. У рівняннях не врахований діаметр колони. У рівняння входить величина  $\beta$ , яка повинна бути визначена експериментально для кожного конкретного випадку. У разі застосування рекомендованих значень  $\beta$ , розрахунки з даного рівняння дають, як правило, занижені результати в порівнянні з дослідними даними авторів. Автори роботи [21] приймають, що піна являє собою місцевий гідравлічний опір для проходження як газу, так і рідини. Вони виводять свої рівняння з рівняння Бернуллі, записаного для першого перерізу піни на плато тарілки і другого перерізу піни на її поверхні. В результаті авторами отримано наступне рівняння для гідравлічного розрахунку тарілок провального типу

$$Eu_0 \frac{\gamma_z}{\gamma_{жс}} = \frac{0,21}{\sqrt{f}} Fr_{он}^{-1,2}, \quad (16)$$

де  $Eu_0 = \frac{\Delta p_n g}{\gamma_2 w_0^2}$  – критерій Ейлера розрахований за швидкості газу в отворах тарілки;

$\Delta p_n$  – опір шару піни;

$Fr_{on} = \frac{w_0^2}{gh_n}$  – критерій Фруда, розрахований за швидкістю газу в отворах тарілки і висоті піни;

Рівняння (16) отримано для всіх режимів роботи тарілки.

Автор роботи [22] виводить рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу, використовуючи аналіз розмірностей і висновки, що випливають з Пі-теореми.

Розглядався найбільш загальний випадок роботи тарілки, для розрахунку гідравлічного опору вибрано рівняння (17)

$$\Delta p = f(w_{0z}, w_{0ж}, \rho_z, \rho_{ж}, \mu_z, \mu_{ж}, \sigma, g, l, \delta), \quad (17)$$

де  $w_{0z}$  та  $w_{0ж}$  – швидкості газу і рідини у вільному перетині тарілки, м/с;  $\rho_z$  і  $\rho_{ж}$  – щільності газу і рідини, кг·сек<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $\mu_z$  і  $\mu_{ж}$  – в'язкості газу та рідини, кг·сек/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини на межі з газом, кГ/м;  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/сек<sup>2</sup>;  $l$  – характерний лінійний розмір тарілки (ширина щілин, діаметр отворів і тощо), м;  $\delta$  – товщина тарілки, м.

Остаточно отримано наступне критеріальне рівняння (18)

$$Eu_{0z} = f\left(\frac{w_{0ж}}{w_{0z}}, \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_z}, Re_{0ж}, Ga, \frac{\delta}{a}\right), \quad (18)$$

або

$$Eu_{0z} = A \left(\frac{w_{0ж}}{w_{0z}}\right)^\alpha \left(\frac{\gamma_{ж}}{\gamma_z}\right)^\beta Re_{0ж}^\varepsilon Ga^\zeta \left(\frac{\delta}{a}\right)^\theta, \quad (19)$$

де  $Eu_{0z} = \frac{\Delta p}{\gamma_z \frac{w_{0z}^2}{g}}$  – критерій Ейлера для газового потоку;

$Re_{0ж} = \frac{w_{0ж} l \gamma_{ж}}{g \mu_{ж}}$  – критерій Рейнольдса для рідинного потоку;

$Ga = \frac{Re_{0з}^2 \left( \frac{\gamma_{ж}}{\gamma_z} \right)^2 \left( \frac{\mu_{ж}}{\mu_z} \right)^2}{Fr_{0з}}$  – модифікований критерій Галілея;

$Re_{0з} = \frac{w_{0з} l \gamma_z}{g \mu_z}$  – критерій Рейнольдса для газового потоку;

$Fr_{0з} = \frac{w_{0з}^2}{gl}$  – критерій Фруда для газового потоку;

$\gamma_z$  і  $\gamma_p$  – питомі ваги газу і рідини, кг/м<sup>3</sup>.

$A, \alpha, \beta, \varepsilon, \zeta, \theta$  – коефіцієнти критеріального рівняння.

Далі автор за експериментальними даними знаходив значення коефіцієнтів  $A, \alpha, \beta, \varepsilon, \zeta, \theta$ .

З розглянутих робіт видно, що для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу використовуються різні підходи.

Необхідно відзначити, що автори робіт [21, 22] в результаті отримали критеріальні рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу.

Відомо, що подібне критеріальне рівняння можна отримати, як рішення диференціальних рівнянь Нав'є – Стокса для сталого руху, коли сили в'язкості в рідині мають істотне значення [23].

$$Eu = f(Re, Fr, \Gamma_i), \quad (20)$$

де  $\Gamma_i$  – симплекс геометричної подібності.

Рівняння (16) отримано для випадку, коли сили в'язкості не мають істотного впливу на гідравлічний опір тарілок провального типу. Цікавий підхід авторів роботи [21], які приймають, що піна являє собою місцевий гідравлічний опір для проходження як газу, так і рідини.

У даній роботі розглядається фізична модель, коли газорідинний шар на тарілці провального типу надає гідравлічний опір потоку газу як місцевий опір (подібно підходу з роботи [21]).

Тоді сила опору газу дорівнюватиме

$$F = \zeta S \frac{\rho_z w^2}{2}, \quad (21)$$

де  $F$  – сила опору газової фази, Н;

$\zeta$  – коефіцієнт опору;

$S$  – площа контакту газу та рідини, м<sup>2</sup>;

$\rho_z$  – щільність газу, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  – швидкість газу в перетині колони, м/с.

Приймаємо наступну функціональну залежність для сили опору газової фази

$$F = f(l, \rho_z, w, g, \mu). \quad (22)$$

Тоді ступенева залежність буде мати такий вигляд

$$F = Al^\alpha \rho_z^\beta w^\chi g^\delta \mu^\varepsilon, \quad (23)$$

де  $A, \alpha, \beta, \chi, \delta, \varepsilon$  – коефіцієнти.

Після відповідних перетворень за методом аналізу розмірностей отримуємо критеріальне рівняння

$$F = f(\text{Re}, Fr) A \rho_z l^2 w^2, \quad (24)$$

або після перетворення

$$Eu = f(\text{Re}, Fr), \quad (25)$$

де  $Eu = \frac{\Delta p_{z.c.}}{\rho_z w}$  – критерій Ейлера;

$\Delta p_{z.c.}$  – гідравлічний опір газорідинного шару, Па;

$\text{Re}$  – критерій Рейнольдса;

$Fr = \frac{w^2}{g H_{z.c.}}$  – критерій Фруда,

$H_{z.c.}$  – висота газорідинного шару, м.

В роботі [24] показано, що максимальна ефективність масообміну на тарілках провального типу відповідає режиму рухомого газорідинного шару, який настає в точці біфуркації.

В роботі [25] зроблено висновок, що режим рухомого газорідного шару є турбулентним.

В цьому випадку приймається, що сили в'язкості, що діють в газорідному шарі, не мають істотного значення. Тому, для подальшої обробки з залежності (25) виключається критерій Рейнольдса.

Обробку експериментальних даних по вимірюванню гідравлічного опору газорідного шару проводили, використовуючи наступну функціональну залежність

$$Eu = f(Fr), \quad (26)$$

Метою дослідження є обробка експериментальних даних по гідравлічному опору газорідного шару на тарілках провального типу з метою отримання розрахункових рівнянь.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

– визначено умови отримання рівнянь для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу. Обрано турбулентний гідродинамічний режим роботи тарілок провального типу, при якому гідравлічний опір газорідного шару не залежить від швидкості газу, розрахованої на повний переріз колони, при даній щільності зрощення по рідині. Цей режим рухомого газорідного шару настає в точці біфуркації, при цьому висота газорідного шару становить близько  $H_0 = 0,1$  м.

– отримані критеріальні рівняння для розрахунку гідравлічного опору газорідного шару на тарілках провального типу з вільним перетином  $f = 16, 25, 36$  діаметр отворів складав  $d_0 = 0,012$  м, тарілки були встановлені в колоні діаметром  $D_k = 0,15$  м. В критеріях Ейлера і Фруда використовувалися швидкості газу, розраховані на повний переріз колони. В критерій Фруда в якості геометричного розміру підставлялась висота газорідного шару рівна  $H_0 = 0,1$  м.

Експериментальні дані були отримані на колоні діаметром  $D_k = 0,15$  м. У колоні були встановлені дві тарілки. Розподільна тарілка встановлювалася вище робочої тарілки і мала більший вільний переріз. Нижче

встановлювалася робоча тарілка провального типу, на якій вимірювалися гідравлічний опір сухої тарілки і загальний гідравлічний опір зрошуваної тарілки. Вимірювалася також висота газорідинного шару на робочій тарілці. Геометричні характеристики досліджених тарілок наведені в роботі [8 24].

До обробці були прийняті експериментальні дані, отримані на тарілках № 11, 14, 16.

