

Зміст

Скорочення та умовні позначки	
Вступ	
1 Аналітичний огляд	
1.1 Опис тарілки провального типу	
2. Застосування тарілок провального типу .	
3. Принцип роботи провальних тарілок	
3.1 Режими роботи тарілок провального типу	
3.2 Результати досліджень меж роботи тарілок провального типу	
4 Розрахунок режимів роботи тарілок	
5 Теорія масштабного ефекту	
6 Опис експериментальних установок для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колонами $D = 0,057$ м та $D = 0,25$ м	
6.1 Опис експериментальної установки з колоною $D = 0,057$ м	
6.2 Схема лабораторної установки	
6.3 Експериментальне дослідження	
6.4 Опис установки експериментальної з колоною $D = 0,25$ м	
6.5 Схема лабораторної установки	
6.6 Експериментальне дослідження	
6.7 Пуск колони	
6.8 Зупинка колони	
7 Експериментальні дані	
8 Розрахунок основних параметрів роботи колони	
8.1 Визначення флегмового числа	
8.2 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз	
8.3 Визначення основних геометричних параметрів колони	
9 Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0,5$ м .	
10 Опис суміші, вибір матеріалу колони для заданої суміші	
11 Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0,057$ м	
Техніка безпеки	
Висновки	
Перелік джерел посилання	

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

g – прискорення сили тяжіння, м/сек²

F_c – живе перетин, м²/м²

a – ширина щілини, м

γ_z і $\gamma_{ж}$ – питома вага відповідно газу і рідини, кг/м³

$\mu_{ж}$ – в'язкість рідини, спз

D – діаметр колони, м

ω – швидкість пара для повного перерізу колони в точці Е, м/сек²

γ_z і γ_p – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

d_e – еквівалентний діаметр щілини (отвору в тарілці), м;

F_c – вільний переріз тарілки, м²/м²;

μ_p – густина рідини, сп;

μ_v – густина води при 20°, сп.

G_f – кількість флегми, кг/год;

G_f – кількість вихідної суміши, кг/год;

G_n – кількість рідини, що проходить крізь низ колони, кг/год;

$\rho_{рід}$ і ρ_n – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

d_0 – діаметр отворів в тарілці, м;

f – вільний переріз тарілки, м²/м²;

$\mu_{рід}$ – в'язкість рідини, Па·с;

μ_v – в'язкість води при 20°, Па·с;

V – витрата пари, м³/с;

L – щільність зрошення, м³/(м²год);

S – площа колони, м²

D – внутрішній діаметр колони, м;

S_0 – площа отвору, м²;

N – кількість отворів, шт;

Вступ

Тарілки провального типу широко використовуються в хімічній, нафтохімічній та харчовій промисловості. [1 - 6]

Тарілки такого типу прості в конструкції, легкі у виготовленні, мають низьку металеву ємність, що дозволяє знизити витрати на їх виготовлення. Вони зручні у використанні.

Вони повинні використовуватися в промисловості із забрудненими середовищами. Це пов'язано з тим, що в пристроях можуть бути використані крупно-дірчасті тарілки з діаметром отворів до 120 мм, що дозволяє усунути проблему з можливим забрудненням отворів.

Недоліками тарілчастого типу є вузький діапазон їх роботи, але цей недолік можна усунути, шляхом точного методу розрахунку.

Вирішення цієї проблеми присвячено ця робота.

Розглянемо коротко дану суміш у роботі, її складові та властивості.

1 Аналітичний огляд

1.1 Опис тарілки провального типу

У колонках з провальними тарілками переливні труби, внаслідок чого газ з рідиною проходить через ті ж отвори (рис. 1). На тарілці, одночасно з взаємодією рідини і газу з барботажем, відбувається зливання частини рідини в нижню розташовану пластину - так би мовити, "збій" рідини.

