

Реферат

Дослідження гідродинамічних характеристик тарілок провального типу з великим вільним перерізом.

Листів – _____, ілюстрацій – _____, таблиць – _____, додатків – _____, посилань – _____.

Тарілки провального типу достатньо широко використовуються в хімічній та споріднених з нею галузях промисловості

Тарілки провального типу працюють в достатньо вузькому діапазоні ефективної роботи тарілок. Тому дослідження діапазону ефективної роботи тарілок провального типу є актуальною задачею. Діапазон ефективної роботи тарілок провального типу характеризується величиною середнього газовмісту газорідинного шару на тарілках. Важливо виявити залежність величину середнього газорідинного шару від величині вільного перерізу тарілок провального типу та навантаження від рідини та газу.

Крім того середній газовміст також характеризує ефективність роботи тарілок провального типу.

Метою представленої роботи є дослідження середнього газовмісту на тарілках провального типу великого вільного перерізу в залежності від навантажень по газу та рідині. Необхідно з'ясувати залежність величини середнього газовмісту від режимів роботи тарілок провального типу.

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

Зміст

Перелік умовних позначень	3
Вступ	4
1. Аналітичний огляд	5
1.1. Гідравлічні характеристики тарілок провального типу: газовміст, висота газорідного шару, гідравлічний опір	5
2. Опис експериментальної установки	50
3. Експериментальні дослідження	51
3.1. Методика проведення експериментів	51
3.2 Обробка експериментальних даних	52
4. Техніка безпеки при роботі в лабораторії	62
Висновки та рекомендації	68
Література	68

Перелік умовних позначень

D – діаметр апарату, м.

L і G — вагові швидкості рідини і газу (пара), $\text{кг}/\text{м}^2\text{год}$

γ_{Γ} і $\gamma_{\text{ж}}$ — питомі ваги газу (пара) і рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g —прискорення сили тяжіння, $\text{м}/\text{сек}^2$;

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

f —вільний переріз тарілки, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

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

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

w – швидкість газу в перерізі колони, $\text{м}/\text{с}$

Δp – гідравлічний опір, $\text{кг}/\text{м}^2$,

H – висота газорідинного шару, мм

Вступ

Тарілки провального типу відрізняються простотою конструкції, тому що не мають переливних пристроїв, легкістю монтажу, огляду й ремонту. Гідравлічний опір цих тарілок невеликий. Провальні тарілки стійко працюють у невеликому діапазоні швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу й рідині ці тарілки мають високу ефективність. При дуже малих швидкостях газу рідина повністю протікає через отвори. З підвищенням швидкості газу рідина починає затримуватися на тарілці, і газ барботує через рідину. Барботаж на провальних тарілках відбувається нерівномірно: через частину отворів рухається газ, а через інші отвори протікає рідина; при цьому газ і рідина поперемінно проходять через ті самі отвори. Тарілки провального типу з великим вільним перерізом допускають достатньо великі навантаження по газу та рідині. Важливо вірно розраховувати діапазон ефективної роботи тарілок провального типу в залежності від вільного перерізу тарілок.

1. Аналітичний огляд

1.1. Гідравлічні характеристики тарілок провального типу: газоміст, висота газорідного шару, гідравлічний опір

Тарілки провального типу досліджували автори робіт [1–4].

У роботі [1] були досліджені тарілки провального типу на стендах гідравлічних і кінетичних випробувань з колонами діаметром $D = 2,0, 0,4, 0,3, 0,15$ та $0,057$ м.

Геометричні характеристики досліджуваних тарілок провального типу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Геометричні параметри досліджуваних тарілок провального типу

№ тарілки	Діаметр колони, D м	Вільний перетин, f %	Діаметр отворів, d_0 м
1	2,0	16	0,012
2		25	0,012
3		36	0,012
4	0,4	16	0,012
5		36	0,012
6		56	0,012
7	0,3	16	0,008
8		36	0,012
9		56	0,012
10	0,15	16	0,008
11		16	0,012
12		19	0,012
13		22	0,012
14		25	0,012

15		30	0,012
16		36	0,012
17		46	0,007
18		15,5	0,002
19		14,6	0,005
20		15,8	0,008
21		17,7	0,012
22		16,3	0,013
23		15,8	0,016
24		16,3	0,023
25		24,9	0,002
26	0,057	25,4	0,005
27		26,6	0,012
28		24,1	0,0125
29		25,0	0,0285
30		36,1	0,002
31		36,0	0,005
32		35,6	0,012
33		36,9	0,020
34		35,5	0,024
35		35,6	0,034

Тарілки з №1 до №17 виготовлялись зі сталі Ст. 3 товщиною $\delta = 0,0015$ м. Тарілки з №15 до №35 були виготовлені з органічного скла товщиною $\delta = 0,004$ м. Тарілки з №1 до №17 кріпилися до фланців, які були забезпечені штуцерами для приєднання імпульсних ліній з метою вимірювання перепаду гідравлічного тиску на масообмінній тарілці.

Тарілки провального типу були досліджені в широкому діапазоні зміни навантажень по рідині $L = 1,6 - 143 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ і газу швидкість якого, віднесена до повного перетину колони, досягала значення $w_2 = 4,9$ м/с.

Стенд гідравлічних випробувань з колоною $D = 2$ м

Загальний вид стенда з колоною $D = 2$ м показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Стенд гідравлічних випробувань з колоною $D = 2$ м.

Схеми стенда с колонами $D = 2$ и $0,4$ м приведені на рис. 2 – 4. На рис. 2 показана схема розводки повітряних ліній, а на рис. 3 – схема розводки водяних ліній цього стенду.

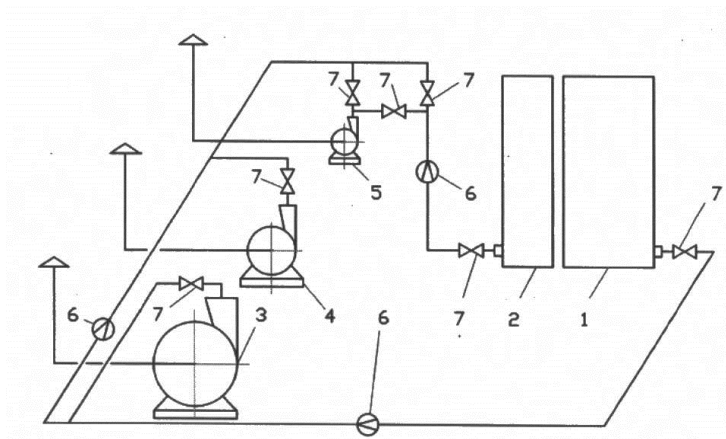


Рисунок 2 – Схема розводки повітряних ліній стенду
з колонами $D = 2$ и $0,4$ м:

1 – колона $D = 2$ м, 2 – колона $D = 0,4$ м; 3 – 5 – газодувки,
6 – діафрагма, 7 – вентиль.

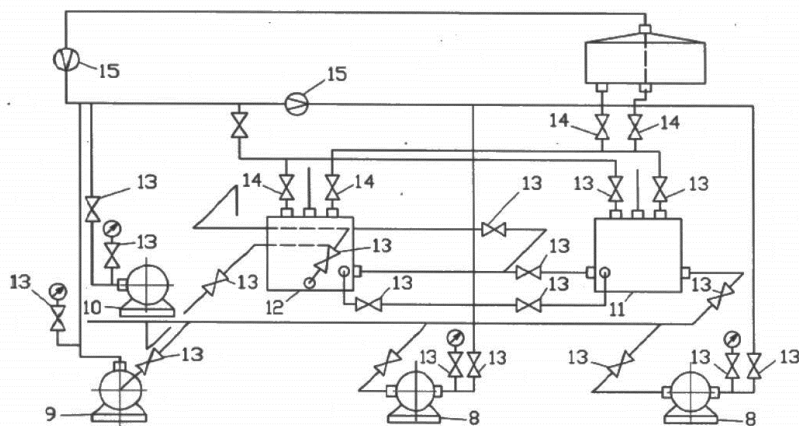


Рисунок 3 – Схема розводки водяних ліній стенду
з колонами $D = 2$ и $0,4$ м:

8 – 10 насоси; 11, 12 – ємності; 13, 14 – вентиля; 15 – діафрагма.

Для колони $D = 0,4$ м була передбачена автономна схема живлення водою, див. рис. 4.

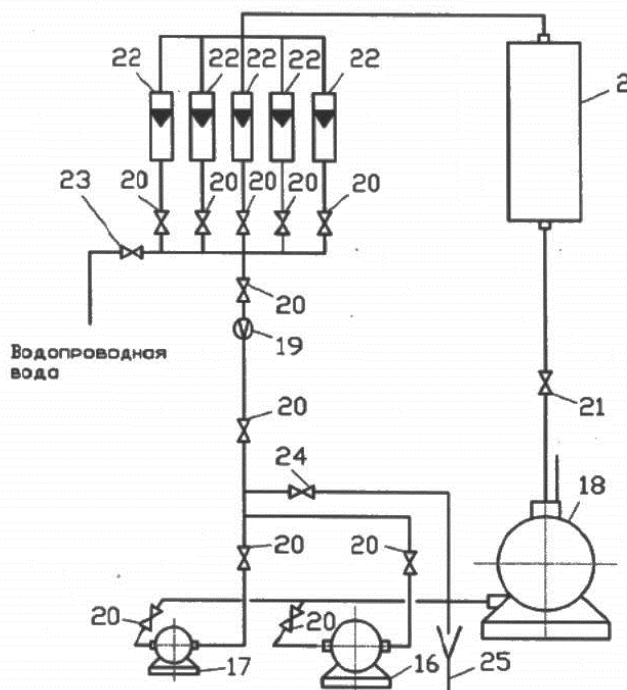


Рисунок 4 – Автономна схема розводки водяних ліній для колони $D = 0,4$ м:

16, 17 – насоси; 18 – ємність; 19 – діафрагма;
20, 21, 23, 24 – вентиля, 22 – ротаметр, 25 – злив.

Повітря газодувками 3-5 подавали в нижню частину колон 1 і 2. Пройшовши через розподільні пристрої й тарілки, він виводився в атмосферу. Витрату повітря регулювали вентилями 7 і вимірювали за допомогою діафрагм 6 з приєднаними до них U – подібними диференційними манометрами. Перепад тиску на масообмінній тарілці вимірювали мікроманометром типу ММН-240.

Рідину (рис. 3) в колону 1 подавали центробіжними насосами 8-10 з ємностей 11 і 12 у верхню частину колони. З нижньої частини колони рідина виводилася через вентиля 14 назад в ємності 11 і 12. Витрату рідини регулювали вентилями і вимірювали за допомогою діафрагм 15, перепади тиску на яких контролювали за допомогою диференційних манометрів типу ДТ-50.

В колону 2 (рис. 4) рідину подавали за допомогою центробіжних насосів 16 і 17 у верхню частину колони з ємності 18. З колони 2 рідина самоплином поверталася в ємність 18 через вентиль 21. Витрату рідини регулювали вентилями 20 і вимірювали за допомогою діафрагми 19 з диференційним манометром типу ДТ-50 і ротаметрами 22 (типу РС-7).

Для цієї колони була передбачена також подача води на зрошення з водогінної лінії. З ємності 18 рідину відкачували в зливний колодязь 25.

Стенд гідравлічних випробувань з колоною $D = 0,15$ м

Загальний вигляд стенду гідравлічних і кінетичних випробувань з колоною $D = 0,15$ м показаний на рис. 5. Його схема приведена на рис. 6.

Для гідравлічних випробувань використовувалася колона 1. Рідина з бака 3 центробіжним насосом 5 (типу ІВ-09) подавалася в верхню частину колони 1. Витрата рідини регулювали вентилями 10 і контролювали ротаметром 7 (типу РС-5) і 8 (типу РС-7). З колони рідина самопливом через вентиль 11 знову надходила в бак 3.

Повітря з цехової лінії подавали в нижню частину колони 1 і воно виводилося до атмосфери з верхньої її частини. Витрату повітря регулювали вентилем 20 і вимірювали за допомогою діафрагми 18 і U – подібних манометрів.

У колонах $D = 2, 0,4$ і $0,15$ м встановлювали по три тарілки провального типу, причому розподільна (верхня тарілка) мала більший вільний переріз, ніж інші тарілки. Робочою була середня тарілка.

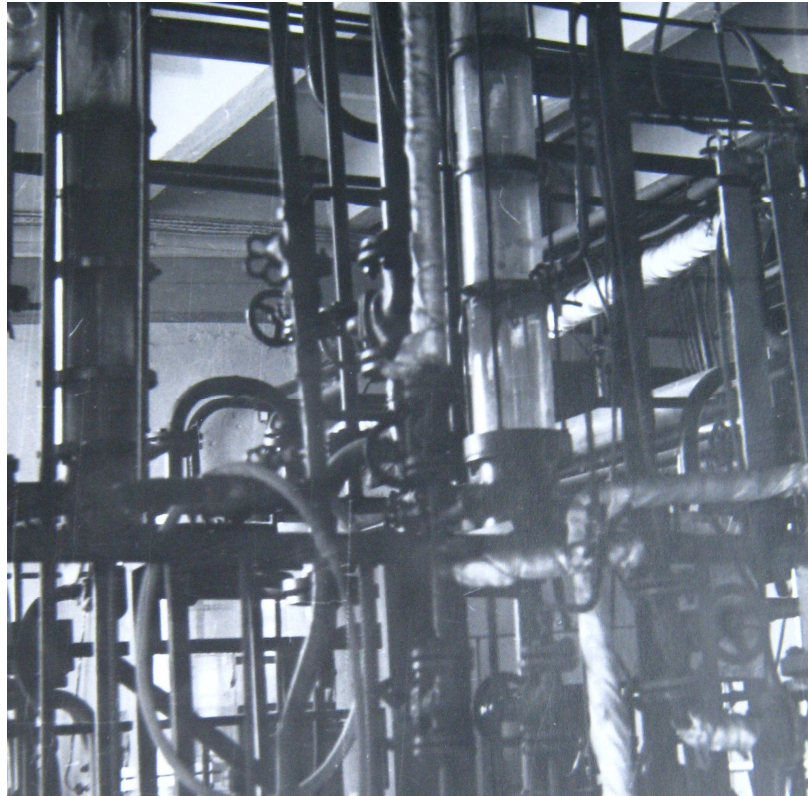


Рисунок 5 – Стенд гідравлічних і кінетичних випробувань
з колоною $D = 0,15$ м.