До обробці приймалися експериментальні по вимірюванню гідравлічного опору газорідинного шару, які розраховувалися з рівняння (27) подібного рівняння (3)

$$\Delta p_{zc} = \Delta p_m - \Delta p_{cух} - \Delta p_{\sigma}, \quad (27)$$

де  $\Delta p_{zc}$  – гідравлічний опір газорідинного шару, Па;

$\Delta p_m$  – загальний гідравлічний опір тарілки, Па;

$\Delta p_{cух}$  – гідравлічний опір сухої тарілки, Па;

$\Delta p_{\sigma}$  – гідравлічний опір, викликаний силами поверхневого натягу, Па.

Експериментальні дані оброблялися за наступним рівнянням

$$Eu_{zж} = A Fr^b, \quad (28)$$

де  $Eu_{zж} = \frac{\Delta p_{zж}}{\rho_z w^2}$  – критерій Ейлера;

$Fr = \frac{w^2}{g H_{\delta}}$  – критерій Фруда;

$w$  – швидкість газу, розрахована на повний переріз колони, м/с;

$H_{\delta} = 0,1$  м – висота газорідинного шару в точці біфуркації;

$A, b$  – коефіцієнти.

Спочатку були оброблені експериментальні дані, отримані на тарілці № 11. Вільний перетин тарілки становив  $f = 16\%$ , діаметр отворів в плато тарілки  $d_0 = 0,012$  м. Щільність зрошення становила  $L = 1,6, 3,2, 8,0, 12,7, 19$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Кожній щільності зрошення відповідає певна швидкість газу в точці біфуркації (початок режиму рухомого барботажного шару).

Графік залежності функції  $L = f(w)$  показано на рис. 2.6.



Подальша обробка експериментальних даних проводилась по залежності (28). Коефіцієнти  $A$  і  $b$  визначалися з регресійного аналізу за програмою Microsoft Excel. В результаті було отримано розрахункове рівняння

$$Eu = 316Fr^{-2,43}, \quad (29)$$

де  $A=316$ ,  $b=-2,43$ .

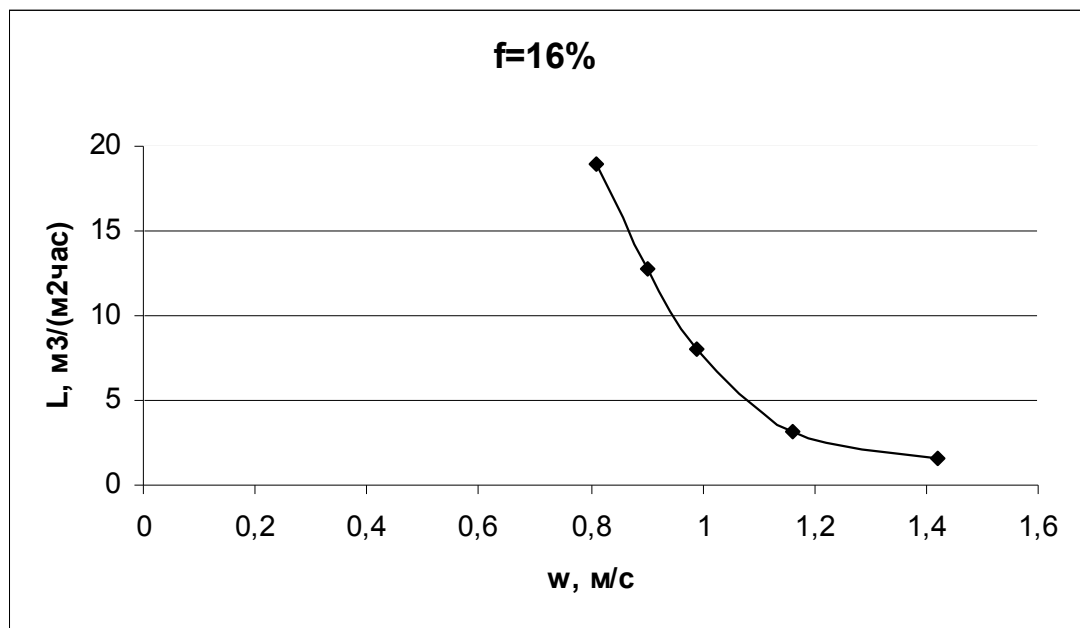


Рисунок 2.6 – Графік залежності  $L=f(w)$ ,  $f=16\%$

За рівняння (29) визначали розрахункові значення гідравлічного опору газорідного шару для кожної щільності зрошення.

Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (29) показано на рис. 2.7.

На графіки рис. 2.7, рис. 2.9, рис. 2.11, рис. 2.12 нанесені лінії розбіжностей експериментальних і розрахункових значень  $\pm 15\%$ .

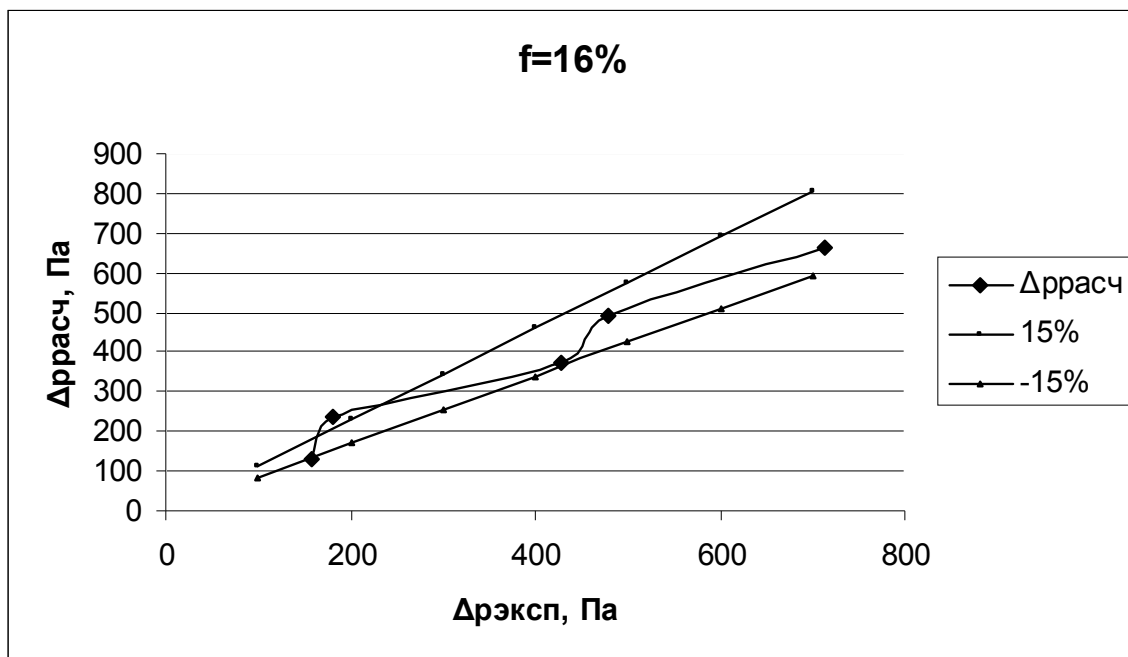


Рисунок 2.7 – Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (29)

Далі оброблялися експериментальні дані, отримані при дослідженні тарілки № 14. Вільний перетин тарілки становив  $f = 25\%$ , діаметр отворів в плато тарілки  $d_0 = 0,012$  м. Щільності зрошення складали  $L = 1,6, 3,2, 8,0, 12,7, 19,0, 30,0$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Кожній щільності зрошення відповідає певна швидкість газу в точці біфуркації.

Графік залежності функції  $L=f(w)$  показано на рис. 2.8.

В результаті обробки експериментальних даних було отримано розрахункове рівняння для тарілки № 14 ( $f=25\%$ ).

$$Eu = 447 Fr^{-1,73}, \quad (30)$$

де  $A=447, b=-1,73$ .

Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (30) показано на рис. 2.9.