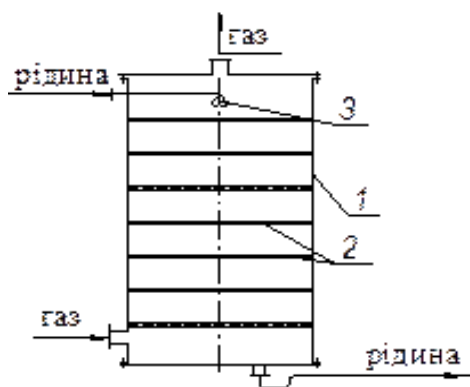


Рисунок 1 - Тарілчаста колона без зливних пристроїв

Тому тарілки такого типу зазвичай називають провальними. До них відносяться ґратчасті, трубчасті, дирчаті і хвилясті пластини.

Гідродинамічні режими провальних тарілок (рис. 2) можуть бути встановлені на основі залежності їх гідравлічного опору від швидкості газу при постійній густині щільності.

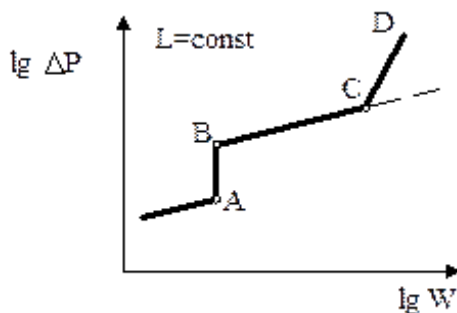


Рисунок 2 - Залежність гідравлічного опору провальної тарілки від швидкості газу в колоні

Для малих значень швидкості газу рідина на тарілках не затримується; це видно на сегменті АВ, оскільки сила тертя між фазами незначна. При збільшенні швидкості газу рідина починає накопичуватися на тарільці, як видно на інтервалі ВС, і газ барботує через рідину. У інтервалі швидкостей газу, які відповідають інтервалу ВК, тарілка працює в нормальному режимі. При цьому газ і рідина поперемінно проходять через самі отвори. Якщо швидкість газу зростає ще більше, внаслідок підвищеного тертя між газом і рідиною, накопичення рідини на тарільці різко зростає, і в результаті - його гідравлічний опір, що призводить до стану захлиання, про це можна побачити на інтервалі СД. Для невеликих кількостей рідини, великого вільного перетину тарілки і діаметра отворів або щілин, руйнування в точці З не відбувається.

Слід зазначити, що перехід від одного режиму до іншого відбувається поступово. Загальні методи розрахунку меж гідродинамічних режимів - відсутні критичні точки для тарілок барботажних відсутні. Тому під час конструювання тарільчастих пристроїв, в результаті розрахунку, визначають швидкість газу, що відповідає нижніх і верхніх меж роботи тарілки і потім вибирають робочу швидкість газу.

Провальні дирчасті тарілки (рис. 3) дуже схожі на сітчасті панелі і відрізняються від них за відсутності переливних труб.



Рисунок 3 - Провальні тарілки: а- дирчасті;б- решітчасті;1- тарілка;2- отвори; 3- щілини

Решітчасті та дірчасті провальні тарілки відрізняються простотою конструкції, низькою вартістю монтажу та виготовлення, а також відносно малим гідравлічним опором.

Переваги трубчастих провальних тарілок полягають в простоті видалення тепла з шару барботажу на тарілки за рахунок проходження охолоджуючого агента трубами, з яких формується тарілка. Однак ці тарілки в порівнянні з решітковими і дірчатими тарілками - набагато складніші за установкою і конструкцією.

У більш широкому діапазоні навантажень працює провальні хвилясті тарілки. Проте ці тарілки є більш складними, ніж тарілки дірчасті та решітчасті, для установки та конструювання.

Основним недоліком колони з решітчастою, дірчастими та трубчастою провального типу тарілками є невеликий інтервал змін швидкостей газу і рідини, в межах якого зберігається стабільна і ефективна робота тарілок.

У зв'язку з тим, у провальних тарілок немає переливів - ці тарілки простіше, ніж інші типи тарілок.