При дослідженні тарілок провального типу вимірювали гідравлічний опір тарілки і висоту газорідного шару на ній (вимірювальною лінійкою).

Для вимірювання тиску використовували спеціальні відбірники (рис.7), які поміщали всередині колони і за допомогою імпульсних ліній з'єднували з диференційним мікроманометром через скляні пастки і штуцери, передбачені в колоні для цієї мети.

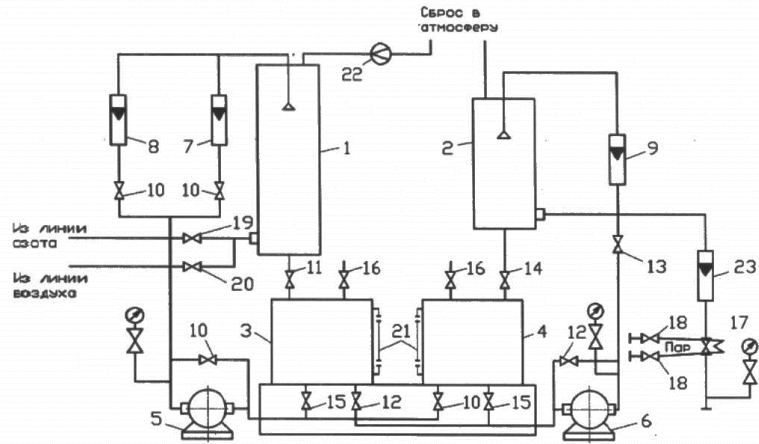


Рисунок 6 – Схема стенду гідравлічних і кінетичних випробувань з колоною $D = 0,15$ м:

1, 2 – колони; 3, 4 – ємності; 5, 6 – насоси; 7–9, 23 – ротаметри;
10–20 – вентиля; 21 – мірне скло; 22 – діафрагма.

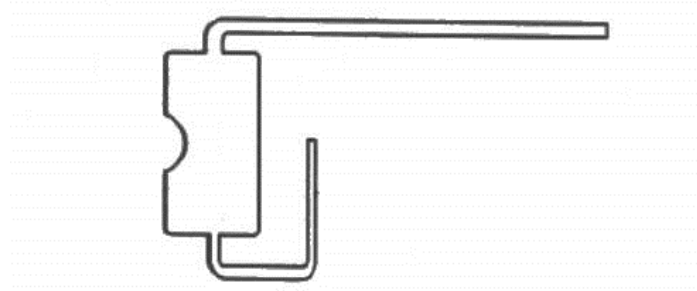


Рисунок 7 – Відбірник тиску

Схема відбору тиску в колоні представлена на рис. 8.

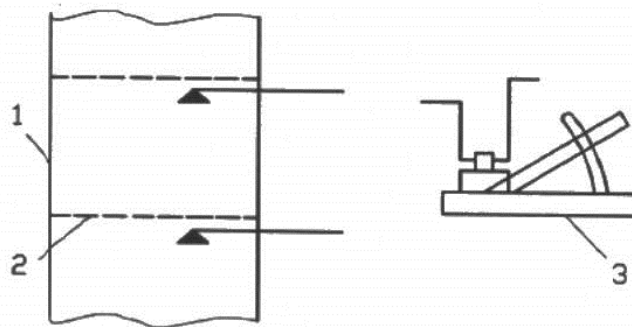


Рисунок 8 – Схема відбору тиску в колоні:

1 – колона; 2 – робоча тарілка, 3 – мікроманометр.

На колоні $D = 2$ м для візуального спостереження за газорідним шаром на тарілці і вимірювання його висоти були передбачені оглядові вікна розміром $0,6 \times 0,8$ м. Фланці з тарілками кріпили до розпірних кілець. Для ущільнення фланців з колоною в простір між ними набивали гумовий джгут.

Колони $D = 0,4$ и $0,15$ м збирали з скляних царг висотою $0,5$ м. В колоні $D = 2$ м відстань між тарілками становила $0,55$ м.

В колоні $D = 2$ м були досліджені тарілки № 1–3; в колоні $D = 0,4$ м – № 4–6; в колоні $D = 0,15$ м – № 10–17 (див. таблицю 3.1).

Стенд ректифікації системи метанол–вода з колоною $D = 0,3$ м

Загальний вигляд стенду ректифікації показаний на рис. 9. Його схема приведена на рис. 10. Стенд (рис. 10) складався з колони 1 ($D = 0,3$ м), яка була забезпечена чотирма скляними царгами висотою $0,5$ м кожна, і трьома фланцями, в яких були закріплені тарілки провального типу. Для зменшення втрат тепла в довкілля всі трубопроводи і циркуляційний випарник були ізольовані азбестовим теплоізоляційним матеріалом.



Рисунок 9 – Стенд ректифікації системи метанол–вода.

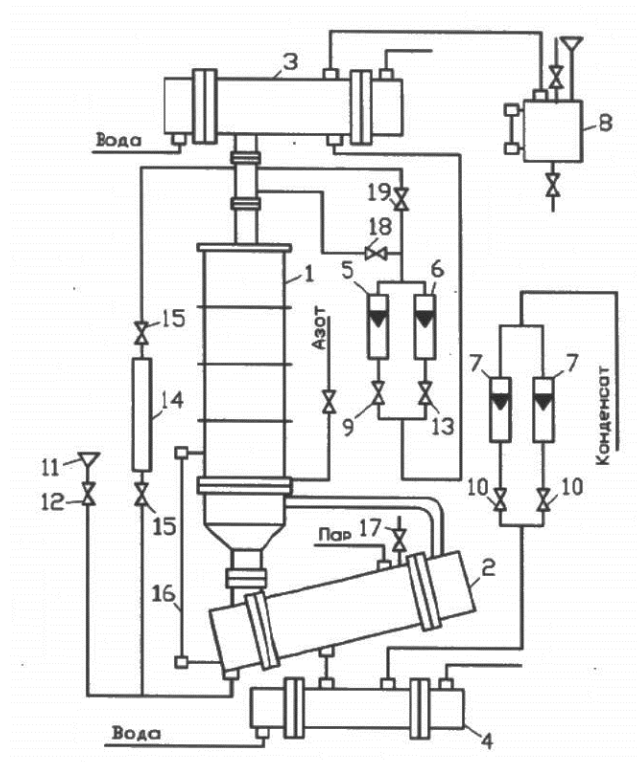


Рисунок 10 – Схема станда ректифікації системи метанол–вода
з колоною $D = 0,3$ м:

1 – колона; 2 – випарник; 3 – дефлегматор, 4 – холодильник;
5–7 – ротаметри; 8 – гідрозатвор; 9, 10, 12, 13, 15, 17–19 – вентилі;
11 – воронка; 14 – мірник; 16 – мірне скло.

Досліджувану суміш завантажували через лійку 11 і вентиль 12 в циркуляційний випарник 2, який обігрівали водяною парою. Перед подачею пари, що гріє, інертні гази скидали в атмосферу через вентиль 17. Рівень рідини контролювали по мірному склу 16. З випарника технологічні пари, пройшовши через колону, потрапляли в дефлегматор 3, де конденсувалися водою. Відпрацьована водяна пара з випарника потрапляла до конденсатору 4, який охолоджували водою. Далі конденсат через вентилі 10 і ротаметр 7 (типу РС-5) зливався в каналізацію. Вимірюванням витрати конденсату водяної пари встановлювали необхідну швидкість парів в колоні. Швидкість контролювали вимірюванням витрати флегми, що надходить на зрошення через ротаметри 5 (типу РС-7) і 6 (типу РС-5) і вентилі 9, 13.

Крім цього, витрату флегми періодично вимірювали за допомогою мірника 14 і вентилів 15. З мерника флегма надходила в куб колони. Несконденсовані пари і гази з дефлегматора через гідрозатвор 8 виходили в атмосферу.

Температурний режим стенду контролювали термометрами опору і реєстрували за допомогою електричного потенціометра типу ЕМП-209.

Все обладнання та трубопроводи стенду виконані з нержавіючої сталі Х18Н10Т.

В колоні $D = 0,3$ м були досліджені тарілки № 7–9 (див. таблицю 3.1).

Методика визначення концентрацій компонентів

Перед початком експериментальних робіт стенд пропарювали і промивали водою, так як наявність навіть незначної кількості сторонніх речовин могла вплинути на точність рефрактометричного визначення складу суміші метанол–вода.

Досліди проводилися серіями. У кожній серії при незмінних геометричних характеристиках тарілок провального типу в широких межах змінювали тільки швидкість парів в перетині колони. Дослідження проводили при повному поверненні флегми в колону. При незмінній швидкості пари для кожного режиму серії, досліди повторювали 4-6 разів. Концентрацію метанолу у воді на середній (робочій) тарілці підтримували постійною в інтервалі 50–55 мол. %.

На початку роботи колону виводили на стабільний режим. Потім відбирали проби пари і рідини з усіх точок відбору проб і контролювали збіжність матеріального балансу. Якщо його розбіжність не перевищувала 10%, то вважалось, що колона вийшла на робочий режим роботи. Час переходу з одного режиму роботи на інший становив 40-60 хвилин.

Відбір проб проводили одночасно за рідиною і за парою. Рідина з тарілок надходила в стаканчики, верхня кромка яких була замурована в плато

тарілки. З нижньої частини стаканчиків рідина по трубках виводилася з колони. Далі вона потрапляла в змієвикові холодильники, де охолоджувалася холодною водою. Охолоджені проби збирали в пробірки з притертими пробками, обсяг яких становив 25 мл.

Проби пари відбирали спеціальними пробовідбірниками (рис. 7), закріпленими під тарілками (рис. 8). Пар конденсували в холодильниках, і конденсат відводили в пробірки такі ж, як при відборі рідини. Відбір рідини і пари проводили таким чином, що виключалося проскакування пари в пробірку. Перед взяттям проби пробірки лінії для відбору проб кілька разів промивали рідиною або конденсатом пари того ж складу, що і проба.

Рідину відбирали з усіх трьох тарілок, а також з трубопроводу флегми перед ротаметрами 9, 13 (рис. 10). Проби пари бралися з-під кожної тарілки.

Після термостатування проб на ультратермостат типу U10, їх склад визначали при температурі $+ 20^{\circ}\text{C}$ за показником переломлення на рефрактометрі типу ИРФ-22, за таблицями залежності складу суміші від коефіцієнта переломлення.

Досліджуваною була середня тарілка. Перепад тиску на ній вимірювали мікроманометром типу ММН-240. Для запобігання потрапляння парів суміші в мікроманометр імпульсні лінії з'єднувалися через пастки з відбірниками пари. Перед вимірюванням рідину з пасток зливали, і імпульсні лінії заповнювали азотом. Тільки після цього підключали мікроманометр.

Розрахунок швидкості парів в колоні проводили за відомою методикою розрахунку швидкостей пари в ректифікаційних колонах, виходячи з умов, що кількість тепла по висоті колони не змінювалася, тобто на випаровування суміші парів будь-якого складу йшла одна і те ж кількість тепла.

Так як експерименти проводили з повним поверненням флегми в колону, то збіжність матеріального балансу визначали по відношенню зміни концентрації легколеткого компонента в газовій і рідкій фазах. Оброблялися тільки ті дані, які були отримані при збіжності матеріального балансу $\pm 10\%$.

Ефективність тарілок оцінювали за коефіцієнтом збагачення, який розраховували за концентраціями легколеткого компонента в паровій фазі

$$\eta_{yz} = \frac{y_2 - y_1}{y^* - y_1} \quad (1)$$

де y^* – рівноважна концентрація легколеткого компонента в парі, відповідна його концентрації в рідині x_1 , мол. %.

Ефективність тарілок розраховували для кожного досліду, а потім розраховували середню ефективність для дослідженого режиму.

Стенд десорбції системи $N_2 - CO_2 - H_2O$ з колоною $D = 0,15$ м

Стенд (рис. 5, 6) складався з двох колон діаметром $D = 0,15$ м. У колоні 2 проводилася абсорбція вуглекислого газу водою. Колона складалася з чотирьох скляних царг висотою 0,25 м. Між царгами були встановлені 3 сітчасті переливні тарілки з вільним перетином $f = 3\%$. Вода з бака 3 ємністю $0,15 \text{ м}^3$ через вентилі 12, 13 і ротаметр 9 (типа РС–5) надходила на зрошення в колону 2. Її подачу здійснювали центробіжним насосом 6 (типу 1В–09).

Вуглекислий газ з балонів через вентиль 17 і ротаметр 23 подавали в нижню частину колони 2. Для рівномірної подачі вуглекислого газу вентиль 17 обігрівався водяною парою. Неабсорбований газ з верхньої частини колони скидали до атмосфери.