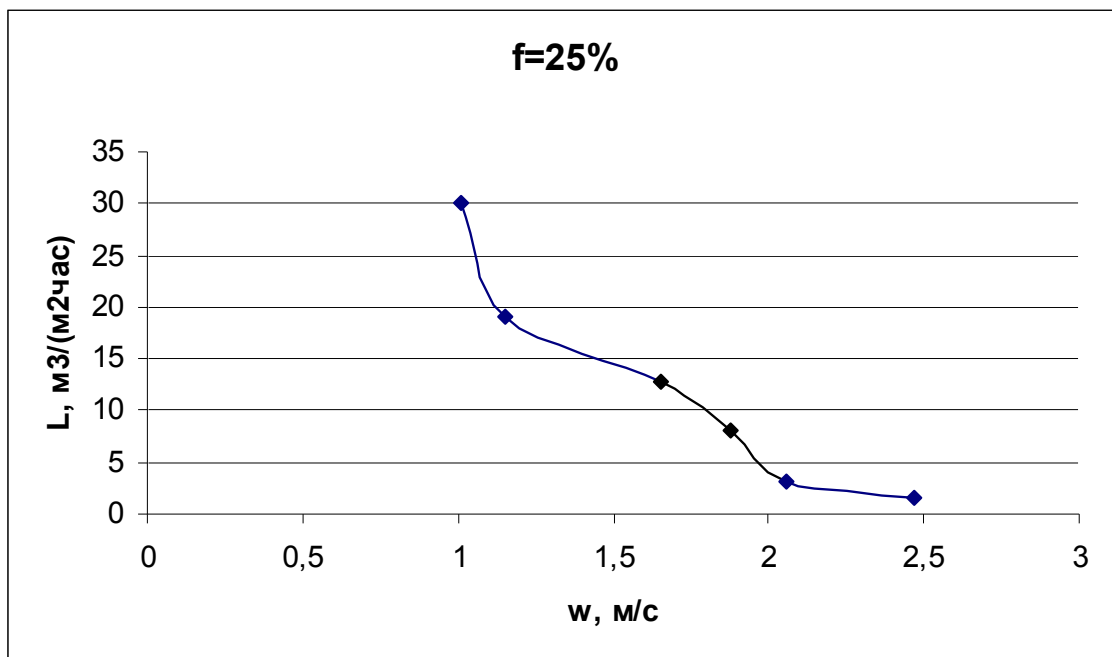


Рисунок 2.8 – Графік залежності  $L = f(w)$ ,  $f=25\%$

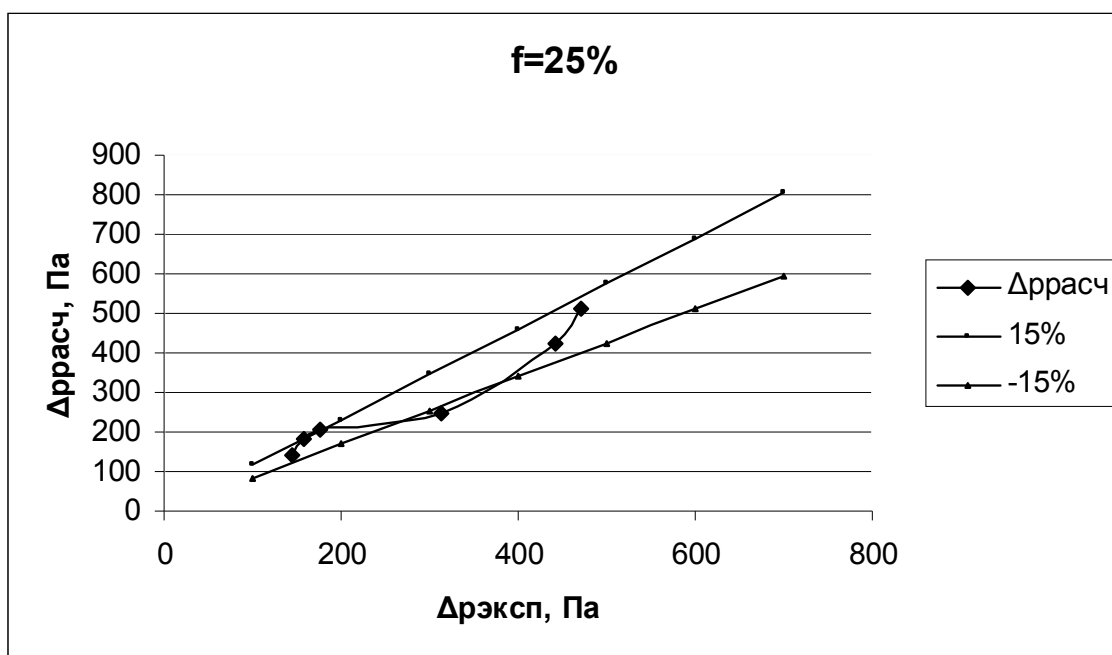


Рисунок 2.9 – Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (30)

Далі оброблялися експериментальні дані, отримані при дослідженні тарілки № 16. Вільний перетин тарілки становив  $f=36\%$ , діаметр отворів в

плато тарілки  $d_0=0,012$  м. Щільності зрошення становили  $L=1,6, 3,2, 12,7, 30,0$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Кожній щільності зрошення відповідає певна швидкість газу в точці біфуркації.

Графік залежності функції  $L=f(w)$  показано на рис. 2.10.

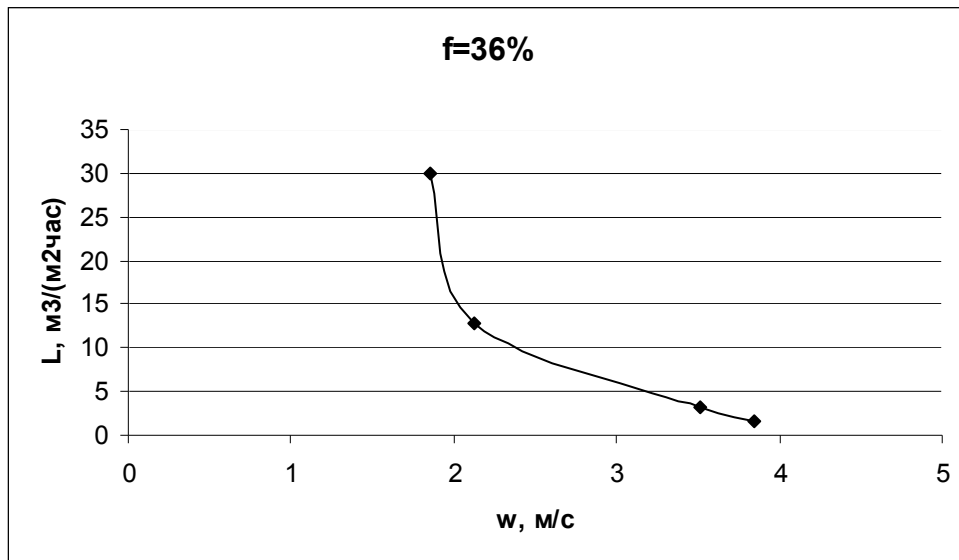


Рисунок 2.10 – Графік залежності  $L=f(w)$ ,  $f=36\%$ .

В результаті обробки експериментальних даних було отримано розрахункове рівняння для тарілки № 16 ( $f=36\%$ ).

$$Eu = 251Fr^{-1,4}, \quad (31)$$

де  $A=251$ ,  $b=-1,4$ .

Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (31) показано на рис. 2.11.

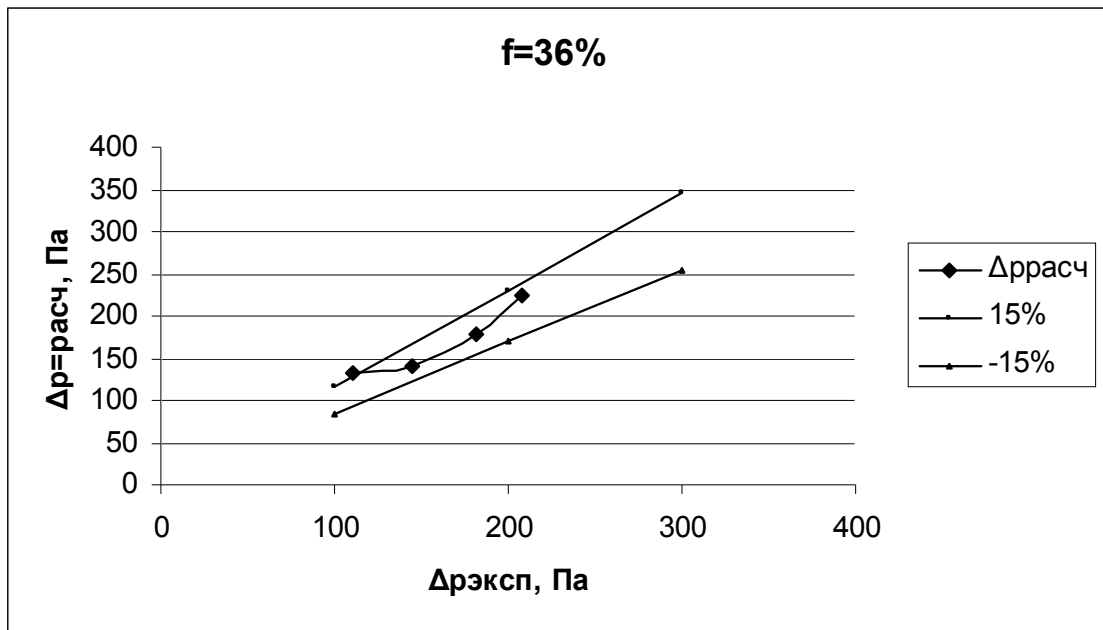


Рисунок 2.11 – Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (31).

Остаточно, єдиним масивом були оброблені експериментальні дані по визначенню гідравлічного опору газорідного шару для всіх трьох тарілок. Отримано загальне рівняння для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу (32), вільний перетин яких змінюється в межах  $f=16-36\%$ . Діаметр колони складає  $D_k=0,15$  м

$$Eu = 331Fr^{-1,62}, \quad (32)$$

де  $A=331$ ,  $b=-1,62$ .

Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (32) показано на рис. 2.12.