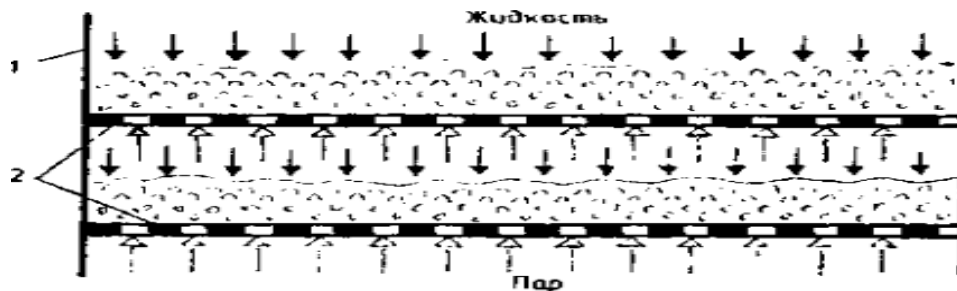


Рисунок 4 - Схема роботи тарілки провального типу

Колони обладнані тарілками провального типу без переливних пристроїв, які мають ряд переваг у порівнянні з колонами, в яких встановлені тарілки інших типів: більш висока продуктивність, більш міцна робота в разі зміни навантажень в широких межах, більш висока ефективність поділу, відносно низька вартість встановлення та виготовлення, зниження експлуатаційних витрат.

Тарілки провального типу не мають спеціальних переливних пристроїв,

рідина протікає з тарілки до іншої тарілки через ті ж отвори, через які проходить газ або пара. При нормальному функціонуванні тарілок точки проходу рідини і барботування газу або пари рівномірно розподіляються по всій ділянці тарілок. Здібність стійкої роботи тарілок, чутливість до коливань навантаження, а також забруднення і опади, які швидко засмічують отвори тарілок, відповідають такому навантаженню пара і рідини, в яких здійснюється найбільш інтенсивний контакт і висока ефективність поділу.

Відмінною особливістю цих тарілок є схема протитоку, через яку іде інтенсивне перемішування рідини та проходить по всій висоті контактної зони. Газ (пара) і рідина проходять крізь ті ж отвори або зазори, причому місце, де рідина стікає і проходить пари, хаотично рухається по всій площі тарілки, в результаті чого на настає дисперсна система, на тарільці якої з'являється дисперсна система, на коротке впливає ряд факторів: лінійна швидкість газу або пари, геометричні розміри тарілок, а також фізичні властивості фаз.

Тарілки являє собою плоский лист товщиною 2,5-6 мм, який складається з окремих секцій, які посилені на опорному кільці і балках рами, що охоплюють всю колону в розрізі. Отвори в тарілках виконуються штампуванням або фрезеруванням, площа якого становить від 10 до 30% площі всієї провальної тарілки. Відстань між тарілками приймається від 300 до 600 мм. Зцільного листа виготовляються тарілки у котрих діаметр становить до 800 мм. Тарілки з великим діаметром виготовляються з секцій, ширина яких приймається так, щоб установка пластин здійснюється через люк.

2 Застосування тарілок провального типу

Тарілки провального типу застосовуються в різних виробництвах, наприклад у виробництвах соди, мокрої очистки газів від пилу, а також у коксовій промисловості. Вони є простими у виготовленні та надійними в експлуатації.

Гратчасті тарілки з невеликими діаметрами щілин мають деякі недоліки. До цих недоліків можна віднести можливість забивання щілин, недостатньо стійка робота поза оптимальних режимів.

Дірчасті тарілки з переливом працюють в порівняно широкому діапазоні навантажень, що дозволяє проводити процес ректифікації, починаючи з 50 - 60% від номінального навантаження.

Дірчасті тарілки рекомендовані до застосування з ромбічною розміткою центрів отворів, такій же, як у апаратах з переливами. Дірчасті тарілки є аналогічними за влаштуванням сітчастих тарілок і відрізняються від них лише відсутністю зливних пристроїв.

Випробувані дірчасті тарілки з живим перетином 7,6 – 22,5% (діаметр отворів 3,5 – 5,3 мм) і трубчасті тарілки. Трубчасті тарілки виявилися менш ефективними.

Дуже перспективними, а також цікавими є так звані гратчасті та дірчасті тарілки. Ці тарілки відрізняються від ковпачкових, сітчатих або пінних тарілок відсутністю переливних пристроїв.