У колоні 1 здійснювали десорбцію вуглекислого газу з води азотом. Колона складалася з трьох царг висотою 0,5 м кожна. Фланці з встановленими на них тарілками закріплювалися між першою і другою царгами (рахуючи від низу колони) і другою і третьою царгами. Між першою і другою царгами встановлювали досліджувану тарілку, а між другою і третьою – розподільну. Вільний перетин розподільної тарілки був більше, ніж досліджуваної. В іншому випадку, розподільна тарілка «захлиналася»

раніше, ніж досліджувана. Воду, насичену вуглекислим газом, з бака 4 об'ємом $0,15 \text{ м}^3$ через вентилі 10 ротаметри 9 (типу РС-7) і 7 (типу РС-5) центробіжним насосом 5 (типу 1В-09) подавали на зрошення в колону 1. Далі вода стікала з нижньої частини колони в бак 3, рівень в якому так само, як і в баку 4 контролювали за мірними склом 21. Баки з'єднувалися з атмосферою через вентилі 16.

Азот з цехової лінії через вентиль 19 подавали в нижню частину колони 1 і через верхню частину колони і діафрагму 18, він скидався до атмосфери.

Перед початком експерименту баки і колони кілька разів промивали водою. Баки заповнювали водою до однакового рівня. Одночасно включали насоси подачі води і за ротаметрами 7, 8, 9 встановлювали задані витрати рідини так, щоб рівень в обох баках був однаковим.

Витрату вуглекислого газу, що йде на абсорбцію в колону 2, встановлювали за допомогою ротаметра 10 так, щоб його концентрація в рідині, яка подається на зрошення в колону 1, перебувала в межах $x_1 = 0,8\text{--}1,0 \text{ г/л}$. При цьому особливу увагу приділяли стабільності подачі вуглекислого газу. Непоглинений вуглекислий газ скидали до атмосфери.

Насичену вуглекислим газом воду подавали на зрошення в колону 1. Азот надходив в нижню частину колони і з десорбованим вуглекислим газом виходив через верхню частину колони до атмосфери. Його витрату вимірювали за допомогою діафрагми 22.

Досліди проводили серіями. У кожному режимі серії підтримували незмінну швидкість азоту в колоні. Досвід дублювали в одному режимі 5–6 разів. Всі експерименти проводили на одній щільності зрошення, $L = 12,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, яка відповідала навантаженню по рідині в ректифікаційних колонах.

Проби рідини відбирали з досліджуваної та розподільчої тарілок за допомогою замуrowаних у плато тарілки стаканчиків через краники в шприци Жане місткістю 100 мл. На початку відбору проб з підвідних шлангів зливали

рідину. Після цього зі шлангів відбирали рідину в шприци, стежачи за тим, щоб в пробах рідини не було бульбашок газу. Вхідні кінці шприців закривали заглушками. Для складання матеріального балансу відбирали пробу рідини, яка йшла на зрошення колони.

Проби газу відбирали в спеціальні піпетки місткістю 100 мл з кранами на обох кінцях. Перед відбором проби піпетку заповнювали насиченим розчином $NaCl$. Потім її під'єднували до пробовідбірників, відкривали краники, і газ, витісняючи розчин, заповнював піпетку. Після повного витіснення рідини краники перекривалися. Пробу газу відбирали на виході з колони.

Крім цього, визначали гідравлічний опір досліджуваної тарілки з допомогою мікроманометра (типу ММН-240) і вимірювали висоту газорідинного шару на тарілці за допомогою мірної лінійки.

Методики визначення концентрації абсорбенту

Пробу газу аналізували за відомою методикою на приладі типу ВТІ.

Концентрацію вуглекислого газу в рідині визначали титруванням вуглекислоти 0,01–0,05 нормальним розчином $NaOH$. Для запобігання потрапляння вуглекислого газу з повітря в розчин $NaOH$, внутрішній обсяг бутилі сполучався з атмосферою через шар натронного вапна.

Титрування здійснювали за допомогою зразкового рН-метра (типу рН 262) до рН 8,3 наступним чином. У ємність для титрування заливали деяку кількість розчину $NaOH$ і додавали до нього кілька крапель фенолфталеїну, потім з шприца під шар розчину $NaOH$ подавали рідину на титрування, яке здійснювали таким чином, щоб в розчині постійно був невеликий надлишок $NaOH$. Контроль здійснювали за забарвленням розчину. Остаточне титрування проводили доведенням рН розчину до значення 8,3. Контроль здійснювали за рН-метром.

Така методика дозволяла працювати з концентрацією вуглекислого газу на досліджуваній тарілці $x = 20$ г/л, яка встановлювалася на тарілці при великих швидкостях газу в перетині колони ($w = 2,5-4,0$ м/с). Через невелику концентрацію вуглекислого газу на досліджуваній тарілці не була встановлена у колоні нижня третя тарілка. Це значно знизило б точність визначення ефективності досліджуваної тарілки. Попередньо було встановлено, що нижня тарілка практично не впливає на гідродинамічну обстановку досліджуваної тарілки.

Після визначення концентрації вуглекислого газу в рідині зводили матеріальний баланс за колоною. У розрахунок брали досліди, де розбіжність матеріального балансу не перевищувала $\pm 10\%$.

Ефективність за Мерфрі розраховували за виміряними концентраціям вуглекислого газу в рідині за рівнянням

$$E_{\text{Мерфрі}} = \frac{x_2 - x_1}{x_2 - x^*} \quad (2)$$

де x^* – концентрація на першій тарілці, рівноважна концентрації y_2 , мол. %.

Середній газовміст є одним з основних параметрів газорідинного шару. В роботі [2] розглядаються характеристики процесів, що протікають на перфорованій решітці (масообмінній тарілці). При поступовому зростанні швидкості газу у вільному перерізі апарата шар піни збільшується за рахунок зменшення товщини шару барботажу, і при певній швидкості газу структура піни змінюється – вона стає рухомою, перетворюється в сильно турбулізовану газорідинну систему. Така піна являє собою зважений шар рідини у вигляді плівок і струменів, що швидко рухаються, добре перемішаних з бульбашками і струменями газу. З подальшим зростанням швидкості газу турбулентність піни зростає, її структура набуває вихрового характеру, кількість бризок над шаром збільшується і при швидкості газу в

перерізі колони 3 – 3,5 м/с значна частина рідини уноситься з тарілки газом, що уходить.

Відповідно до зміни структури пінної дисперсної системи при збільшенні швидкості газу змінюється її гідравлічний опір. Крива гідравлічного опору пінного шару при всіх висотах вихідного шару рідини має максимум і мінімум, які залежать від конструктивних параметрів решітки. Подальше зростання гідравлічного опору зі збільшенням швидкості газу поступово сповільнюється і потім майже припиняється.

При дослідженні піноутворення вимірюють або розраховують за експериментальними даними такі основні показники газорідного шару.

Висота піни визначається відстанню від решітки до середнього рівня верхнього краю піни – зваженого шару рідини, тісно перемішаного з газом. Окремі краплі (бризки), що витають над піною, при цьому не зараховуються.

Висота піни (а також похідні від неї величини) є основним критерієм обсягу отриманої піни, а, отже, і розвитку поверхні контакту фаз. Чим вище шар піни, тим в першому наближенні більша поверхня контакту фаз розвивається над одиницею площі решітки і тим інтенсивніше протікає робота апарату. Крім того, інтенсивність перенесення маси або тепла залежить від структури піни – розмірів, кількості і рухливості бульбашок, плівок, і струменів. Тому при вимірюванні висоти піни призводять як візуальну оцінку її якості, так і вдаються до допомоги кіно- і фотозйомки. Використовують різні електричні методи вимірювання.

Щільність піни ρ_n (кг/м³) є похідною величиною від висоти піни H , м. Зменшення щільності піни вказує на зростання вмісту газової фази в піні, а, отже, при однаковому розмірі бульбашок, і на зростання поверхні контакту фаз. Зі зменшенням щільності піни зменшується її гідравлічний опір.

Густина піни обчислюється за формулою

$$\rho_n = L_{жс} \cdot \rho_{жс} / H \cdot S \quad (1)$$

де $L_{ж}$ – кількість рідини, з якої утворюється піна, м³;
 S – площа робочої (перфорованої) частини решітки, м².
 Величина $L_{ж}/S = h_0$ – висота вихідного шару рідини, м.
 Тому

$$\rho_n = \rho_{жс} \cdot h_0 / H \quad (2)$$

При роботі з різними рідинами зручніше користуватися не абсолютними значеннями щільності піни, а відносними. Відносна щільність піни показує, яку частку становить обсяг взятої рідини від обсягу отриманої піни, і дорівнює:

$$\rho_n^0 = \frac{\rho_n}{\rho_{жс}} = \frac{L_{жс}}{H \cdot S} = \frac{h_0}{H} \quad (3)$$

Велике значення має зворотна величина

$$H_{y\partial} = \frac{1}{\rho_n^0} = \frac{H}{h_0}, \quad (4)$$

що використовується в розрахункових рівняннях як критерій питомої висоти піни.

Газовміст пінного шару φ_r є параметром, що найближче визначає структуру пінного шару. Газовміст знаходиться як відношення обсягу, зайнятого газом, що знаходиться в газорідинному шарі, до загального обсягу шару:

$$\varphi_r = \frac{(H - h_0)}{H} = 1 - \frac{h_0}{H} = 1 - \rho_n^0, \quad (5)$$

тому визначення φ_r пов'язане з усіма тими труднощами, які супроводжують

вимірювання H и h_0 .

Гідравлічний опір полки ΔP змиритися за показаннями манометрів, воно складається з опорів сухої решітки $\Delta P_{\text{с.р.}}$ та піни $\Delta P_{\text{сл.}}$. Останню легко визначити за величинам, що замірюються:

$$\Delta P_{\text{сл.}} = \Delta P - \Delta P_{\text{с.р.}} \quad (6)$$

Величина $\Delta P_{\text{сл.}}/H$ – питомий опір піни. Крім характеристики економічності піноутворення, ця величина може служити і деяким критерієм стану структури пінного шару.

Вимоги до гідродинамічного режиму роботи пінного апарату обумовлені необхідністю створення найбільш розвиненої рухомої піни, що забезпечує високу інтенсивність процесів взаємодії газів і рідин.

Вимоги до гідродинамічного режиму роботи пінного апарату обумовлені необхідністю створення найбільш розвиненої рухомої піни, що забезпечує високу інтенсивність процесів взаємодії газів і гидкості.

У різного роду масообмінних апаратах з тарілками, що дозволяють пропускати газ бульбашками або струменями через шар рідини, процес дифузійного обміну відбувається при різних умовах зіткнення газу і рідини. Незалежно від конструкції тарілки простір над нею можна розділити на три зони. Нижня зона – зона барботування – являє собою суцільний шар рідини, пронизаний бульбашками газу. Над нею знаходиться зона піни, а ще вище – зона бризок. При малих швидкостях газу, які зазвичай підтримуються в барботажних апаратах, основна маса рідини знаходиться в зоні барботування і кількість піни і бризок невелика. Тим часом, дифузія маси і теплообмін йдуть найінтенсивніше саме в зоні піни, яка має велику міжфазну поверхню, безперервно і швидко оновлюється. Навіть при малій висоті пінного шару в порівнянні з висотою зони барботування він має переважаюче значення. Отже, збільшенням шару піни, за рахунок зменшення шару барботування можна різко інтенсифікувати процес. Збільшення шару піни може бути

досягнуто підвищенням швидкості газу в повному перерізі апарату w_2 , що є найбільш впливовим параметром, що визначає характер гідродинамічного режиму газорідного шару.

Типова залежність висоти піни від лінійної швидкості газу показана на рис. 11.

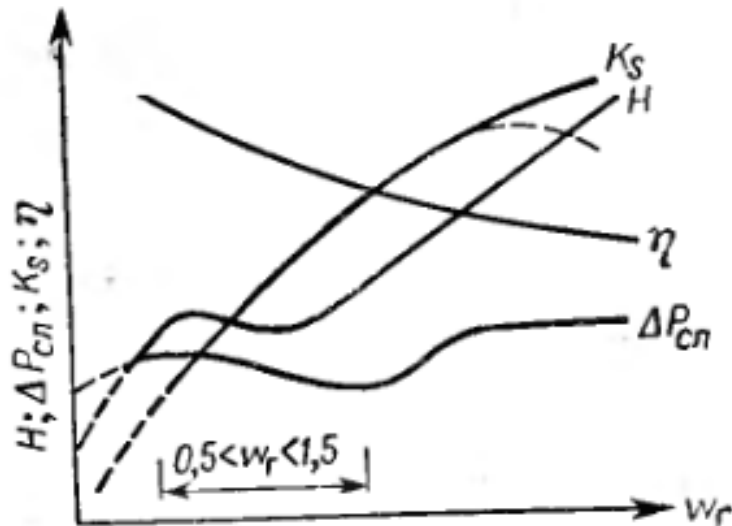


Рисунок 11 – Загальний вид залежності показників роботи полки пінного апарату від лінійної швидкості газу

Спливаючі до поверхні рідини бульбашки газу при барботуванні (тобто низьких w_r) мають досить малу масу і невелику швидкість. Тому кінетична енергія бульбашок невелика і її може не вистачити для подолання механічної міцності адсорбційного шару на поверхні розділу газ – рідина.

У цьому випадку над шаром рідини утворюється шар малорухомої піни, що має комірчасту структуру (w_r до 0,5 – 0,7 м/с). Зі збільшенням швидкості газу бульбашки (комірки) піни зменшуються, а рухливість її зростає. При швидкості газу 1 – 1,3 м/с можна спостерігати деяке зменшення обсягу пінного шару, що має рухливий вихровий характер, однак при подальшому збільшенні w_r збільшується і H . Зазвичай при $w_r = 3 – 4$ м/с спостерігається руйнування піни і перетворення її в бризки, зважені в газі.

Такий режим вже не зручний для практичного використання через дуже великого виносу рідкої фази.

Утворення пінної дисперсної системи в пінному апараті залежить також від фізичних властивостей компонентів. Фізичні властивості системи визначають значення w_T , при якому комірчаста піна переходить в рухливу, від них залежить ступінь розвитку і структура рухомий піни. В цілому, в умовах інтенсивного пінного режиму фізико-хімічні властивості системи відіграють значно меншу роль, ніж гідродинамічні параметри.