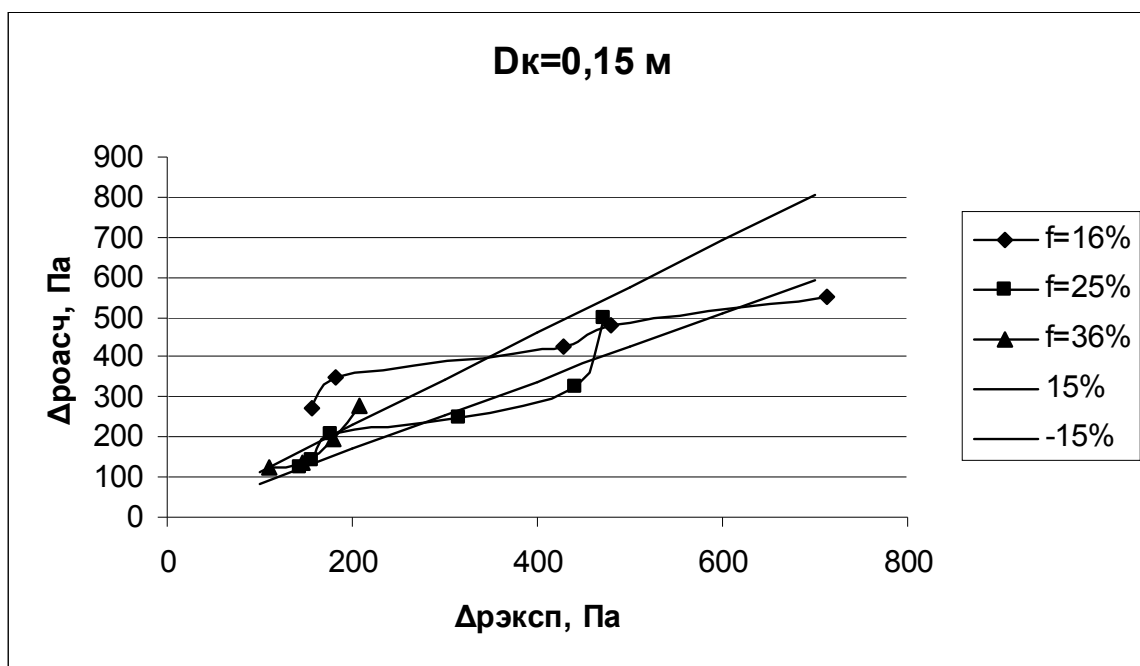


Рисунок 2.12 – Зіставлення експериментальних значень гідравлічного опору газорідного шару на тарілці провального типу з розрахованими значеннями за рівнянням (32).

Основна відмінність отриманих в даній роботі рівнянь, які використовуються для розрахунку гідравлічного опору тарілок провального типу (29) – (32) від раніше запропонованих рівнянь (16), (19), полягає в тому, що в рівняння (16), (19) входить швидкість газу в отворах плато тарілки ( $w_0$ ), а в рівняння (29)– (32) входить швидкість газу розрахована на повний переріз колони ( $w$ ).

Слід зазначити, що в раніше отримане рівняння (16), критерій Фруда входить з негативним ступенем, як і в рівняння (29) – (32).

Рівняння (29) – (32) отримані для визначення гідравлічного опору газорідного шару в режимі рухомого газорідного шару на тарілках провального типу. Прийнято на підставі висновків роботи [25], що при однаковій щільності зрошення по рідини, гідравлічний опір газорідного шару на тарілці провального типу не залежить від швидкості газу, розрахованої на повний переріз колони. Тому, кожній щільності зрошення рідини відповідає тільки одне значення гідравлічного опору газорідного

шару, яке не залежить від швидкості газу розрахованої на повний переріз колони в режимі рухомого газорідного шару.

Графіки, рис. 2.7, рис. 2.9, рис. 2.11 показують, що розбіжність між досвідченими і розрахунковими значеннями гідравлічного опору газорідного шару на тарілках знаходяться в межах  $\pm 15\%$ .

Розбіжність між дослідними і розрахунковими за рівнянням (31) значеннями гідравлічного опору газорідного шару на тарілках кілька перевищує межі  $\pm 15\%$ .

Автори роботи [25] роблять висновки.

1. Проведено обробку експериментальних даних по визначенню гідравлічного опору газорідного шару на тарілках провального типу на колоні діаметром  $D$  до  $= 0,15$  м. Досліди проводилися на модельній системі вода – повітря. Вільний перетин тарілок становив  $f = 16, 25$  і  $36\%$ , а діаметр отворів в плато тарілки –  $d_0 = 0,012$  м. Обробка експериментальних даних здійснювалася по залежності (28). Оброблялися експериментальні дані тільки для режиму рухомого газорідного шару на тарілках провального типу. Як лінійний розмір в критерій Фруда підставлялась величина  $H_0 = 0,1$  м – висота газорідного шару в точці біфуркації. В критеріях Ейлера і Фруда використовувалася швидкість газу, розрахована на повний переріз колони,  $w$ .

2. Для тарілок з вільним перетином  $f = 16\%$  отримано розрахункове рівняння (29), для  $f = 25\%$  – рівняння (30), а для  $f = 36\%$  – рівняння (31).

Розбіжність між дослідними та розрахунковими по відповідним рівнянням значеннями гідравлічного опору газорідного шару на тарілках, в основному, знаходяться в межах значень похибки  $\pm 15\%$  і рівняння (29) – (31) можуть бути рекомендовані в якості розрахункових для відповідних умов.

3. Було отримано узагальнене рівняння (32) для тарілок, вільний перетин яких змінювалося в межах  $f = 16\text{--}36\%$ . Розбіжність між дослідними та розрахунковими значеннями гідравлічного опору газорідного шару на тарілках перевищує значення похибки  $\pm 15\%$ , тому рівняння (32) може бути

використано для попередніх розрахунків гідравлічного опору тарілок провального типу.

4. У роботі [10] було запропоновано рівняння для розрахунку швидкостей газової і рідкої фаз в точці біфуркації для тарілок провального типу з діаметром отворів  $d_0 = 0,012$  мм і різних вільних перетинів цих тарілок. За даним рівнянням попередньо можна визначити швидкості газової і рідкої фаз в точці біфуркації тарілки провального типу, що розраховується, а потім за допомогою рівнянь (29–32), отриманих в даній роботі, визначити необхідний гідравлічний опір тарілки провального типу для відповідних умов.



## 2.1. Мета і задачі роботи

Метою даної роботи є дослідження середнього газовмісту газорідного шару тарілок провального типу різного вільного перерізу в колоні діаметром  $D = 0,057$  м, встановити зв'язок між середнім газовмістом та ефективністю тарілок провального типу

Задачі роботи наступні:

- ознайомлення із способами дослідження тарілок провального типу;
- ревізія експериментальної установки;
- проведення експериментів на установці;
- обробка результатів експериментів, аналіз одержаних даних;
- висновки.

### 3. Опис експериментальної установки

Схема експериментальної установки представлена на рис. 3.1.

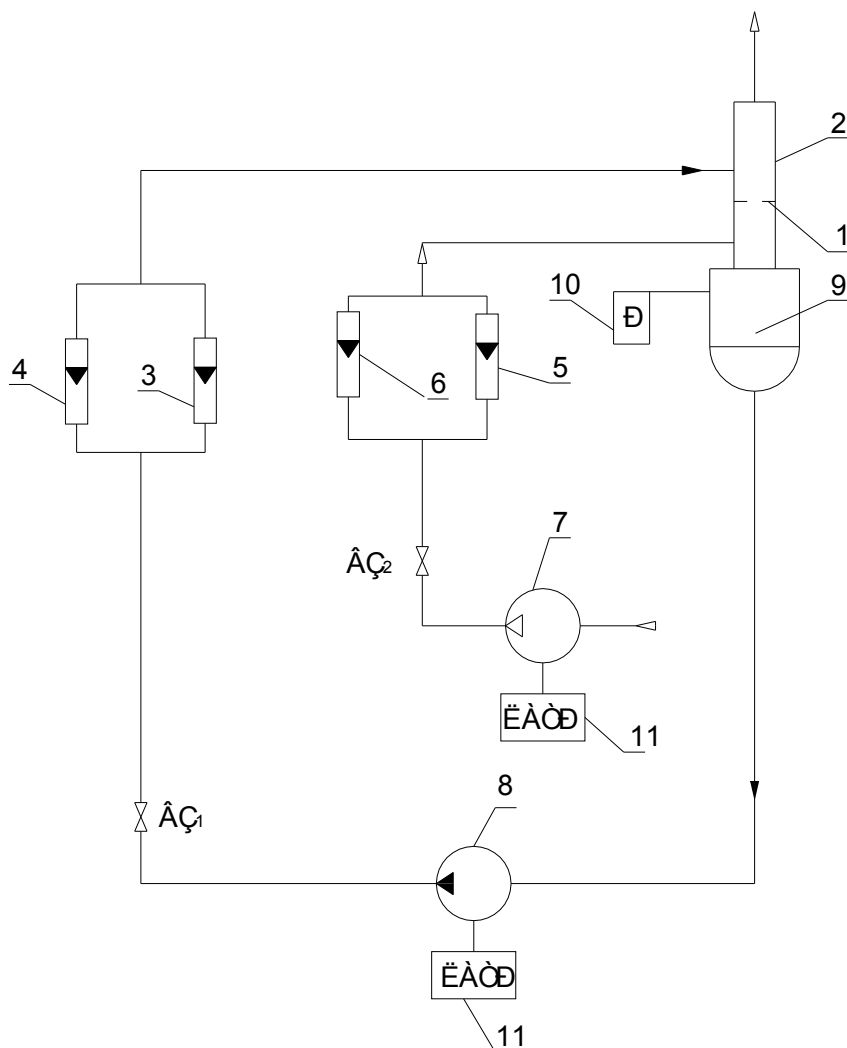


Рис.3.1. Схема експериментальної установки

1 – тарілка провального типу; 2 – колона ; 3, 4, 5, 6 – ротаметри; 7 – газодувка; 8 – насос; 9 – куб колони; 10 – манометр; 11 – ЛАТР.