Певну роль відіграє також і вільний перетин тарілки, її товщина, форма і порядок розміщення отворів на тарілці - у деяких умовах решітки щілинного типу пропускають менше рідини, ніж дірчасті тарілки.

Дірчаста тарілка з протитоком. При застосуванні отворів великого діаметру якісно змінюється робота дірчастих протиточних елементів у порівнянні з роботою звичайних одноківпачкових тарілок. Також можна зазначити, що дірчасті тарілки за своїми показниками відрізняються від прийнятих в промисловості сітчатих тарілок (діаметр отворів яких складає від 1 до 20 мм) і від протиточних гратчастих тарілок.

Гратчасті протиточні тарілки працюють в широкому діапазоні навантажень,

від 40-50% від номінального навантаження, в режимі аерації (емульгування) або за загальною класифікацією - в режимі піни (режим вільної турбулентності).

На цих тарілках утворюється високо турбулентна система випарів, що випаровуються газом, і струменів з чітко визначеною верхньою межею; вище розташована зона розпилення і викиди піни.

Приміром на заводах синтетичного каучуку, була проведена заміна тунельних ковпачкових тарілок на гратчасті з шириною щілини 4 мм. Живий перетин в одній колоні було взято 16,5%, в іншій 13,4% при тому ж числі тарілок, що було до реконструкції. В результаті заміни тарілок продуктивність їх зросла в 2,25—2,5 рази при однаковій чіткості поділу.

Значна кількість рідини, що утримується за допомогою барботажу тарілок, що призводить до необхідності збільшення маси колони з урахуванням умов міцності, а також призводить до побудови потужних фундаментів і ускладнює процес управління колонами і проведенням підготовчих робіт операції перед очищенням і ремонтом. Для виключення забивання щілин застосовують грубо занурені тарілки. Щоб уникнути засмічення дірок, застосовують крупнощілинні тарілки.

При поглинанні аміаку і діоксиду вуглецю з газів содового виробництва в попередні роки було розроблено поглинання протиточних трубно-решіткових і решіткових контактних елементів для поглинання аміаку і діоксиду вуглецю. Верхня частина абсорбера забезпечена чотирма протivotочними сітчастими тарілками з вільним перетином 0,15-0,25 м² / м² (15-25% вільного перерізу) і однією типовою розподільчою тарілкою, призначеною для рівномірного розподілу рідини по всій перетину апарата.

На протилежній решітці [8], встановленої ТДС, входять секції, котрі легко знімаються зі стандартними прорізами 110 × 15 мм, а вільне перетинання тарілок протитоку, встановлених в дистиляційному теплообміннику, становить 0,25-0,4 м² / м².

Інтенсифікація процесу на гранчастих протivotочних решітчастих тарілках

у порівнянні з процесом за загальноприйнятою в содовій промисловості багатошарових елементів досягається за рахунок збільшення обсягу контактної поверхні шару додаткового розвитку контактної поверхні газу, а також додаткової турбулізації міжфазної поверхні внаслідок збільшення швидкостей потоку фаз

При високих навантаженнях струменів, що витікають з тарілки, вони також набувають пінисто-вихровий характер. Особливістю газової колби на тарілках ТДС є особлива бульбашкова структура, яка чітко видна у плівках і струменях по відношенню до світлої рідини, тобто рідина просочується малими (0,5-0,3 мм) бульбашками газу, що відрізняє ці системи від води і повітря. У зв'язку з цим таку систему газопарожидкостную можна назвати турбулентною піною з бульбашковою структурою. Бульбашки утворюються, десорбуруемими газами; швидкість переміщення цих бульбашок в рідині набагато нижче швидкості потоку пари та газу в шарі турбулентної піни. Наявність такої внутрішньої бульбашкової структури і викликає аномалії, що спостерігаються в гідродинаміці парогазових систем аміачно-содового процесу порівняно з системами, що не містять десорбованих газів. Режим турбулентної піни ТДС виникав в момент утворення шару газопарожидкостного на контактному пристрої при швидкості потоку парогазу у вільному перерізі апарату близько 0,6-1,0 м / с. При швидкостях газу 3,5-5,0 м / с турбулентний режим піни змінюється з режимом пульсації або режимом "накопичення скидання". Слід зазначити, що висота шару піни на тарілках зазвичай не перевищує 200-300 мм, викиди піни досягають 500-600 мм.