Деякий вплив мають конструктивні параметри решітки: від діаметра отворів, відстані між її центрами і характеру розподілу отворів на решітці залежить структура піни, що утворюється, а при занадто великому вільному перетині решітки протікання значної кількості рідини крізь отвори може погіршити піноутворення.

Вплив типу і вільного перетину решітки, а також витрати рідини, що характеризується в цьому випадку питомою витратою рідини або щільністю зрошення L_0 , різко посилюється зі зрозумілих причин в апаратах з протитоковими («провальними») решітками.

Наявність різних режимів, що виникають при пропусканні газу через шар рідини, і критерії їх розмежування займали багатьох дослідників гідродинаміки сітчастих решіток.

Зазвичай в робочому діапазоні швидкостей газу спостерігається кілька гідродинамічних режимів, розмежованих крапками перелому на кривих залежності висоти газорідинного шару, гідравлічного опору та деяких інших параметрів від швидкості газу в апараті. Різні режими є наслідком того, що абсолютна величина і роль окремих сил в процесі пропускання газу через рідинний шар можуть значно змінюватися в залежності від швидкості газу, кількості рідини і їх фізичних властивостей:

- барботажний режим – бульбашковий і струменевий, в якому крізь шар рідини проходять бульбашки або струменя газу, утворюючи над барботажною зоною малорухливу піну;

- пінний режим (режим вільної турбулентності), в якому зона рідини з барботуючим крізь неї газом зникає, піна стає рухомою і сильно турбулізованою;

- інжекційний (бризковий) режим, в якому газові факели виходять на поверхню піни і руйнують її, утворюючи потік бризок.

Можна вважати, що це лише перше наближення до опису гідродинамічних режимів сітчастих тарілок. Залежно від умов можуть виникати перехідні режими, а в певних умовах деякі режими, наприклад пінний, не мають місця. На протитокових решітках при певних швидкостях газового потоку спостерігаються сильні коливання і хвилеподібні рухи пінного шару, цей стан виділяють як хвильовий режим. Складний характер даного явища не дозволив поки узагальнити всі обставини, що сприяють виникненню того чи іншого режиму.

Якщо щільності рідини газу та піни відповідно $\rho_{ж}$, $\rho_{г}$, $\rho_{п}$, то об'ємна частка газу в піні або газовміст шару

$$\varphi_z = \frac{\rho_{ж} - \rho_{п}}{\rho_{ж} - \rho_z} \quad (7)$$

При барботажному режимі зазвичай середнє $\varphi_{г} < 0,5$; при пінному – $\varphi_{г} > 0,5$. Для більшості рідин при невеликій висоті вихідного шару перехід від малорухомої піни до турбулентної динамічної піни супроводжується зниженням середнього газовмісту, а при подальшому зростанні швидкості газу $\varphi_{г}$ знов зростає приблизно до 0,9.

За даними авторів роботи [2] виділяється три характерних гідродинамічних режиму роботи на решітках апарату:

1. Газ розподілений в рідині. Цей режим охоплює діапазон швидкостей газу в повному перерізі апарату від 0 до 0,9 – 1,1 м/с. Безперервною фазою є рідина, що містить деформовані бульбашки газу, що безперервно зливаються, руйнуються і рухаються, а також більш великі

газові порожнини. В межах цього режиму зі збільшенням швидкості газу рідина починає відокремлюватися, утворюючи деформовані рухомі агрегати рідини, що безперервно зливаються і руйнуються, приблизно при $w_T = 0,5 - 0,7$ м/с и $h_0 = 30 - 70$ мм, причому при збільшенні h_0 агрегати з'являються при більш високих швидкостях газу.

2. Інверсія фаз. При цьому режимі ($0,9 - 1,1 \leq w_T \leq 1,4 - 1,6$ м/с) рідка і газова фази майже повністю знаходяться в вигляді відособлених, деформованих агрегатів, що безперервно зливаються і руйнуються та більш-менш рівномірно розподіляються за об'ємом шару. Розміри агрегатів рідини і газових пустот і каналів співмірні.

3. Рідина розподілена в газі. У цьому режимі ($w_T \geq 1,4 - 1,6$ м/с) безперервною фазою є газ, а дисперсної – рідина. Зі збільшенням швидкості газу однорідність шару зростає, внаслідок чого зменшується кількість рідини, що знаходиться у вигляді агрегатів. При $w_T = 1,8 - 2,5$ м/с починають з'являтися яскраво виражені малодеформовані канали газу – це призводить до помітного зменшення швидкості флуктуації структурних параметрів. Таке співвідношення структури шару не змінюється до швидкості виносу рідини.

Межі зазначених гідродинамічних режимів залежать від гідродинамічних, фізико-хімічних і конструктивних параметрів системи і можуть коливатися в широких межах. Зокрема, на межі гідродинамічних режимів і на поведінку фаз (інтенсивність злиття, руйнування газових пустот і рідинних агрегатів) всередині окремого режиму великий вплив робить висота вихідного шару рідини, її піноутворююча здатність.

Гідродинамічні режими, що виникають на протитокових решітках, зазвичай розглядаються у вигляді залежності повного гідравлічного опору полки (з урахуванням газорідинного шару) від лінійної швидкості газу (в розрахунку на повний переріз апарату) при постійному навантаженні по рідини ($L_0 = \text{const}$). Типова залежність такого роду для дірчастих і щілинних решіток з невеликим вільним перетином ($S_0 \leq 0,25$ м²/м²) показана на рис. 12.

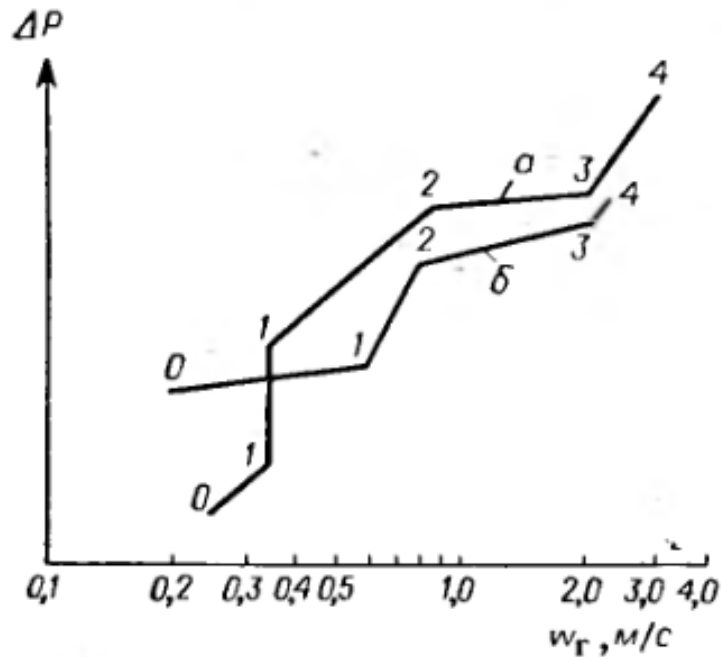


Рисунок 12 – Гідродинамічні режими на щілинній (а) і дірчастій (б) протитокових решітках:

0 – 1 – змоченої решітки; 1 – 2 – барботаажний; 2 – 3 – пінний;
3 – 4 – хвильовий.

Перший режим (0 – 1), що спостерігається при низьких швидкостях газу, визначається як режим змоченої решітки і характеризується дуже незначною кількістю рідини, що утримується на ній. Зі збільшенням w_T цей режим змінюється барботаажним (1 – 2), в якому газові бульбашки барботируют через шар рідини на решітці. У міру подальшого зростання швидкості газу рідина переходить в стан турбулізованої піни, настає пінний режим (2 – 3), або режим аерації. В межах цього режиму відбувається незначне зростання гідравлічного опору зі збільшенням швидкості газу. В кінці пінного режиму зростання швидкості газу призводить до утворення газових струменів, які, прориваючись то в одному, то в іншому місці решітки, створюють коливання шару рідини – починається хвильовий режим (3 – 4). Характерною рисою цього режиму є значне зростання гідравлічного опору і інтенсивне винесення крапель рідини. В кінці хвильового режиму настає «захливання» апарату, припиняється протікання рідини, миттєво

зростають шар рідини на решітці і гідравлічний опір.

На характер залежності від w_2 великий вплив мають геометричні параметри решіток. Так, на дірчастих решітках з невеликим діаметром отворів ($d_0 = 3 - 4$ мм) можна виділити перехідний режим від барботажного до пінного, який характеризується практично відсутністю зростання ΔP і утворенням крупнокомірчастої піни при наявності великих бульбашок газу. Зі збільшенням щільності зрошення і діаметра отворів інтервал швидкості газу, при якому існує цей перехідний режим, скорочується. Дослідники виявили наявність режиму (іноді в досить великому інтервалі швидкостей газу), що характеризує перехід від пінного режиму до хвильового, який також супроводжується практично припиненням зростання ΔP . Стан шару рідини на решітці при цьому режимі вкрай нестійке, періодично спостерігається то стабільний шар рухомий піни, то обертання і коливання газорідинного шару.

Лінійна швидкість газу, при якій утворюється пінний режим, мало залежить від щільності зрошення і становить зазвичай близько 1 м/с. Точка хвилеутворення відповідає $w_2 \approx 2$ м/с, причому перехід від пінного режиму до хвильового для решіток з великим вільним перетином відбувається при більш високих швидкостях газу, ніж для решіток з невеликим вільним перетином; з ростом L_0 швидкість газу, відповідна початку хвилеутворення, зменшується.

Найбільший інтерес для різних процесів масопередачі, наприклад, для пиловловлювання, виходячи з їх специфічних особливостей і економічності ведення процесу, являє пінний режим, що забезпечує найкращі умови для підведення молекул абсорбтиву або частинок пилу до постійно оновлюється, сильно турбулізованим поверхонь (плівкам) рідини. Робота при хвильовому режимі не може бути визнана доцільною, так як при цьому на протиточних решітках різко зростає бризкоунесення, що знижує ефективність процесу. Крім того, коливання шару рідини на решітці при хвильовому режимі приймають самі різні форми, аж до оголення деякої частини отворів, що може привести до прориву газу без будь-якого контакту зі зрошуючою рідиною.

Робота в хвильовому режимі можлива при великій щільності зрошення (виключається можливість оголення окремих частин решітки) і при наявності ефективного бризковловлювача, вбудованого безпосередньо в апарат або встановленого на виході газу з апарату. Інша можливість - установка на протитокових решітках стабілізаторів пінного шару, запобігають появі хвильового режиму при великих швидкостях газу. На протитокових решітках з великим вільним перетином ($S_0 \geq 0,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$) не можна простежити зміну гідродинамічних режимів з ростом швидкості газу. Практично аж до точки захлинання на них утворюється досить невисокий газорідинний шар з тонкими постійно розриваються плівками рідини. Характерним для роботи подібних решіток, особливо при високих лінійних швидкостях газу ($w > 1 - 2 \text{ м/с}$), є інтенсивне бризкоунесення, так як відсутній сепаруючий шар газорідинної піни.

Таким чином, спостережувані в системі повітря – вода на протиточних дірчастих і щілинних решітках режими в основному відповідають узагальнюючій класифікації. Для визначення меж режимів (тоюто «критичної» швидкості газу w_2) запропоновано застосовувати формулу:

$$\frac{w_2^2}{g \cdot d_{0,3} \cdot S_0} \frac{\rho_z}{\rho_{ж}} \left(\frac{\mu_{жс}}{\mu_g} \right)^{0,16} = B \cdot \exp \left[-4 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \left(\frac{\rho_z}{\rho_{жс}} \right)^{0,125} \right] \quad (8)$$

де $d_{0,3}$ – еквівалентний діаметр отворів; μ_v – в'язкість води при 20 °С.

Величина B названа індикатором гідродинамічного режиму: $B \leq 2,95$ відповідає режиму структурованої піни; $2,9 < B < 10$ – режиму рухливої піни; $B \geq 10$ – переходу від режиму рухливої піни до бризкоунесення.

Висота піни є одним з основних показників піноутворення, що дозволяє судити про розвиток поверхні контакту фаз. питома поверхня A ($\text{м}^2/\text{м}^2$) дотику газу і рідини може враховуватися як функція питомої обсягу

піни або питомої висоти піни. При даній площі решітки питома обсяг піни дорівнює її питомої висоті

$$\frac{v_n}{v_{ж}} = \frac{H}{h_0} = H_{y0} \text{ або}$$

$$H_{y0} = \frac{\varphi_z + \varphi_{ж}}{\varphi_{ж}} = \quad (9)$$

де v_n – об'єм піни,

$v_{ж}$ – об'єм вихідної рідини, з якої виникла піна.

Очевидно, що при даному середньому еквівалентному радіус кривизни бульбашок газу

$$A = B \cdot H_{y0} \quad (10)$$

де B – коефіцієнт пропорційності.

Аналіз численних експериментальних даних показує, що коефіцієнти масо-і теплопередачі (K і K_T) при даній швидкості газу пропорційні висоті піни в значних межах її зміни. Залежність K і K_T від H можна виразити за практично достатньою точністю рівнянням прямої

$$K = aH + K_0 \text{ і}$$

$$K_T = a'H + K_0' \quad (11)$$

Коефіцієнти (a і K_0) в цих рівняннях різні для різних газорідинних

систем і процесів.

Таким чином, висотою піни або величинами, залежними від неї (щільність піни і ін.), Можна користуватися як критерій для оцінки роботи пінного апарату. Цей фактор (H) містить всю інформацію про вплив гідродинамічних і конструктивних параметрів апарату.

В той ж час H – це найважливіший гідродинамічний і кінетичний параметр, що визначає в значній мірі коефіцієнт масопередачі K_S (віднесений до поверхні контакту фаз). Час контакту газу з рідиною на полиці пінного апарату прямо пропорційно висоті пінного шару. Тому і залежність K_S від H при інших рівних умовах повинна бути прямолінійною, що і підтверджено дослідями.