Установка являє собою колону 2 з встановленою в ній тарілкою провального типу 1. За допомогою насоса 8 вода подається через ротаметри 3, 4 в верхню частину колони. Повітря за допомогою газодувки 7 через ротаметри 5, 6 подається в колону в місці, яке знаходиться нижче тарілки для забезпечення протитоку і тим самим утворення барботажного шару. Витрати рідини і повітря регулюємо ротаметрами 3,4,5,6.

## 4. Експериментальні дослідження

### 4.1. Методика проведення експериментів

Перед початком роботи заповнюємо кубову частину колони водою. Включаємо в роботу насос і через ротаметр, завдяки якому ми можемо бачити витрату води, подаємо воду в верхню частину колони на зрошувач. За допомогою регулювання числа обертів електродвигуна насоса ми можемо регулювати витрату води. Зрошувач у верхній частині колони забезпечує більш рівномірний розподіл води по перетину колони.

Далі ми включаємо в роботу газодувки, і через вентиль і ротаметр подаємо повітря під тарілку. Завдяки ротаметру ми бачимо витрату повітря, а за допомогою вентиля ми можемо регулювати його витрату.

Зверху над тарілкою провального типу у нас розташована лінійка для вимірювання висоти піни. Під тарілкою встановлений U образний манометр для вимірювання гідравлічного опору тарілки.

Змінюючи щільність зрошення і швидкості подачі газу, ми встановлюємо режими роботи тарілки і вимірюємо висоту піни газорідного шару і гідравлічний опір тарілки.

#### 4.2. Обробка експериментальних даних

Отримані дані в ході експерименту вносимо в таблицю, для подальших розрахунків висоти статичного стовпа рідини і середнього газозмісту.

Таблиця 1. Вільний перетин тарілки  $f=0,15$

Щільність зрошування, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ LL	Гідрравлічний опір, мм. $\Delta h_{\text{общ}}$	Висота піни, мм H	Швидкість газу, м/с w	$\Delta h_{\text{сх}}$	Висота статичного стовпа рідини $\Delta h_{\text{ст}}$	Середній газозміст $\phi$
1	2	3	4	5	6	7
3,9	11	20	0,56	1,27	7,15	0,79
	13	30	0,65	1,72	5,6	0,81
	14	40	0,74	2,23	6,1	0,84
	17	50	0,83	2,8	8,6	0,83
	19	50	0,92	3,4	10,1	0,8
	19	60	1,01	4,14	9,4	0,84
	21	70	1,1	4,93	10,8	0,85
	22	70	1,27	6,57	10,3	0,85
	25	80	1,44	8,45	11,7	0,85
	31	90	1,62	10,7	15,7	0,83
	39	130	1,83	13,65	21,1	0,62
	41	140	1,96	15,66	21,3	0,85
	43	160	2,09	17,8	21,4	0,87
	53	180	2,22	20,09	29,4	0,84
	57	200	2,35	22,5	31,3	0,84
	60	220	2,55	26,5	30,8	0,86
	64	240	2,75	30,83	31,0	0,87
	70	260	2,94	35,2	33,1	0,87
	79	280	3,14	40,2	37,8	0,87
85	300	3,33	45,2	39,4	0,87	
90	330	3,53	50,8	39,4	0,88	

1	2	3	4	5	6	7
8,35	11	20	0,29	0,34	4,8	0,76
	13	30	0,38	0,59	6,6	0,78
	15	40	0,47	0,9	8,3	0,79
	17	50	0,56	1,28	10,0	0,8
	19	60	0,65	1,72	11,6	0,81
	21	70	0,74	2,23	13,1	0,81
	21	80	0,83	2,8	12,6	0,84
	22	90	0,92	3,45	13,1	0,85
	25	100	1,01	4,16	15,4	0,85
	27	110	1,1	4,9	16,8	0,85
	29	100	1,27	6,57	15,3	0,85
	33	110	1,44	8,45	19,7	0,82
	37	130	1,62	10,7	21,7	0,83
	41	140	1,83	13,65	23,1	0,84
	51	170	1,96	15,66	31,3	0,82
	57	190	2,09	17,8	35,4	0,81
	63	240	2,22	20,1	39,4	0,84
	71	300	2,35	22,5	45,3	0,85
13,5	13	20	0,2	0,16	6,9	0,66
	15	40	0,29	0,34	8,8	0,78
	18	50	0,38	0,59	11,6	0,77
	21	60	0,47	0,9	14,3	0,76
	23	70	0,56	1,28	16,0	0,77
	25	80	0,65	1,72	17,6	0,78
	29	90	0,74	2,23	21,1	0,77
	31	100	0,83	2,8	22,6	0,77
	31	110	0,92	3,45	22,0	0,8
	32	120	1,01	4,16	22,4	0,81
	33	130	1,1	4,93	22,7	0,83
	37	120	1,27	6,57	25,3	0,79
	39	140	1,44	8,45	25,6	0,82
	49	160	1,62	10,7	33,6	0,79
	57	190	1,83	13,65	39,0	0,79
	63	220	1,96	15,66	43,3	0,8
	75	270	2,09	17,8	53,4	0,8
	86	330	2,22	20,1	62,3	0,81

1	2	3	4	5	6	7
	23	40	0,2	0,16	16,9	0,58
	27	60	0,29	0,34	20,8	0,65
32,46	27	80	0,38	0,59	20,6	0,74
	31	100	0,47	0,9	24,3	0,76
	31	110	0,56	1,28	24	0,78
	35	120	0,65	1,72	27,6	0,77
	37	130	0,74	2,23	29,1	0,78
	39	140	0,83	2,8	30,6	0,78
	45	150	0,92	3,45	36,0	0,76
	51	160	1,01	4,16	41,4	0,74
	54	180	1,1	4,93	43,7	0,76
	77	220	1,27	6,57	65,3	0,7
100	320	1,44	8,45	86,6	0,73	
51,18	31	70	0,2	0,16	24,9	0,64
	35	90	0,29	0,34	28,8	0,68
	37	100	0,38	0,59	30,6	0,69
	41	110	0,47	0,9	34,3	0,69
	45	120	0,56	1,28	38,0	0,68
	51	140	0,65	1,72	43,6	0,69
	57	160	0,74	2,23	49,1	0,69
	65	180	0,83	2,8	56,6	0,69
	71	200	0,92	3,45	62,0	0,69
	77	240	1,01	4,16	67,4	0,72
100	280	1,1	4,93	89,7	0,68	
68,71	41	70	0,2	0,16	34,9	0,5
	41	90	0,29	0,34	34,8	0,61
	48	120	0,38	0,59	41,6	0,65
	54	130	0,47	0,9	47,3	0,64
	57	140	0,56	1,28	50,0	0,64
	65	160	0,65	1,72	57,6	0,64
	77	200	0,74	2,23	69,1	0,65
	85	240	0,83	2,8	76,6	0,68
	97	330	0,92	3,45	88,0	0,73
	55	110	0,2	0,16	48,9	0,56
	58	120	0,24	0,23	51,9	0,57
	59	140	0,29	0,34	52,8	0,62

82,28 1	64	150	0,33	0,44	57,7	0,62
	69	160	0,38	0,59	62,6	0,61
	71	170	0,42	0,72	64,4	0,62
	71	180	0,47	0,9	64,3	0,64
	2	3	4	5	6	7
	73	190	0,51	1,06	66,1	0,65
	77	200	0,56	1,28	70,0	0,65
	83	220	0,60	1,47	75,8	0,66
	87	230	0,65	1,72	79,6	0,65
	100	270	0,69	1,94	92,4	0,66
	110	300	0,74	2,23	102,1	0,66
	120	340	0,78	2,48	111,9	0,67
94,85	73	150	0,2	0,16	66,9	0,55
	79	170	0,24	0,23	72,9	0,57
	85	190	0,29	0,34	78,8	0,58
	93	200	0,33	0,44	86,7	0,57
	93	210	0,38	0,59	86,6	0,59
	94	220	0,42	0,72	87,4	0,6
	94	230	0,47	0,9	87,3	0,62
	110	270	0,51	1,06	103,1	0,62
	120	310	0,56	1,28	113,0	0,63
	130	330	0,60	1,47	122,8	0,63