Випробування описаних тарілок в умовах дистиллера не дали позитивних результатів, так як щілини порівняно швидко заростали гіпсовою кіркою. Тому в дистиллері були застосовані дірчасті протиточні контактні елементи.

Конструкція дірчастою тарілки подібна до конструкції гратчастої тарілки (їх знімні секції взаємозамінні). Відмінність полягає у формі отворів.

Дірчата тарілка забезпечена отворами діаметром 90-140 мм і має вільний переріз $0,2-0,4\text{ м}^2$

Зниження навантаження на 30% або більше від номінального може

призвести до збільшення питомої витрати пари для процесу десорбції. Висота шару піни на тарільці досягає 650-750 мм. Рідина, що виходить з отвору тарільці, менш прогазована, ніж парогазово-рідинна система на тарільці.

Використання отворів великого діаметра якісно змінює роботу отворів протиточних елементів у порівнянні з роботою звичайних одноковпачкових тарілок. Слід зазначити, що тарілки дірчасті відрізняються за своїми характеристиками від тих, що приймаються в промислових сітчасті тарілки (з отворами діаметром від 1 до 20 мм) і від ґратчатих протиточних тарілок.

Позитивні результати отримані при використанні ТДС і ґратчастої, і дірчастою тарілки. Зверху вниз в апараті встановлюють від двох до восьми ґратчастих тарілок, а далі дірчасті. Число дірчастих тарілок внизу апарата встановлюють залежно від очікуваного бризгоуноса із змішувача або дистиллера.

При проведенні десорбції на противоточних дірчастих тарілках виявлені наступні особливості:

сток рідини здійснюється в режимі, коли кожний 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 аксіальний сток рідини, (рідина стікає як би в газовій сорочці). Периферійне русі газу перешкоджає відкладенню інкрустацій на кромках отворів. Дірчата противоточна тарілка може працювати без чистки в 2-2,5 рази довше, ніж одноковпачкова тарілка. Особливість дірчастою (як і щілинний) тарілки є простота у виготовленні, при монтажі і експлуатації.

У нижній частині ТДС встановлюють не менше двох дірчастих противоточних контактних елементів, хоча є дані про тривалій експлуатації ТДС з усіма щілинними тарілками.

В содової промисловості в тривалій експлуатації знаходилися наступні дистилляційні колони з противоточними контактними елементами: діаметром 2,4 м з 11 дирчатими тарілками з вільним перетином 25% в дистиллері і з 12 щілинними тарілками і вільним перетином 37% в ТДС. Робочі навантаження 80-

140 м³/год фільтрової рідини; діаметром дистиллера 3,0 м, ТДС – 3,2 м з 15 дирчатими контактними елементами і вільним перетином 30% в дистиллері і з 10 щілинними тарілками і вільним перетином 37% в ТДС. Робочі навантаження 160-220 м³/год;

діаметром 3,0/3,2 м з 15 дирчатими контактними елементами в дистиллері з вільним перетином 30% і з 8 дирчатими контактними елементами ТДС і вільним перетином 25%, а також з двома щілинними тарілками і вільним перетином 37% у верхній частині ТДС. Робочі навантаження 160-220 м³/год;

Поряд з перевагами колон (підвищення питомої продуктивності в 1,3-1,7 рази, надзвичайна простота конструкції тарілки, збільшення пробігу між чистками, малий опір колони, порівняльна легкість чищення від інкрустацій і т. д.) є наступні недоліки:

при оснащенні ТДС тільки щілинними тарілками іноді спостерігаються підвищення втрати діоксиду вуглецю;

якщо з дистиллера погано евакуюється суспензія (тобто апарат працює під затокою), порушується процес десорбції і різко збільшуються втрати аміаку.