Лінійна залежність порушується при зменшенні висоти піни нижче 40 – 80 мм (в залежності від швидкості газу), так як відбувається струменевий прорив газу з різким зниженням коефіцієнта масопередачі.

Сильне збільшення H також недоцільно з двох причин. По-перше, внаслідок наближення д к.п.д. 100% збільшення продуктивності полки з ростом висоти піни майже припиняється, хоча K_S продовжує зростати. По-друге, при зростанні висоти піни вище 400 мм погіршується її структура при одночасному підвищенні гідравлічного опору.

При виведенні розрахункових критеріальних рівнянь залежність $K_S = f(H)$ виражають одночленом:

$$K_S = n \cdot H^m \quad (12)$$

де $m = 0,33$ для добре розчинених газів при $H = 80 - 400$ мм і $w_T = 1,5 - 3,0$ м/с. У свою чергу, висота піни є комплексної змінної функцією багатьох параметрів в залежності від умов проведення процесу.

Найбільш ефективна робота масообмінних апаратів досягається при певному поєднанні значень коефіцієнта масопередачі K і коефіцієнта

корисної дії η , що характеризує повноту протікання процесу.

Визначення впливу різних чинників на к.п.д. масообмінних апаратів не тільки дозволить спростити розрахунки цих апаратів, а й дасть можливість вибору найбільш раціональних режимів їх роботи в залежності від вимог виробництва.

розуміють відношення кількості компонента, який перейшов з однієї фази в іншу, до теоретично максимально можливій кількості, яке перейшло б за умови досягнення в апараті фазового рівноваги.

Між коефіцієнтом корисної дії і коефіцієнтом масопередачі є зв'язок:

Для абсорбції (концентрації виражені по газовій фазі)

$$\eta_z = \frac{2K_s}{(2w_z + K_s)} \quad (13)$$

для десорбції (концентрації виражені по рідкій фазі)

$$\eta_{жс} = \frac{2K_s}{(2w_{жс} + K_s)} \quad (14)$$

К. п. д. залежить від швидкості процесу, що протікає і є функцією багатьох змінних: гідродинамічної обстановки процесу, створеної в апараті тієї чи іншої конструкції, фізико-хімічних властивостей оброблюваних речовин і часу контакту фаз. Облік всіх факторів, що впливають на к. п. д., дуже складний і зазвичай його визначають дослідним шляхом. При цьому застосовують різні вирази визначається критерій, що характеризує повноту протікання процесу.

Питома вага газорідної емульсії, що виникає на тарілках колон, характеризуючи гідродинамічний стан системи, в значній мірі визначає і

ефективність роботи колони [2].

Як на тарілках, так і в насадках мінімальна питома вага емульсії відповідає максимальній розділяє здібності, що підтверджує припущення про наявність залежності між питомою вагою емульсії і коефіцієнтом масопередачі на тарілці. Вищенаведені дані відносяться до середнього питомій вазі емульсії на тарілці.

Середня питома вага емульсії на тарілці може бути визначений як кількість рідини, віднесене до обсягу емульсії, або як гідростатичний тиск стовпа емульсії, віднесене до її висоти. Тим і іншим способами виходять однакові значення середніх питомих ваг.

В результаті експериментів були отримані значення кількості рідини і висоти емульсії для різних швидкостей по рідини і газу на тарілках діаметром 114 мм і значення гідростатичного тиску емульсії і висоти піни на тарілці діаметром 400 мм.

Характер зміни як кількості рідини, так і висоти шару емульсії на тарілці (зі зміною швидкості газу) різко змінюється від режиму до режиму; однак ці зміни відбуваються синхронно для зазначених величин і характер змін майже однаковий. А так як середня питома вага емульсії пропорційний відношенню названих величин, то не слід очікувати різких стрибків в кривій залежності питомої ваги від швидкості газу при постійному зрошенні, що дозволяє сподіватися отримати єдину залежність для визначення питомої ваги газорідинної емульсії для всіх режимів, що виникають на ґратчастій тарілці.

На рис. 13 наводяться залежності відносної питомої ваги емульсії $\frac{\gamma_{\text{э}}}{\gamma_{\text{ж}}}$ від швидкості газу при постійних величинах зрошення [тут $\gamma_{\text{э}}$ – питома вага емульсії (кг/м³); $\gamma_{\text{ж}}$ – питома вага чистої рідини (кг/м³)]. На ґратчастих провальних тарілках питома вага газорідинної емульсії зменшується аж до швидкості захлинання, отже, і ефективність переносу маси повинна безперервно зростати зі збільшенням швидкості газу, правда, при високих

швидкостях це зростання незначний. Цей висновок підтверджується даними роботи Кузьмініх і Родіонова при десорбції кисню з води на провальною тарілці, що ще раз говорить про наявність зв'язку між процесом масопередачі на гратчастій тарілці і питомою вагою емульсії.

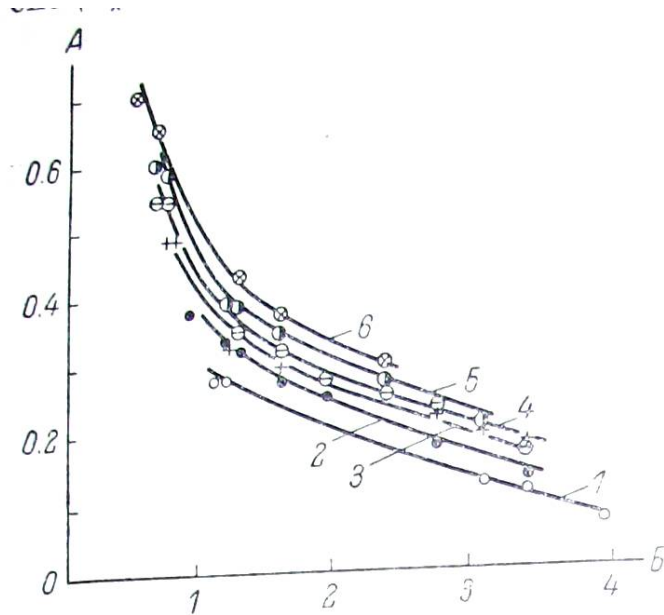


Рисунок 13 – Середній відносний питома вага емульсії на тарілці № 7 в залежності від швидкості газу в колонці при різних зрошення:

A – середня відносна питома вага $\frac{\gamma_{\text{э}}}{\gamma_{\text{ж}}}$,

Б – швидкість газу w (м/сек.);

Відношення L (кг/м²·год): 1 – 1650, 2 – 3870, 3 – 8060, 4 – 11200, 5 – 16000, 6 – 21100.

У автори роботи [6] досліджували гідравлічні закономірності процесів на дірчастих і щілинних провальних тарілках в широкому інтервалі зміни розмірів тарілок, а також фізичних властивостей і швидкостей потоків з урахуванням гідродинамічного режиму процесу.

Найбільш істотними гідравлічними характеристиками роботи будь-якої тарілки є гідравлічний опір, що визначає енергетичні витрати, і висота піни, яка визначає висоту тарілчастої колони. Загальна гідравлічний опір працює тарілки знаходиться з рівняння

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_\sigma + \Delta p_n \quad (15)$$

де Δp_c – гідравлічний опір сухої тарілки, кг/м^2 ;

Δp_σ – опір, що виникає в результаті поверхневого натягу, кг/м^2 ;

Δp_n – опір шару піни, кг/м^2 .

Δp_c – визначається за рівнянням

$$\Delta p_c = \left[(1 - F_c)^2 + \xi_p + \frac{4000 \cdot F_c \cdot d}{\text{Re}^{0.2}} \cdot \frac{\delta}{d_3} \right] \cdot \frac{w_0^2 \cdot \gamma_z}{2 \cdot g} \quad (16)$$

де ξ_p – коефіцієнт гідравлічного опору при раптовому розширенні;

d – діаметр отвору або ширина щілини, м;

δ – товщина тарілки, м;

$\text{Re} = \frac{w_0 \cdot d_0 \cdot \gamma_z}{\mu_r \cdot g}$ – критерій Рейнольдса для газу;

w_0 – швидкість газу у вільному перерізі тарілки, м/сек;

μ_r – в'язкість газу, $\text{кг} \cdot \text{сек/м}^2$.

Величина Δp_σ , відповідна опору, що виникає в результаті поверхневого натягу, може бути знайдена з рівняння

$$\Delta p_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{d_3} \quad (17)$$

де σ – поверхневий натяг, кг/м ;

d_3 – еквівалентний діаметр отвору або ширина щілини, м;

Як видно з рівняння (15), єдиним доданком, яке не можна розрахувати

заздалегідь, є Δp_n (опір шару піни). Тому виникає необхідність в знаходженні розрахункового рівняння для визначення цієї величини.

Прийmemo, що піна являє собою місцеве гідравлічний опір для проходження як газу, так і рідини. Склавши відповідні рівняння Бернуллі автори отримали рівняння для розрахунку об'ємної частки рідини в шарі піни.

$$(1 - \varepsilon) = \frac{0,21}{\sqrt{F_c}} Fr_{on}^{-0,2} \quad (18)$$

де $(1 - \varepsilon)$ – об'ємна частка рідини в піні;

F_c – вільний перетин тарілки, m^2/m^2 ;

Fr_{on} – критерій Фруда.

На барботажних тарілках візуально можна спостерігати різні режими взаємодії газу і рідини. Можливість розрахунку гідравлічного опору піни для всіх режимів за рівнянням (18) означає, що характер опору, що чиниться шаром піни проходженню газу, залишається постійним у всіх режимах.

В роботі [2] вказується, що величина $(1 - \varepsilon)$ в рівнянні (18) приблизно дорівнює відносній питомій вазі емульсії.

В роботі [1] розглядалися гідродинамічні характеристики тарілок провального типу з різним вільним перерізом, які встановлювалися в колонах різного діаметру.

За швидкість w_{min} приймали швидкість газу при $L = const$, при якій на тарілці провального типу з'являвся стійкий барботажний шар. При швидкості w_{max} газорідинний шар на тарілці починав руйнуватися. У колонах діаметром $D = 0,057$ і $0,15$ м газорідинний шар при швидкості, що перевищує w_{max} , починав різко зростати до виходу через верх колони. У колоні $D = 2$ м, при збільшенні швидкості газу вище w_{max} , через частину рідини на тарілці газ

взагалі не барботував, а через іншу частину тарілки газ проходив з великою швидкістю. Кордон розділу газової і газорідинної фази при w_{\max} , на тарілках провального типу з малим вільним перетином, була видна досить добре.

Відмічається [1], що діапазон стійкої роботи ($w_{\min} - w_{\max}$) для тарілки провального типу встановленої в колоні з $D = 0,057$ м істотно (приблизно в 2 рази) менше, діапазону стійкої роботи тарілки встановленої в колоні $D = 2$ м, при великій щільності зрошення. Значення вільних перетинів тарілок і діаметри отворів плато тарілки були близькі для колон різного діаметру.

На рис. 14 представлена структура барботажного шару характерна для висоти барботажного шару до $H \approx 0,1$ м.

к видно з малюнків, барботажний шар характеризується однорідною за всіма напрямками структурою ячеистої піни, горизонтальною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється в часі, для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що в барботажному шарі сили тяжіння перевищують сили інерції рідини. Можна вважати, що барботажний шар в цьому режимі, як система, що самоорганізується, знаходиться в рівновазі, так як сили гідростатичного тиску і масові сили постійні у часі в будь-якій точці барботажного шару. Вектор швидкості руху рідини має один напрямок - зверху вниз. Так як на газорідинний шар не діють зовнішні сили, а діють тільки сили, в результаті яких він утворений, то таку систему можна назвати самоорганізується.



Рисунок 14 – Робота тарілки провального типу в режимі однорідного барботажного шару: тарілка № 10 (таблиця 1),

$$L = 12,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), w = 0,72 \text{ м/с.}$$

Крім того, барботажний шар практично симетричний щодо осей координат, початок яких розташовується на центральній вертикальній осі тарілки провального типу.

При досягненні висоти газорідного шару більшої $H \approx 0,1$ м він втрачає стійкість (рис. 14). Утворюється рухливий газорідний шар, який характеризується відсутністю структурованої ячеистої піни. Вільна поверхня газорідного шару криволінійна. Її висота змінюється в часі для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фаз має амплітуду і частоту. У газорідному шарі спостерігаються флуктуації таких параметрів як гідравлічне опір і висота газорідного шару, швидкостей руху рідини, які мають хаотичне

напрям. Це говорить про те, що сили інерції рідини в такому газорідинному шарі перевищують сили тяжіння.



Рисунок 15 – Робота тарілки провального типу в режимі рухомого газорідинного шару: тарілка № 10 (таблиця 10),

$$L = 12,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), w = 0,83 \text{ м/с.}$$

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

Таким чином, газорідинний шар, як система, що самоорганізується, втрачає стійкість і стає динамічною нерівноважною системою. Перехід від стійкої рівноважної самоорганізується ізольованої системи до нерівноважної системи називають біфуркацією.

Дослідження тарілок повального типу з великим вільним перетином показали, що в колонах невеликого діаметра ($D = 0,057, 0,15 \text{ м}$), ще з'являвся барботажний шар при w_{min} . В колоні $D = 0,4 \text{ м}$ і, особливо, в колоні $D = 2 \text{ м}$,

при w_{min} з'являвся газорідинний шар, який складався з крапель і плівок рідини з високим газовмістом. Таким чином, в газорідинному шарі мала місце інверсія фаз, коли суцільний фазою був газ, а дисперсною фазою була рідина.