Таблица 2. Вільний переріз тарілки  $f= 0,21$

Щільність зрошування, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ L	Гідравлічний опір, мм. $\Delta h_{\text{обц}}$	Висота піни, мм H	Швидкість газу, м/с w	$\Delta h_{\text{сyx}}$	Висота статичного стовпа рідини $\Delta h_{\text{cm}}$	Середній газ-вміст $\phi$
1	2	3	4	5	6	7
	2	0	0,39	0,31	6,18	
	2	0	0,41	0,34	6,21	
	2	0	0,44	0,4	6,27	
	3	0	0,47	0,45	6,32	
	3	0	0,50	0,52	6,39	
	3	0	0,53	0,58	6,45	

1,57	10	25	0,56	0,65	6,53	0,86
	11	25	0,59	0,72	6,60	0,823
	11	30	0,61	0,77	6,65	0,854
	13	40	0,64	0,85	6,73	0,843
	15	50	0,67	0,93	6,81	0,836
	18	55	0,70	1,01	6,89	0,797
	16	45	0,73	1,1	6,98	0,799
	18	60	0,76	1,2	7,08	0,817
	18	60	0,79	1,29	7,17	0,819
	18	60	0,82	1,39	7,27	0,821
	18	60	0,85	1,5	7,38	0,822
	19	60	0,88	1,61	7,49	0,808
	19	65	0,90	1,68	7,56	0,823
	20	65	0,93	1,79	7,68	0,81
	20	65	0,96	1,91	7,8	0,812
	19	55	1,07	2,38	8,26	0,804
	20	60	1,24	3,19	9,08	0,817
	22	60	1,41	4,13	10,02	0,8
	26	65	1,58	5,19	11,08	0,77
	31	80	1,75	6,37	12,27	0,765
	36	95	1,92	7,66	13,56	0,763
	40	105	2,09	9,08	14,99	0,761
	42	115	2,26	10,62	16,53	0,778
	45	125	2,43	12,28	18,19	0,785
	47	135	2,60	14,06	19,97	0,799
	49	140	2,77	15,96	21,87	0,805
	53	150	2,94	17,98	23,9	0,805
	54	150	3,11	20,12	26,04	0,813
	57	160	3,28	22,38	28,3	0,82
	60	170	3,45	24,76	30,69	0,827
64	185	3,62	27,26	33,19	0,833	
70	195	3,79	29,88	35,82	0,824	
74	200	3,96	32,62	38,56	0,822	
79	210	4,13	35,48	41,42	0,82	
	25	65	0,39	0,31	6,20	0,71
	26	70	0,41	0,34	6,23	0,717
	27	80	0,44	0,4	6,29	0,74
	28	80	0,47	0,45	6,34	0,729



7,55	29	85	0,50	0,52	6,41	0,734
	31	90	0,53	0,58	6,48	0,727
	31	90	0,56	0,65	6,55	0,728
	31	90	0,59	0,72	6,62	0,728
	31	90	0,61	0,77	6,67	0,729
	31	95	0,64	0,85	6,75	0,744
	31	95	0,67	0,93	6,83	0,745
	31	95	0,70	1,01	6,91	0,746
	31	90	0,73	1,1	7,0	0,733
	33	100	0,76	1,2	7,10	0,74
	33	100	0,79	1,29	7,19	0,741
	34	100	0,82	1,39	7,29	0,732
	35	105	0,85	1,5	7,40	0,736
	35	105	0,88	1,61	7,51	0,737
	34	100	0,90	1,68	7,58	0,735
	38	115	0,93	1,79	7,69	0,736
	38	115	0,96	1,91	7,81	0,737
	39	115	1,07	2,38	8,28	0,732
	44	120	1,24	3,19	9,10	0,708
	45	125	1,41	4,13	10,04	0,72
	49	135	1,58	5,19	11,10	0,718
	52	145	1,75	6,37	12,29	0,725
	57	165	1,92	7,66	13,58	0,736
	62	180	2,09	9,08	15,01	0,738
	66	200	2,26	10,62	16,55	0,752
	70	215	2,43	12,28	18,22	0,758
	75	240	2,60	14,06	20,0	0,77
81	265	2,77	15,96	21,91	0,776	
84	275	2,94	17,98	23,93	0,781	
90	300	3,11	20,12	26,08	0,786	
101	330	3,28	22,38	28,35	0,779	
	31	90	0,39	0,31	6,21	0,724
	32	90	0,41	0,34	6,24	0,713
	33	90	0,44	0,4	6,30	0,703
	33	95	0,47	0,45	6,35	0,719
	34	100	0,50	0,52	6,42	0,723
	34	100	0,53	0,58	6,48	0,724
	36	100	0,56	0,65	6,55	0,705

13,86	37	105	0,59	0,72	6,62	0,71
	38	110	0,61	0,77	6,67	0,714
	38	115	0,64	0,85	6,75	0,728
	40	115	0,67	0,93	6,84	0,711
	41	115	0,70	1,01	6,92	0,703
	42	115	0,73	1,1	7,01	0,695
	43	125	0,76	1,2	7,11	0,712
	44	125	0,79	1,29	7,20	0,705
	43	125	0,82	1,39	7,30	0,714
	44	125	0,85	1,5	7,41	0,706
	44	130	0,88	1,61	7,52	0,719
	45	130	0,90	1,68	7,59	0,711
	46	130	0,93	1,79	7,70	0,705
	46	135	0,96	1,91	7,82	0,716
	47	140	1,07	2,38	8,29	0,723
	55	155	1,24	3,19	9,11	0,703
	60	175	1,41	4,13	10,0	0,714
	64	210	1,58	5,19	11,12	0,747
	67	220	1,75	6,37	12,30	0,751
	76	260	1,92	7,66	13,60	0,759
	83	305	2,09	9,08	15,03	0,776
	100	335	2,26	10,62	16,59	0,75
125	380	2,43	12,28	18,27	0,718	
32,5	32	77	0,39	0,31	6,21	0,664
	33	80	0,41	0,34	6,24	0,665
	34	83	0,44	0,4	6,30	0,665
	35	87	0,47	0,45	6,35	0,67
	36	90	0,50	0,52	6,42	0,671
	37	92	0,53	0,58	6,48	0,667
	38	93	0,56	0,65	6,55	0,661
	40	102	0,59	0,72	6,62	0,672
	41	105	0,61	0,77	6,67	0,672
	42	110	0,64	0,85	6,75	0,679
	45	115	0,67	0,93	6,83	0,667
	45	118	0,70	1,01	6,91	0,676
	50	127	0,73	1,1	7,0	0,661
	50	130	0,76	1,2	7,11	0,669
	54	137	0,79	1,29	7,20	0,658

	57	145	0,82	1,39	7,30	0,656
	60	147	0,85	1,5	7,41	0,641
	60	160	0,88	1,61	7,52	0,671
	62	157	0,90	1,68	7,6	0,653
	68	185	0,93	1,79	7,71	0,673
	70	188	0,96	1,91	7,83	0,669
	77	212	1,07	2,38	8,30	0,675
	87	242	1,24	3,19	9,12	0,6779
	108	338	1,41	4,13	10,06	0,71
69,71	38	75	0,39	0,31	6,21	0,575
	38	78	0,41	0,34	6,24	0,592
	41	85	0,44	0,4	6,31	0,591
	44	95	0,47	0,45	6,36	0,603
	47	100	0,50	0,52	6,43	0,593
	50	108	0,53	0,58	6,5	0,596
	53	118	0,56	0,65	6,57	0,606
	56	125	0,59	0,72	6,64	0,6
	60	135	0,61	0,77	6,7	0,604
	61	138	0,64	0,85	6,78	0,606
	65	150	0,67	0,93	6,86	0,612
	71	165	0,70	1,01	6,95	0,611
	75	178	0,73	1,1	7,04	0,617
	81	195	0,76	1,2	7,15	0,62
	87	220	0,79	1,29	7,24	0,637
	94	243	0,82	1,39	7,35	0,643
	104	263	0,85	1,5	7,47	0,632
	112	297	0,88	1,61	7,59	0,648
	132	383	0,90	1,68	7,68	0,675
	161	417	0,93	1,79	7,82	0,632
94,85	62	107	0,39	0,31	6,24	0,478
	73	133	0,41	0,34	6,28	0,497
	78	157	0,44	0,4	6,34	0,54
	99	192	0,47	0,45	6,41	0,517
	120	242	0,50	0,52	6,51	0,53
	133	288	0,53	0,58	6,58	0,56
	137	315	0,56	0,65	6,65	0,585
	146	343	0,59	0,72	6,73	0,593

	156	373	0,61	0,77	6,79	0,599
	165	390	0,64	0,85	6,88	0,594
	175	407	0,67	0,93	6,97	0,586
	188	440	0,70	1,01	7,06	0,588

На рис. 4.1 наведені графіки залежності  $\varphi = (w)$  для тарілки провального типу з  $f = 0,21$ , а на рис. 4.2 графіки залежності  $H = (w)$ .