При оптимізаційному розрахунку, проведеному з метою економії пари, встановлено, що доцільно встановлювати в дистиллері 18 контактних дірчастих елементів. Практика показала, що в ДС можна встановлювати 15 тарілок при тій же висоті апарату для створення додаткового сепараційного простору. У цьому разі скорочення брызгоуноса компенсує деяку втрату пара.

Для зазначеної продуктивності дистиллер проектується з внутрішнім діаметром 3,0 м, висотою 21,7 і складається з царг, виконаних з чавуну. Товщина стінок царг 40 мм, загальна кількість царг – 22; мітарілчаста відстань 500 мм, висота царги-бази 500 мм. В апараті встановлено 18 дірчастих противоточних тарілок. Між шостою і сьомою тарілками встановлюють відстань 800 мм з метою зниження поздовжнього перемішування в апараті.

Верхні три тарілки дистиллера мають вільний перетин 37-40%, решта – 30%. Тарілки встановлені у фланцевих роз'ємах царг з ущільненням гумою.

3 Принцип роботи провальних тарілок

3.1 Режими роботи тарілок провального типу

Важливою характеристикою роботи провальних тарілок є діапазон їх стійкої роботи. Завдяки цій характеристиці режими роботи тарілок типу провальних виникають, коли пов'язана збільшення швидкості газу (пари) в перерізі колони в одній і тій же щільності поливу.

У роботі [2] ці режими показані на графіку залежності гідравлічного опору тарілок типу провальних від швидкості газу (пари) в перерізі колони і визначаються наступним чином:

- режим змочення тарілки (I) існує при низьких швидкостях пара (газу). Контакт між парою і рідиною відбувається на поверхні, що тече з тарілок крапель і струменів рідини. Цей режим не працює;

- режим барботажу (II) спостерігається при збільшенні швидкості пари. На тарілці є шар легкої рідини, через який проходять барботує пари і шар піни. При подальшому збільшенні швидкості пари зменшується висота шару легкої рідини, але збільшується висота шару піни;

- Режим емульгування або аерації (III) характеризується тим, що шар легкої рідини практично повністю зникає. Харчування виявляється сильно турбулізованим шаром піни. Режим цей такий, як і режим (II), він працює;

- хвильовий режим (IV) спостерігається при подальшому збільшенні швидкості пари. Рідина і піна на тарілках провального типу надходять у рух подібний хвилям;

Зі збільшенням швидкості пари настає “захлиння”, коли рідина і піна не витікають з тарілки, а викидаються на тарілку котра вище.