Верхня межа роботи тарілок провального типу з великим вільним перетином (w_{max}) в колонах невеликого діаметра ($D = 0,057, 0,15$ м), визначали по висоті вільної поверхні газорідинного шару, як і для тарілок з малим вільним перетином. У колонах діаметром $D = 0,4$ м і $D = 2$ м вільної поверхні газорідинного шару не було. Тому w_{max} визначали (досить умовно) по висоті підкидання найбільш великих крапель і плівок рідини.

Якщо в колонах невеликого діаметра ($D = 0,057, 0,15$ м) існував перехід від однорідного барботажного шару до рухомого газорідинного шару, при висоті $H \approx 0,1$ м, то в колонах діаметром $D = 0,4$ м і $D = 2$ м такого переходу не було.

Діапазон сталої роботи ($w_{min} - w_{max}$) у тарілок провального типу з великим вільним перетином менше залежить від діаметра колони, ніж у тарілок провального типу з малим вільним перетином.

Після аналізу представлених експериментальних даних можна зробити висновок, що нижній і верхній межі роботи (w_{min} і w_{max}) тарілок провального типу з однаковим діаметром отворів, істотно залежать від вільного перетину тарілок для одних і тих же співвідношень навантажень по газовій і рідкій фазі. У той час, як нижня межа роботи (w_{min}) тарілок провального типу, практично не залежить від діаметра колони для різних вільних перетинів тарілок, w_{max} істотно залежить від діаметра колони, особливо для тарілок провального типу з малим вільним перетином тарілок для одних і тих же співвідношень навантажень по газовій і рідкій фазі.

Діапазон сталої роботи тарілок провального типу пов'язаний з режимами її роботи. Найбільш часто перехід від одного режиму до іншого ілюструється на графіках залежності гідравлічного опору тарілки від швидкості газ в перерізі колони.

На рис. 16 представлені графіки залежності гідравлічного опору тарілки провального типу від швидкості газу в перерізі колони для різних діаметрів колон. Наведено залежності для тарілок провального типу з малим вільним перетином.

На графіку залежності гідравлічного опору тарілки провального типу від швидкості газу в перерізі колони, встановленої в колоні $D = 0,15$ м (рис. 3.16) добре видно кордону між різними режимами роботи тарілок.

На рис. 17 наведені графіки залежності гідравлічного опору від швидкості газу в перерізі колони діаметром $D = 0,15$ м, для різних вільних перетинів тарілок провального типу. Відзначено точки біфуркації, в яких здійснюється якісна зміна структури однорідного барботажного шару і він стає рухомим газорідним шаром.

Відповідно до цього, на тарілках провального типу можна виділити три режими роботи тарілок:

- режим однорідного барботажного шару;
- режим рухомого газорідного шару;
- режим руйнування газорідного шару.

Перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного шару в колоні $D = 0,15$ м здійснюється стрибкоподібно, тобто при незначній зміні керуючого параметра (швидкості газу в перерізі колони) відбувається стрибкоподібне зміна визначається параметра (гідравлічного опору тарілки провального типу).

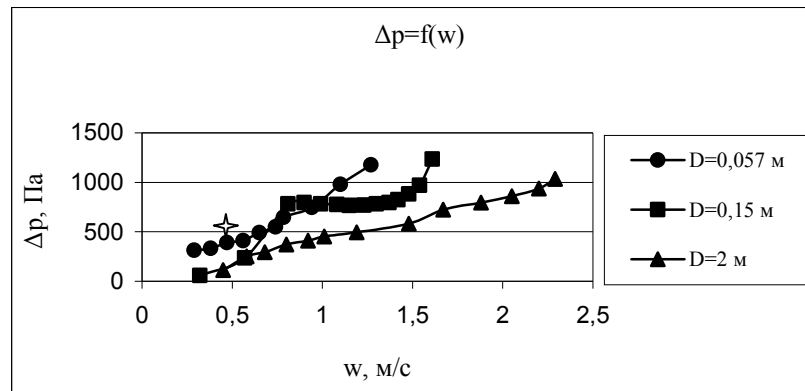


Рисунок 16 – Залежність гідравлічного опору (Δp , м) від швидкості газу в перетині колони (w , м/с), при різних щільностях зрощення (для тарелок № 21 (таблиця 3.1) – $L = 32,46 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; № 10 (таблиця 3.1) – $L = 19,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; № 1 (таблиця 3.1) – $L=32 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$).

☆ – точка біфуркації.

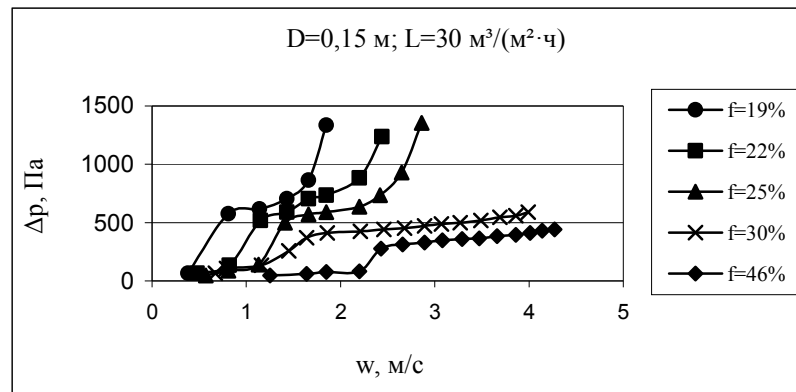


Рисунок 17 – Залежність гідравлічного опору (Δp , м) від швидкості газу в перерізі колони (w , м/с), при різних вільних перерізах тарілок провального типу (для тарілок № 12 – $f = 19\%$ № 13 – $f = 22\%$; № 14 – $f = 25\%$; № 15 – $f = 30\%$; № 16 – $f = 36\%$; № 17 – $f = 46\%$, таблиця 3.1).

☆ – точка біфуркації.

Після вивчення меж роботи тарілок провального типу можна зробити наступні висновки:

– діапазон стійкої роботи тарілок провального типу залежить від їх геометричних характеристик, таких як вільний перетин тарілок, їх діаметра, а також діаметра отворів в плато тарілки. Гідродинаміка тарілок з діаметром отворів $d_0 = 0,002$ м в даній роботі не розглядалася, оскільки істотно відрізняється від гідродинаміки тарілок з отворами $d_0 \geq 0,005$ м. Ймовірно, це пов'язано з впливом поверхневого натягу рідини.

– в межах сталої роботи тарілок провального типу від мінімальної швидкості (w_{min}), при якій на тарілці з'являється стійкий барботаажний шар, до максимальної швидкості газу в перерізі колони (w_{max}), при якій відбувається руйнування газорідинного шару, існують три режими роботи тарілки провального типу (режим однорідного барботаажного шару; режим рухомого газорідинного шару і режим руйнування газорідинного шару).

– перехід від режиму однорідного барботаажного шару до режиму рухомого газорідинного шару відбувається в точці біфуркації, коли відбувається принципова зміна структури барботаажного шару, і основні його параметри (гідравлічний опір тарілки і висота газорідинного шару) в даній точці набувають певної амплітуду і частоту.

– в колоні перехід від режиму однорідного барботаажного шару до режиму рухомого газорідинного шару, може здійснюватися при стрибкоподібному зміні гідравлічного опору тарілки провального типу.

– перехід від режиму однорідного барботаажного шару до режиму рухомого газорідинного шару відбувається при висоті газорідинного шару $H \approx 0,1$ м для всіх досліджених тарілок (таблиця 3.1) і всіх співвідношень витрат газової і рідкої фази в точці біфуркації.

Метою даної роботи є дослідження середнього газовмісту газорідинного шару φ на масообмінних тарілках провального типу.

Середнє газовміст є одним з основних параметрів газорідинного шару, який утворюється на масообмінних тарілках.

В роботі [1] відзначається, що середній газовміст характеризує

ефективність роботи колони забезпеченою тарілками провального типу. Це говорить про актуальність поставленої задачі.

Залежність ефективності роботи тарілок провального типу від середнього газосодержання вивчалася в роботі [3]. На рис. 18 представлені графіки залежності ефективності тарілок провального типу від швидкості пара в перерізі колони w , м/с для тарілок з різним вільним перетином в умовах ректифікації суміші вода - метанол. Діаметр колони становив $D = 0,3$ м, вільний перетин становило $f = 0,16, 0,36, 0,56$.

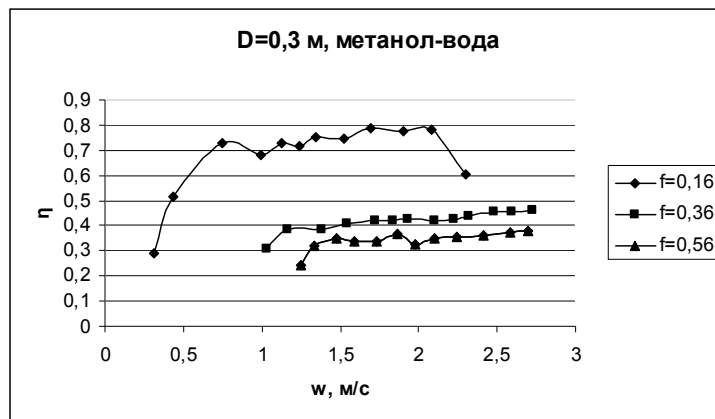


Рисунок 18 – Графіки залежності ефективності тарілок від швидкості пари в перетині колони

Для тих же умов на рис. 19 представлені графіки залежності середнього газовмісту на тарілках від швидкості пари в перетині колони.

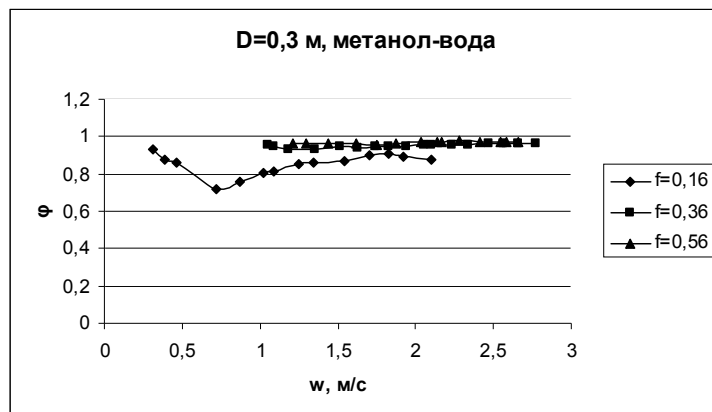


Рисунок 19 – Графіки залежності середнього газовміст на тарілках від

швидкості пари в перерізі колони

З порівняння графіків на рис. 18 і рис. 19 видно, що великим значенням середнього газовмісту на тарілках провального типу відповідають менші значення ефективності тарілок.

Раніше було встановлено [1] існування трьох режимів роботи тарілок провального типу:

- режим однорідного барботажного шару;
- режим рухомого газорідинного шару
- режим руйнування газорідинного шару

З графіків, рис. 20, видно, що в режимі рухомого газорідинного шару величина середнього газовмісту практично не залежить від швидкості газу в перерізі колони, для всіх досліджених щільності зрошення L , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$,

За результатами роботи можна зробити висновки:

- в режимі рухомого газорідинного шару величина середнього газовмісту практично не залежить від швидкості газу в перерізі колони при будь-яких щільності зрошення;

- ефективність тарілок провального типу залежить від величини середнього газовмісту газорідинного шару на тарілці: при збільшенні середнього газовмісту на тарілці її ефективність зменшується, рис. 18.

- зі збільшенням вільного перетину тарілок провального типу їх середній газовміст збільшується при однакових загрузках по газу і рідині і, отже, зменшується ефективність тарілок.

- зі збільшенням щільності зрошення середній газовміст газорідинного шару на тарілках провального типу зменшується до величини не менше $\varphi = 0,5$ для всіх досліджених тарілок.

2. Опис експериментальної установки

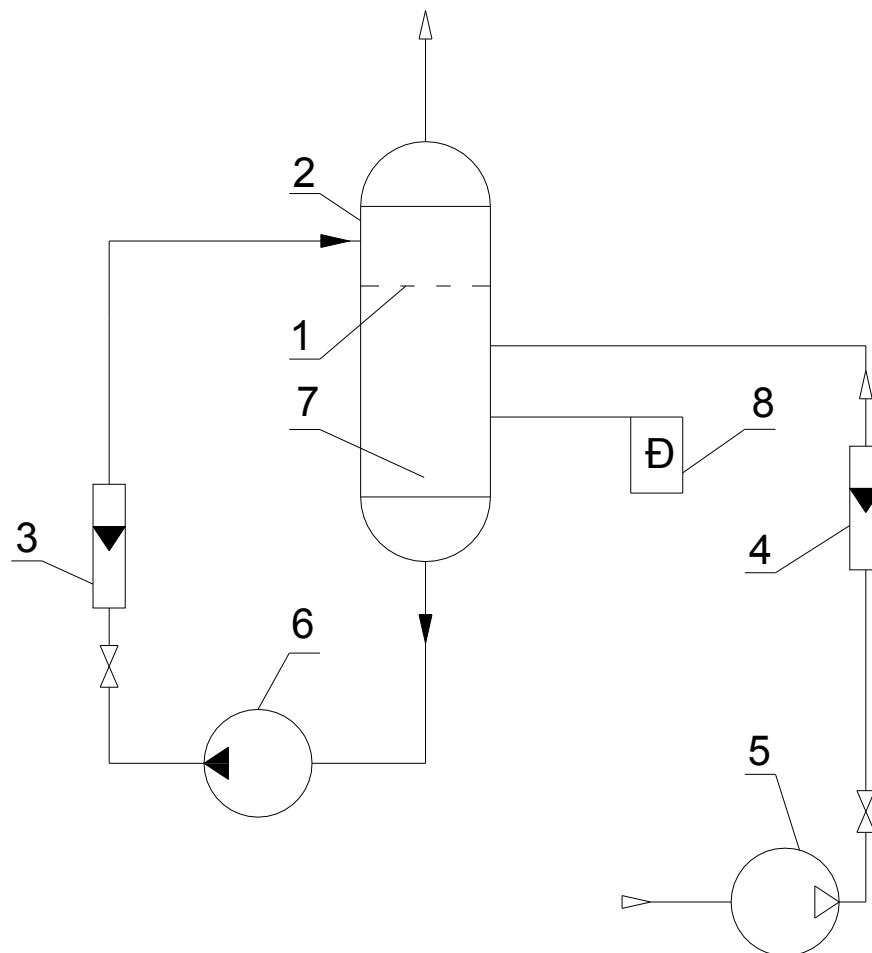


Рис. 20. Схема експериментальної установки

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

Установка являє собою колону 2, з установленою в ній тарілкою провального типу 1. Із кубу колони 7 за допомогою насоса 6 вода подається через ротаметр 3 у верхню частину колони. Повітря за допомогою газодувки 5 через ротаметр 4, подається у колону в місці, що перебуває нижче тарілки для забезпечення протитоку й тим самим утворення барботажного шару. Витрати рідини і повітря регулюємо вентилями. Гідравлічний опір вимірюємо манометром 8.