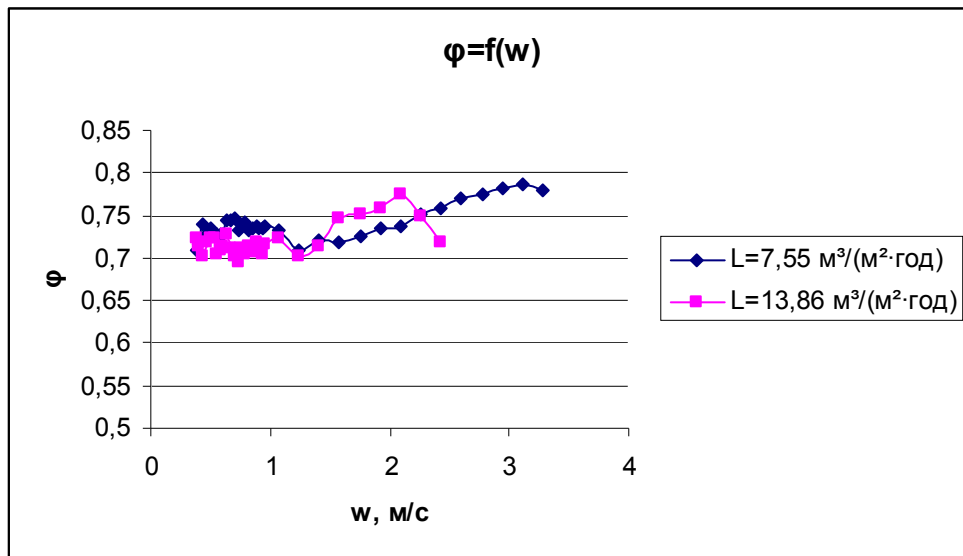


Рис. 4.1. Графік залежності  $\varphi = (w)$  для тарілки з  $f = 0,21$

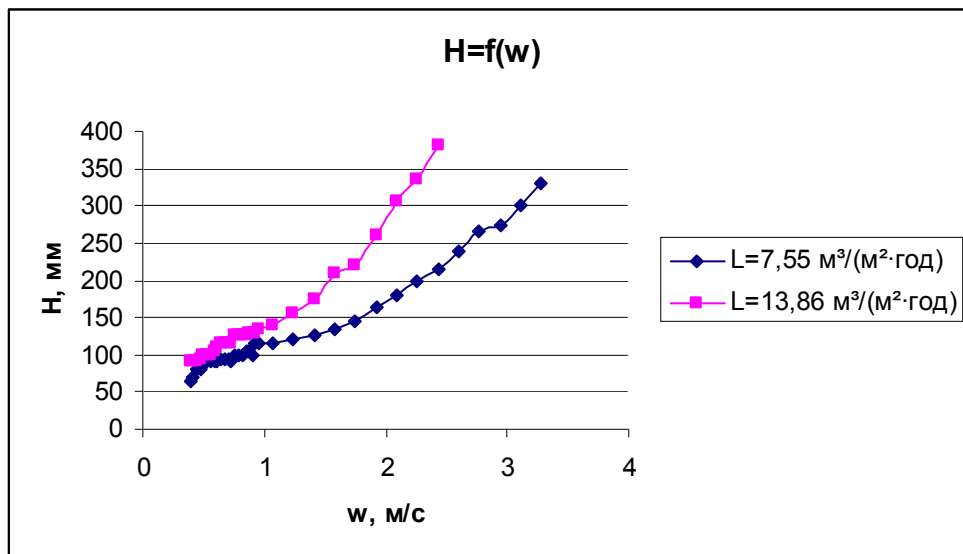


Рис. 4.1. Графік залежності  $H = f(w)$  для тарілки з  $f = 0,21$

З графіків видно, що в точці біфуркації, якій відповідає швидкість газу  $w = 1,2$  м/с при висоті піни  $H = 100$  мм відбувається зміна режиму на тарілці провального типу з невеликим вільним перерізом [24]. При збільшенні швидкості газу і відповідно висоти піни настає режим рухомого барботажного шару. Газовміст практично перестає залежити від швидкості газу в перерізі колони.

На рис. 4.3 наведено графік залежності  $\varphi = (w)$  для тарілки з  $f = 0,15$

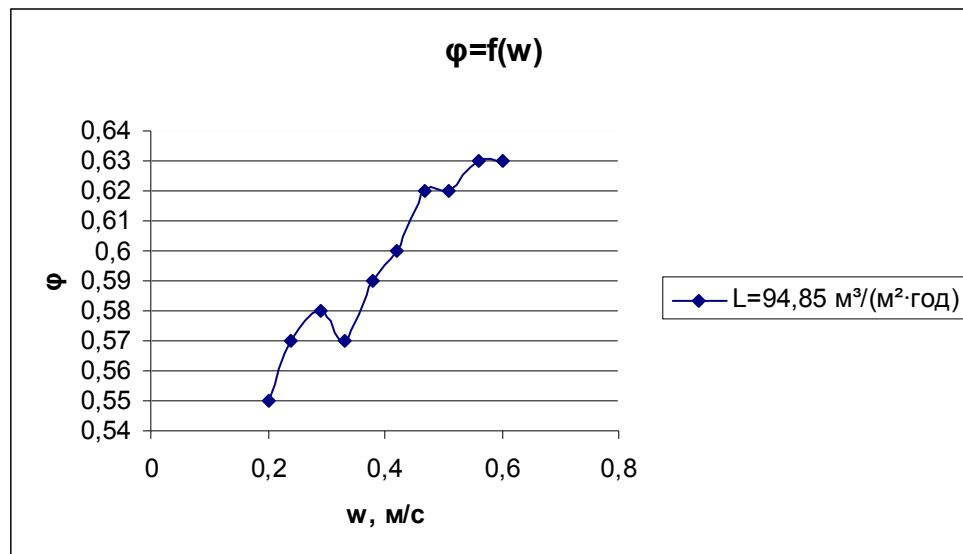


Рис. 4.3. Графік залежності  $\varphi = (w)$  для тарілки з  $f = 0,15$

При щільності зрошування  $L = 94,85$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) середній газовміст не перевищує  $\varphi < 0,63$  тоді, як при  $L = 7,55$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) від досягає  $\varphi \approx 0,8$ . При цьому, при великих щільностях зрошування величина газовмісту не зменшується нижче  $\varphi < 0,5$ .

## 5. Техніка безпеки при роботі в лабораторії

Вимоги безпеки під час виконання експериментів.

У лабораторіях кафедри устаткування хімічних підприємств  
**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

- 1.1. включати і вимикати випробувальне устаткування без дозволу викладача або інженера кафедри;
- 1.2. торкатися до струмопровідних частин установок, електроприводів, електропроводів і кабелів;
- 1.3. торкатися до рухомих частин випробувальних машин і лабораторних установок;
- 1.4. відгвинчувати, загвинчувати вентиля, рукоятки, маховики, сигнальні лампи, електрозапобіжники лабораторного устаткування;
- 1.5. збірка і розбирання установок, що знаходяться під електронапругою;
- 1.6. залишати працюючі (включені) установки без нагляду;
- 1.7. знаходитися в лабораторіях у верхньому одязі, складати верхній одяг на лабораторному устаткуванні;
- 1.8. захарашувати проходи між лабораторними установками особистими речами (портфелями, сумками);
- 1.9. знімати захищаючі кожухи деталей або електричних пускорегулюючих пристроїв, що обертаються.
- 1.10. у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- 1.11. перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;
- 1.12. перевірити з'єднання електроустаткуванні з контуром захисного заземлення /занулення/, його справність, полягання інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння;

1.13. при експлуатації електроустаткування необхідно суворо керуватися правилами, висловленими в техпаспорті;

1.14. при виявленні несправностей електроустаткування, приладів, стендів, захисного заземлення негайно повідомити про це зав. кафедрою або зав. лабораторією.

Вимоги безпеки під час виконання роботи

1.15. студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;

1.16. відключення від мережі проводити, тільки узявшись за роз'єм, вилку або фішку щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку /опіку/;

1.17. забороняється виймати штепсельні роз'єми, вилки, фішки, узявшись за дрiт;

1.18. забороняється працювати на електроустаткуванні у вологому одязі, вологими руками;

1.19. забороняється залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електроустаткування;

1.20. забороняється підключати декілька споживачів електричної енергії до однієї штепсельної розетки щоб уникнути перевантаження електричної мережі і виникнення загоряння;

1.21. забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками".

Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що калібруються;

1.22. забороняється захарашувати підступи до електричних пристроїв, шафам, автоматичним вимикачам, розеткам, а також відкривати їх;

1.23. при раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і важелі повинні бути негайно вимкнені;

1.24. не допускається залишати неізольованими оголені дроти, перенавантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками, вимикачами;

1.25. роботи по ремонту апаратури і проведення експериментів на відкритих схемах з небезпечною для життя напругою виконувати тільки удвох;

1.26. робоче місце тримати в сухому і чистому стані;

1.27. при виявленні несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх і повідомити про це керівника робіт або обслуговуючий персонал;

1.28. приступати до роботи дозволяється тільки після усунення помічених несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів і стендів.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

1.29. після закінчення роботи вимкнути електроприлади, відключити від мережі лабораторні стенди;

1.30. вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 V, що використовуються;

1.31. один раз в квартал проводити очищення від пилу і бруду за допомогою пилососа або щітки вузлів персональних комп'ютерів;

1.32. забороняється проводити очищення від пилу і бруду включене в мережу електроустаткування;

1.33. після закінчення роботи зняти спецодяг і помістити його в спеціально відведене місце;

1.34. при відході з приміщення необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії;

1.35. привести в порядок робоче місце;

1.36. здати ключі від лабораторії на вахту.

1.37. Про знайдені під час роботи і після закінчення роботи несправності і негаразди електроустаткування повідомити керівника занять або обслуговуючий персонал.



## Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При роботі з електроустаткуванням на кафедрі ОХП можливі наступні аварійні ситуації:

- ураження електричним струмом;
- займання горючих матеріалів.

Працівники і студенти зобов'язані знати розташування засобів пожежогасіння і уміти ними користуватися. При пожежі:

- негайно знеструмити все електроустаткування загальним автоматичним вимикачем;
- негайно евакуювати в безпечне місце людей; повідомити про пожежу по тел.101; 4-34-17 в пожежну команду;
- розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
- негайно повідомити про те, що відбулося безпосереднього керівника;
- гасити електроустаткування вуглекислотними вогнегасниками /ВВу/, порошковими /ВП/ або сухим піском; гасити електроустаткування і дроти водою забороняється.

У разі ураження електрострумом слід негайно знеструмити електроустаткування і викликати швидку допомогу по тел. 103. Працівники і студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при поразці електрострумом і уміти надати її при необхідності. Негайно повідомити про нещасний випадок безпосереднього керівника робіт, зав. кафедрою або зав. лабораторіями.

## 6. Висновки та рекомендації

1. Проведені дослідження середнього газовмісту на тарілках з вільним перерізом  $f = 0,15, 0,21$ , в широкому діапазоні навантажень за газом та рідиною на колоні з діаметром  $D = 0,057$  м.

2. На тарілках провального типу з невеликим вільним перерізом підтверджено існування трьох режимів роботи тарілок провального типу: режиму рівномірного барботажу, режиму рухомого газорідинного шару та режиму захлинання [24].

3. Зміна режимів відбувається при досягненні висоти піни  $H \approx 100$  мм.

4. В режимі рухомого газорідинного шару газовміст практично не залежить від швидкості газу в середині колони.

5. При збільшенні щільності зрошування, газовміст зменшується.

6. При всіх навантаженнях середній газовміст не знижується нижче  $\varphi < 0,5$ .

## Література

1. Отраслевой стандарт. Тарелки решетчатые стальные колонных аппаратов. Конструкции и размеры : ОСТ 26-675-78. - Введ. 1980-01-01. - М. : Изд-во ВНИИнефтемаш, 1980. - 9 с.
2. Отраслевой стандарт. Тарелки решетчатые для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры. Технические требования : ОСТ 26-02-2055-79. - Введ. 1982-01-01. - М. : Изд-во ВНИИнефтемаш, 1982. - 27 с.
3. Руководящий технический материал. Метод расчета колонных аппаратов общего назначения со стандартизированными тарелками : РТМ 26-01-73-75. - Введ. 1977-01-01. - Х. : Изд-во УкрНИИхиммаш, 1977. - 34 с.
4. Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета : ОСТ 26-01-1488-83. - Введ. 1985-01-01. - Х. : Изд-во УкрНИИхиммаш, 1985. - 86 с.
5. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования / Розен А. М., Мартюшин Е. И., Олевский В. М. [и др.] ; под ред. А. М. Розена. - М. : Химия, 1980. - 320 с. : ил.
6. Зайцев И. Д. Производство соды / Зайцев И. Д., Ткач Г. А., Строев Н. Д. - М. : Химия, 1986. - 312 с.
7. Пенный режим и пенные аппараты / Тарат Э. Я, Мухленов И. П., Туболкин А. Ф. [и др.] ; под ред. И. П. Мухленова, Э. Я. Тарата. - Л. : Химия, 1977. – 303 с.
8. Взаимодействие газов с жидкостями в пенном режиме / Мухленов И. П., Ткач Г. А., Зайцев И. Д., Черепков Г. В., Ковалев О. С. // Химическая промышленность. - 1983. - № 8. - С. 38 – 41.
9. Стабников В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности : обзор / Стабников В. Н., Штромило М. И. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1971. - 20 с.

10. Стабников В. Н. Ректификация в колоннах с решетчатыми провальными тарелками. / Стабников В. Н., Штромило М. И. // XI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии : реф. докл. и сообщ. - М., 1975. - № 4. – С. 50.

11. Стабников В. Н. Применение решетчатых провальных тарелок в процессе перегонки ацетано-бутиловых бражек / Стабников В. Н., Штромило М. И., Н. Г. Бойченко [и др.] // Пищевая промышленность. - 1972. - Вып. 6. - 38-39. - (Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР).

12. Опыт внедрения на предприятиях ацетано-бутиловой и спиртовой промышленности ректификационных колонн с решетчатыми провальными тарелками / Стабников В. Н., Штромило М. И., Сергеев А. Д., Беспалько А. П., Бойченко Н. Г. // III Всесоюзная конференция по теории и практике ректификации. - Северодонецк, 1973. - Ч. II. - С. 99 – 100.

13. Интенсификация процесса перегонки в аппаратах с решетчатыми провальными тарелками / Стабников В. Н., Штромило М. И., Сергеев А. Д. // V Всесоюзная конференция по теории и практике ректификации. - Северодонецк, 1984. - Ч. II. - С. 49 - 50.

14. Опыт использования тарельчатого абсорбера для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа / Кузнецов В. Я., Шебастьюк И. М., Большакова Л. Н., Конкина И. Н. – Кокс и Химия. - 2005. - № 2. - С. 22-23.

15. Грабко В. В. Современные теплообменные устройства для газовых аппаратов / Грабко В. В., Ли В. М., Шевченко Т. А. – Режим доступа: [http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/ukhj/2009\\_3\\_4/23.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/ukhj/2009_3_4/23.pdf).

16. Колтунова Л. Н. Пути интенсификации процесса ректификации. Опыт промышленного применения решетчатых тарелок и методика их расчета / Колтунова Л. Н., Позин Л. С., Быстрова Т. А. - М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1977. - 84 с.

17. Ткач Г.А. Гидродинамические и массообменные характеристики дырчатых противоточных тарелок со значительным диаметром отверстий / Ткач Г. А., Смоляк В. Д. ; НИИ и проект. ин-т основной химии. - Х., 1977. - 86 с. - Деп. в ОНИИТЭхим г. Черкассы 2.06.77, № 1231/77.

18. Кочергин Н. А. Исследование работы тарелок провального типа в условиях ректификации // Кочергин Н. А., Олевский В. М., Дильман В. В. – Химическая промышленность.- 1960. - №7. – С. 63 – 67.

19. Касаткин А. Г. К расчету колонн с провальными тарелками // Касаткин А. Г., Дытнерский Ю. И., Умаров С. У. – Химическая промышленность. - №3. – 1958. - С. 38 – 45.

20. Расчет гидравлического сопротивления тарелок провального типа в режиме подвижного газожидкостного слоя / Тараненко Г.В. – Науковий журнал «ScienceRise» НВП ПП «Технологічний центр», м. Харків. DOI:10.15587/2313-8416.2016.71716 №6/2(23)2016, с. 30-36.

21. Касаткин, А. Г. Гидродинамические закономерности процессов на барботажных тарелках провального типа [Текст] / А. Г. Касаткин, Ю. И. Дытнерский, Д. М. Попов // Хим. пром. – 1958. – № 3. – С. 38–45.

22. Молоканов Ю. К. Определение сопротивления решетчатых тарелок провального типа [Текст] / Ю. К. Молоканов // Химия и технология топлив и масел.– 1962 –№ 3 – С. 41–48.

23 Рамм, В. М. Абсорбция газов [Текст] / В. М. Рамм. – 2-ое изд., перер. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

24 Тараненко, Г. В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий [Текст]: монография / Г. В. Тараненко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 174 с.

25 Исследование локального газосодержания газожидкостного слоя различных режимов работы тарелок провального типа / Тараненко Г.В. – Науковий журнал «ScienceRise» НВП ПП «Технологічний центр», м. Харків. DOI:10.15587/2313-8416.2016.69075 №5/2(22)2016, с. 60-64.