3. Експериментальні дослідження

3.1. Методика проведення експериментів

Рідина за допомогою насоса подається у верхню частину колони через зрошувач. Вода подається на внутрішню стінку колони. Встановлюємо за ротаметром витрату рідини, якій відповідає певна щільність зрошення

Знизу під тарілку за допомогою газодувки подаємо повітря. Його витрату встановлюємо за ротаметром. Для певної щільності зрошування змінюємо витрату повітря від початку роботи тарілки до її верхньої межі.

Для кожного співвідношення навантажень по газу й рідині вимірюємо гідравлічний опір і висоту газорідинного шару. Гідравлічний опір тарілки вимірюємо за допомогою рідинного манометра, вхід якого з'єднаний із точкою відбору гідравлічного тиску, що розташовується на кришці кубової частини експериментальної установки. Вихід манометра з'єднаний з атмосферою.

Висоту піни вимірюємо за допомогою сантиметрової лінійки.

Для отримання більш точніших дослідних даних для кожного співвідношення навантажень по газу й рідині проводимо по декілька експериментів, після чого підраховується середня величина для гідравлічного опору та висоти газорідинного шару.

Дослідження проводимо для всіх тарілок різного вільного перерізу.

3.2 Обробка експериментальних даних

Експериментальні дані заносимо у таблицю 1

Таблиця 1. Вільний переріз $f=0,3$;

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 Δh_{cm}	Середній газоваміст ϕ
1	2	3	4	5	6	7
1,57	4	0	0,39	0,1	5,97	
	4	0	0,41	0,12	5,99	
	5	0	0,44	0,13	6	
	5	0	0,47	0,15	6,02	
	5	0	0,5	0,17	6,04	
	5	0	0,53	0,19	6,06	
	5	0	0,56	0,22	6,09	
	5	0	0,59	0,24	6,11	
	5	0	0,61	0,26	6,13	
	6	0	0,64	0,29	6,16	
	6	0	0,67	0,31	6,18	
	6	0	0,7	0,34	6,21	
	6	0	0,73	0,37	6,24	
	6	0	0,76	0,4	6,27	
	6	0	0,79	0,44	6,31	
	6	0	0,82	0,47	6,34	
	6	0	0,85	0,51	6,38	
	7	0	0,88	0,54	6,41	
	7	0	0,9	0,57	6,44	
	7	0	0,93	0,61	6,48	
	7	0	0,96	0,65	6,52	
	8	10	1,07	0,81	6,68	0,868
	9	20	1,24	1,09	6,96	0,898
	11	20	1,41	1,4	7,28	0,813
12	30	1,58	1,76	7,64	0,854	

	13	45	1,75	2,16	8,04	0,889
	16	50	1,92	2,6	8,48	0,849
	19	60	2,09	3,1	8,98	0,832
	22	70	2,26	3,6	9,49	0,821
	27	85	2,43	4,18	10	0,8
	30	90	2,6	4,7	10,6	0,784
	33	100	2,77	5,4	11,3	0,782
	33	100	2,94	6,1	12	0,789
	33	105	3,11	6,8	12,7	0,806
	33	110	3,28	7,6	13,5	0,822
	35	115	3,45	8,4	14,3	0,819
	36	125	3,62	9,27	15,1	0,833
	38	130	3,79	10,1	16	0,83
	41	140	3,96	11,1	17	0,828
	43	145	4,13	12,1	18	0,827
7,55	7	0	0,39	0,1	5,97	
	8	0	0,41	0,12	5,99	
	8	8	0,44	0,13	6	0,75
	8	10	0,47	0,15	6,02	0,802
	9	10	0,5	0,17	6,04	0,704
	9	10	0,53	0,19	6,06	0,706
	9	10	0,56	0,22	6,09	0,709
	9	10	0,59	0,24	6,11	0,711
	9	10	0,61	0,26	6,13	0,713
	9	20	0,64	0,29	6,16	0,858
	15	40	0,67	0,31	6,19	0,779
	18	50	0,7	0,34	6,22	0,764
	18	55	0,73	0,37	6,25	0,786
	18	55	0,76	0,4	6,28	0,786
	19	55	0,79	0,44	6,32	0,769
	19	60	0,82	0,47	6,35	0,789
	21	60	0,85	0,51	6,4	0,756
	22	65	0,88	0,54	6,43	0,76
	22	65	0,9	0,57	6,46	0,76
	22	65	0,93	0,61	6,5	0,761
22	65	0,96	0,65	6,54	0,761	
24	70	1,07	0,81	6,7	0,752	

	27	80	1,24	1,09	6,9	0,749
	28	80	1,41	1,4	7,2	0,74
	28	85	1,58	1,76	7,6	0,76
	29	90	1,75	2,16	8	0,767
	30	90	1,92	2,6	8,5	0,76
	31	95	2,09	3,1	9	0,768
	32	100	2,26	3,6	9,5	0,774
	33	105	2,43	4,18	10	0,781
	35	110	2,6	4,7	10,6	0,777
	38	120	2,77	5,4	11,3	0,777
	40	125	2,94	6,1	12	0,775
	42	130	3,11	6,8	12,7	0,774
	43	135	3,28	7,6	13,5	0,781
	44	135	3,45	8,4	14,3	0,779
	47	145	3,62	9,27	15,1	0,780
	53	160	3,79	10,1	16	0,768
	63	190	3,96	11,1	17	0,757
	75	240	4,13	12,1	18	0,762
13,86	8	10	0,39	0,1	5,97	0,797
	8	10	0,41	0,12	5,99	0,799
	8	10	0,44	0,13	6	0,8
	8	15	0,47	0,15	6,02	0,868
	8	15	0,5	0,17	6,04	0,869
	9	20	0,53	0,19	6,06	0,853
	21	60	0,56	0,22	6,11	0,751
	21	60	0,59	0,24	6,13	0,751
	22	60	0,61	0,26	6,15	0,735
	22	65	0,64	0,29	6,18	0,756
	23	65	0,67	0,31	6,2	0,741
	24	70	0,7	0,34	6,23	0,745
	26	70	0,73	0,37	6,26	0,717
	26	70	0,76	0,4	6,29	0,718
	27	75	0,79	0,44	6,33	0,724
	27	80	0,82	0,47	6,36	0,741
	27	80	0,85	0,51	6,4	0,742
	27	80	0,88	0,54	6,43	0,742
	27	80	0,9	0,57	6,46	0,743

	28	85	0,93	0,61	6,5	0,746
	28	85	0,96	0,65	6,54	0,747
	30	90	1,07	0,81	6,71	0,74
	33	95	1,24	1,09	6,99	0,725
	33	95	1,41	1,4	7,3	0,729
	33	100	1,58	1,76	7,66	0,746
	35	105	1,75	2,16	8,06	0,743
	36	105	1,92	2,6	8,5	0,737
	38	110	2,09	3,1	9	0,736
	38	115	2,26	3,6	9,5	0,751
	41	125	2,43	4,18	10,09	0,752
	43	130	2,6	4,7	10,61	0,75
	45	135	2,77	5,4	11,31	0,75
	47	140	2,94	6,1	12,01	0,749
	47	145	3,11	6,8	12,71	0,763
	55	160	3,28	7,6	13,52	0,74
	58	190	3,45	8,4	14,32	0,769
	76	225	3,62	9,27	15,21	0,729
	86	310	3,79	10,1	16,05	0,774
	100	380	3,96	11,1	17,07	0,781
32,5	26	65	0,39	0,1	5,99	0,691
	27	65	0,41	0,12	6,01	0,676
	28	68	0,44	0,13	6,02	0,676
	29	68	0,47	0,15	6,04	0,662
	29	73	0,50	0,17	6,06	0,685
	30	77	0,53	0,19	6,09	0,689
	31	77	0,56	0,22	6,12	0,676
	32	82	0,59	0,24	6,14	0,684
	33	80	0,61	0,26	6,16	0,664
	34	85	0,64	0,29	6,19	0,672
	35	90	0,67	0,31	6,21	0,679
	36	88	0,7	0,34	6,24	0,661
	37	97	0,73	0,37	6,27	0,682
	37	93	0,76	0,4	6,30	0,669
	38	95	0,79	0,44	6,34	0,666
	38	97	0,82	0,47	6,37	0,673
	39	100	0,85	0,51	6,41	0,673

	40	100	0,88	0,54	6,45	0,664
	40	107	0,9	0,57	6,48	0,686
	40	107	0,93	0,61	6,52	0,686
	41	110	0,96	0,65	6,56	0,686
	43	115	1,07	0,81	6,72	0,684
	45	128	1,24	1,09	7,0	0,702
	48	130	1,41	1,4	7,31	0,686
	51	142	1,58	1,76	7,68	0,694
	53	153	1,75	2,16	8,08	0,706
	64	178	1,92	2,6	8,53	0,688
	74	225	2,09	3,1	9,04	0,71
	84	253	2,26	3,6	9,55	0,705
	99	320	2,43	4,18	10,14	0,722
	121	423	2,6	4,7	10,69	0,738
69,71	37	83	0,39	0,1	6,0	0,626
	39	87	0,41	0,12	6,02	0,62
	40	92	0,44	0,13	6,04	0,63
	41	95	0,47	0,15	6,06	0,631
	42	98	0,50	0,17	6,08	0,633
	43	103	0,53	0,19	6,10	0,641
	44	105	0,56	0,22	6,13	0,638
	46	110	0,59	0,24	6,15	0,637
	48	117	0,61	0,26	6,17	0,642
	50	125	0,64	0,29	6,21	0,649
	52	132	0,67	0,31	6,23	0,652
	55	138	0,7	0,34	6,26	0,646
	57	143	0,73	0,37	6,29	0,645
	57	148	0,76	0,4	6,32	0,657
	61	155	0,79	0,44	6,37	0,647
	64	165	0,82	0,47	6,40	0,65
	67	173	0,85	0,51	6,44	0,649
	70	182	0,88	0,54	6,48	0,65
	74	192	0,9	0,57	6,51	0,648
	74	200	0,93	0,61	6,55	0,662
	79	213	0,96	0,65	6,59	0,659
85	233	1,07	0,81	6,76	0,663	
97	277	1,24	1,09	7,05	0,674	

	125	353	1,41	1,4	7,39	0,666
94,85	45	93	0,39	0,1	6,01	0,58
	49	98	0,41	0,12	6,03	0,561
	51	105	0,44	0,13	6,05	0,571
	53	110	0,47	0,15	6,07	0,572
	58	123	0,50	0,17	6,09	0,577
	62	132	0,53	0,19	6,12	0,576
	65	140	0,562	0,22	6,15	0,579
	69	148	0,59	0,24	6,17	0,575
	71	158	0,61	0,26	6,20	0,589
	73	163	0,64	0,29	6,23	0,589
	77	173	0,67	0,31	6,25	0,59
	79	182	0,70	0,34	6,28	0,6
	86	198	0,73	0,37	6,32	0,597
	90	212	0,76	0,4	6,3	0,605
	95	225	0,79	0,44	6,40	0,605
	101	247	0,82	0,47	6,44	0,616
	107	262	0,85	0,51	6,48	0,615
113	282	0,88	0,54	6,52	0,622	
124	313	0,90	0,57	6,56	0,624	
138	352	0,93	0,61	6,61	0,626	
130,24	83	155	0,39	0,1	6,05	0,503
	91	182	0,41	0,12	6,08	0,532
	103	208	0,44	0,13	6,10	0,533
	111	223	0,47	0,15	6,13	0,529
	121	253	0,50	0,17	6,16	0,545
	136	280	0,53	0,19	6,19	0,535
	143	313	0,56	0,22	6,23	0,562
	148	332	0,59	0,24	6,25	0,572
	158	360	0,61	0,26	6,28	0,578
	171	397	0,64	0,29	6,33	0,584
	178	420	0,67	0,31	6,35	0,59

Таблиця 2. Вільний переріз $f=0,36$;

Щільність зрошування, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ L	Гідрравлічний опір, мм. $\Delta h_{\text{обц}}$	Висота піни, мм H	Швидкість газу, м/с w	$\Delta h_{\text{сyx}}$	Висота статичного стовпа рідини $\Delta h_{\text{ст}}$	Середній газозміст Φ
1	2	3	4	5	6	7
8,35	13	20	1,44	1,46	5,7	0,71
	15	50	1,83	2,37	6,8	0,86
	19	90	2,09	3,09	10,0	0,89
	21	120	2,35	3,9	12,2	0,9
	23	150	2,75	5,35	11,8	0,92
	25	170	3,14	6,98	12,1	0,93
	27	190	3,53	8,82	12,3	0,93
	40	210	3,63	9,3	24,8	0,88
13,5	9	5	0,56	0,22	2,9	0,42
	11	10	0,74	0,39	4,7	0,53
	11	16	0,92	0,6	4,5	0,72
	13	20	1,1	0,85	6,3	0,68
	16	30	1,2	1,01	9,1	0,7
	17	50	1,44	1,47	9,7	0,81
	19	90	1,83	2,37	10,8	0,88
	21	120	2,09	3,09	12,0	0,9
	23	140	2,35	3,9	14,2	0,9
	25	160	2,75	5,35	13,8	0,91
	29	180	3,14	6,98	16,1	0,91
	48	210	3,53	8,8	34,3	0,84
	62	270	3,63	9,3	46,8	0,83
	11	20	0,2	0,03	5,1	0,74
	19	50	0,38	0,1	13,0	0,74
	19	60	0,56	0,22	12,9	0,78
	21	70	0,74	0,39	14,7	0,79

32,46	21	80	0,92	0,6	14,5	0,82
	21	90	1,1	0,85	14,3	0,84
	23	60	1,2	1,01	16,1	0,73
	23	70	1,44	1,46	15,7	0,77
	25	90	1,83	2,37	16,8	0,81
	25	110	2,09	3,09	16,0	0,85
	31	130	2,35	3,9	22,2	0,83
	31	160	2,75	5,35	19,8	0,88
	71	250	3,14	6,98	58,1	0,77
	110	350	3,53	8,8	96,3	0,72
51,18	21	50	0,2	0,03	15,1	0,7
	23	60	0,38	0,1	17,0	0,72
	23	70	0,56	0,22	16,9	0,76
	25	80	0,74	0,39	18,7	0,77
	27	90	0,92	0,6	20,5	0,77
	27	100	1,1	0,85	20,3	0,8
	27	80	1,2	1,01	20,1	0,75
	27	100	1,44	1,46	19,7	0,8
	29	120	1,83	2,37	20,8	0,98
	33	140	2,09	3,09	24,0	0,83
	51	210	2,35	3,9	42,2	0,8
	80	300	2,75	5,35	68,8	0,77
68,71	21	50	0,2	0,03	15,1	0,7
	23	60	0,38	0,1	17,0	0,72
	23	70	0,56	0,22	16,9	0,76
	25	80	0,74	0,39	18,7	0,77
	27	90	0,92	0,6	20,5	0,77
	27	110	1,1	0,85	20,3	0,81
	29	100	1,2	1,01	22,1	0,78
	29	120	1,27	1,14	22,0	0,82
	31	140	1,44	1,46	23,7	0,83
	35	160	1,64	1,9	27,2	0,83
	37	180	1,83	2,37	28,8	0,84
	39	200	1,96	2,71	30,4	0,85
	61	240	2,09	3,1	52,0	0,78
	80	350	2,22	3,48	70,6	0,8
	25	50	0,2	0,02	19,1	0,62

82,28	25	60	0,29	0,06	19,1	0,68
	27	70	0,38	0,1	21,0	0,7
	27	80	0,47	0,15	21,0	0,74
	29	90	0,56	0,22	22,9	0,74
	29	100	0,65	0,3	22,8	0,77
	31	110	0,74	0,38	24,7	0,77
	33	120	0,83	0,48	26,6	0,78
	35	130	0,92	0,6	28,5	0,78
	35	140	1,01	0,72	28,4	0,8
	39	150	1,1	0,85	32,3	0,78
	29	120	1,2	1,01	22,1	0,81
	31	140	1,27	1,14	24,0	0,83
	39	170	1,44	1,46	31,7	0,81
	41	180	1,64	1,9	33,2	0,81
41	200	1,83	2,37	12,8	0,94	
94,85	31	60	0,2	0,02	25,1	0,58
	31	70	0,29	0,06	25,1	0,64
	31	80	0,38	0,1	25,0	0,69
	33	80	0,47	0,15	27,0	0,91
	35	90	0,56	0,22	28,9	0,68
	37	100	0,65	0,3	30,8	0,69
	39	110	0,74	0,38	32,7	0,7
	41	130	0,83	0,48	34,6	0,73
	45	140	0,92	0,6	38,5	0,72
	49	160	1,01	0,72	42,4	0,73
	57	170	1,1	0,85	50,3	0,7
	61	190	1,2	1,01	54,1	0,71
	71	300	1,27	1,14	64,0	0,79
	90	350	1,44	1,46	82,7	0,76

На рис. 21 наведено графік залежності середнього газовмісту в залежності від навантажень по газу і рідині для тарілки провального типу з вільним перерізом $f = 0,3$, а на рис. 22 наведено графік залежності середнього газовмісту в залежності від навантажень по газу і рідині для тарілки провального типу з вільним перерізом $f = 0,36$.

Також з графіків видно, що середній газоміст збільшується зі збільшенням вільного перерізу тарілок провального типу для всіх навантажень по газу та рідині.

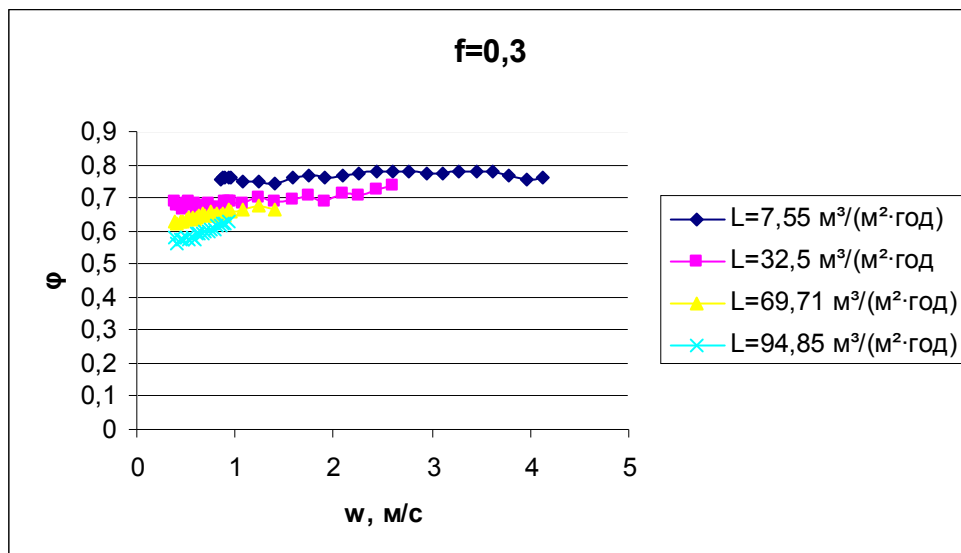


Рис. 21. Залежність $\varphi = f(w)$ для тарілки з вільним перерізом $f = 0,3$ для різних щільностей зрошування

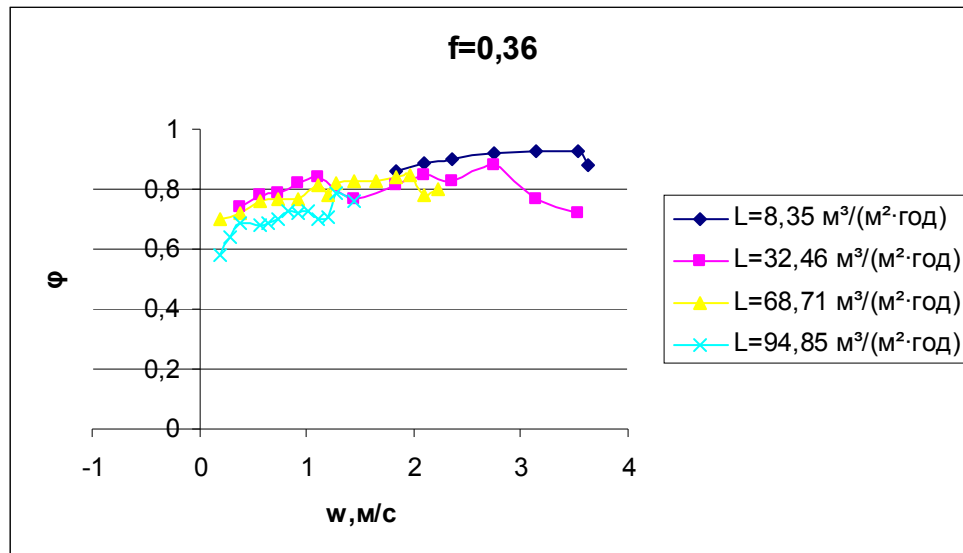


Рис. 22. Залежність $\varphi = f(w)$ для тарілки з вільним перерізом $f = 0,36$ для різних щільностей зрошування

З графіків видно, що середній газовміст на тарілках провального типу з великим вільним перерізом практично не залежить від швидкості газу в перерізі колонний. Це свідчить про те, що на таких тарілках існує тільки режим рухомого газорідного шару для всіх щільностей зрошування.

4. Техніка безпеки при роботі в лабораторії.

1. Вимоги безпеки під час виконання експериментів.

У лабораторіях кафедри устаткування хімічних підприємств

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. включати і вимикати випробувальне устаткування без дозволу викладача або інженера кафедри;
2. торкатися до струмопровідних частин установок, електроприводів, електропроводів і кабелів;
3. торкатися до рухомих частин випробувальних машин і лабораторних установок;
4. відгвинчувати, загвинчувати вентилі, рукоятки, маховики, сигнальні лампи, електрозапобіжники лабораторного устаткування;
5. збірка і розбирання установок, що знаходяться під електронапругою;
6. залишати працюючі (включені) установки без нагляду;
7. знаходитися в лабораторіях у верхньому одязі, складати верхній одяг на лабораторному устаткуванні;
8. захарашувати проходи між лабораторними установками особистими речами (портфелями, сумками);
9. знімати захищаючі кожухи деталей або електричних пускорегулюючих пристроїв, що обертаються.
10. у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

1. перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;
2. перевірити з'єднання електроустаткування з контуром захисного заземлення /занулення/, його справність, полягання інструменту,

автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння;

3. при експлуатації електроустаткування необхідно суворо керуватися правилами, висловленими в техпаспорті;
4. при виявленні несправностей електроустаткування, приладів, стендів, захисного заземлення негайно повідомити про це зав. кафедрою або зав. лабораторією.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

1. студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;
2. відключення від мережі проводити, тільки узявшись за роз'єм, вилку або фішку щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку /опіку/;
3. забороняється виймати штепсельні роз'єми, вилки, фішки, узявшись за дріт;
4. забороняється працювати на електроустаткуванні у вологому одязі, вологими руками;
5. забороняється залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електроустаткування;
6. забороняється підключати декілька споживачів електричної енергії до однієї штепсельної розетки щоб уникнути перевантаження електричної мережі і виникнення загоряння;
7. забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками". Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що калібруються;
8. забороняється захарашувати підступи до електричних пристроїв, шафам, автоматичним вимикачам, розеткам, а також відкривати їх;

9. при раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і важілі повинні бути негайно вимкнені;
10. не допускається залишати неізолюваними оголені дроти, перенавантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками, вимикачами;
11. роботи по ремонту апаратури і проведення експериментів на відкритих схемах з небезпечною для життя напругою виконувати тільки удвох;
12. робоче місце тримати в сухому і чистому стані;
13. 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;
14. приступати до роботи дозволяється тільки після усунення помічених несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів і стендів.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. після закінчення роботи вимкнути електроприлади, відключити від мережі лабораторні стенди;
2. вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 V, що використовуються;
3. один раз в квартал проводити очищення від пилу і бруду за допомогою пилососа або щітки вузлів персональних комп'ютерів;
4. забороняється проводити очищення від пилу і бруду включене в мережу електроустаткування;
5. після закінчення роботи зняти спецодяг і помістити його в спеціально відведене місце;
6. при відході з приміщення необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії;

7. привести в порядок робоче місце;
8. здати ключі від лабораторії на вахту.

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

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

2. ураження електричним струмом;
3. займання горючих матеріалів.

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

При пожежі:

4. негайно знеструмити все електроустаткування загальним автоматичним вимикачем;
5. негайно евакуювати в безпечне місце людей; повідомити про пожежу по тел.101; 112; (06452) 4-34-17 в пожежну команду;
6. розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
7. негайно повідомити про те, що відбулося безпосереднього керівника;
8. 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.

Висновки та рекомендації

За результатами роботи можна зробити висновки:

- тарілки провального типу з великим вільним перерізом відрізняються тим, що газорідний шар на тарілці утворюється за умови, що суцільною фазою в ньому є газова фаза, в якій розподіляється рідка фаза у вигляді крапель та плівок рідини;
- таким чином на масообмінній тарілці існує тільки режим рухомого газорідного шару;
- середній газовміст на тарілці з великим вільним перерізом практично не залежить від швидкості газу, що розрахована на повний переріз колони;
- середній газовміст збільшується зі збільшенням вільного перерізу тарілок провального типу для всіх навантажень по газу та рідині.
- навіть при великих щільностях зрошення газовміст на тарілках з великим вільним перерізом не досягає величини $\varphi > 0,6$.

Література

1. Тараненко Г. В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий: монография. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 174 с.
2. Мухленов И.П., Тарат Э.Я., Туболкин А.Ф., Тумаркина Е.С. Пенный режим и пенные аппараты: монография. – Л. Химия, 1977. – 304 с.
3. Тараненко Г.В. Диссертация. ГИАП, 1984.
4. Тарат Э. Я. О гидравлическом сопротивлении «провальных» решеток при пенном режиме / Тарат Э. Я., Вальберг А. Ю. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8. - С. 1706 – 1711.
5. Вальберг А. Ю. К вопросу о предельных параметрах пенного режима в аппаратах с полным протеканием жидкости через отверстия решеток / Вальберг А. Ю., Тарат Э. Я. – Журнал прикладной химии. - 1970. - Т. 43, №8. - С. 1712 – 1715.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.