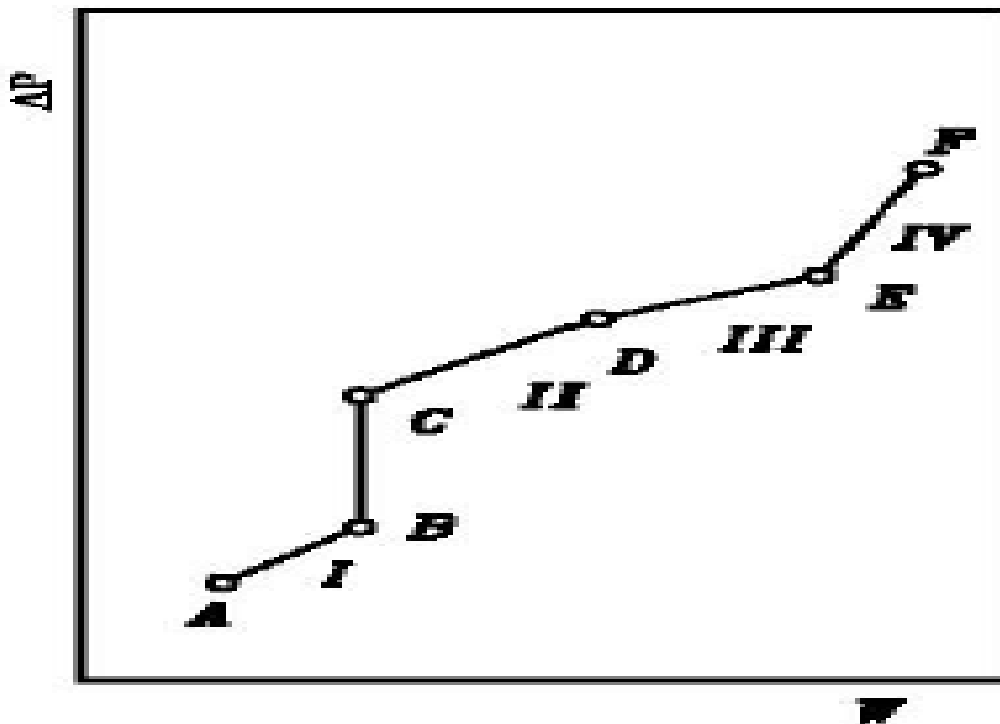


Рисунок 5 - Графік залежності опору тарілок провального типу від швидкості пари: I – IV – гідродинамічні режими роботи.

Точки В, С, D, Е являють собою моменти переходу від одного режиму до іншого. Точка Е визначає максимальну допустиму швидкість пара в колоні.

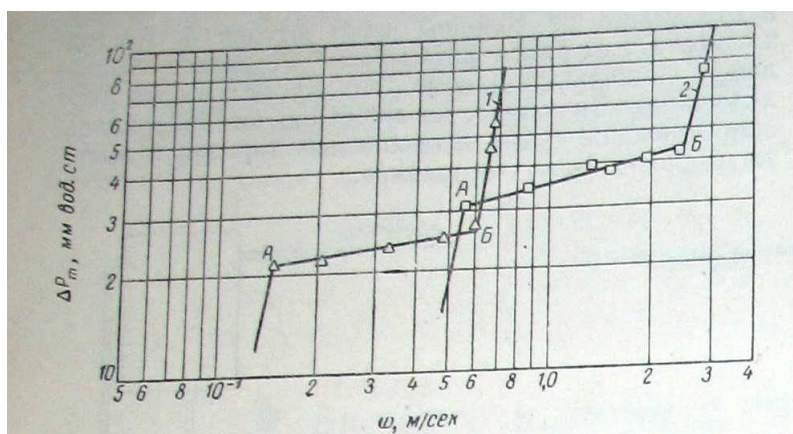


Рисунок 6 - Залежність гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу ω в перерізі колоні:

(1 – тарілка решітчаста (діаметр колоні 0,24 м, вільний перетин 15%, еквівалентний діаметр щілин 0,006 м, ширина щілини 0,003 м) система: вода – повітря, $L = 10800$ кг/(м²•год); 2 – тарілка дирчата (діаметр колоні 0,075 м, вільний перетин 30%, еквівалентний діаметр щілин 0,0046 м $L = 18000$ кг/(м²•год).)

У роботі [9] наведено графік (рис. 3.1) залежності гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу в перерізі колони. На діаграмах критичні точки А і В характеризуються гідродинамічними режимами типу провальних тарілок.

У роботі зазначається, що при незначних швидкостях газу до моменту, що відповідає точці А ($L = \text{const}$), рідина на тарільці не затримується. Зі збільшенням швидкості газу (точка А і вище) спостерігається накопичення рідини і видно шар, через який газ барботує бульбашками. При подальшому збільшенні швидкості газу (від точки А до точки В) шар рідини на тарільці провального типу зменшується, а розмір шару піни збільшується. При збільшенні швидкості вище точки

В

відбувається

захлебіваніє колони. Автори роботи зазначають, що іноді (як правило, на тарілках з великим вільним перетином) перелом прямої в точці В не з'являється. Однак при швидкостях, що перевищують точку, відбувається формування нового гідродинамічного режиму, званого ежекційним або струменя . Цей режим характеризується тим, що газові струмені пробивають шар рідини на тарільці без розсіювання в ньому, а піна, що утворилася раніше, обрушується і рідина знаходиться в стані великого розпилення і струменів.

В роботі [10] вказується на необхідність визначення меж швидкості газу в перерізі колони, при яких на тарільці провального типу буде існувати пінний режим. Відзначається, що отримана раніше залежність для визначення початку хвильового режиму на ґратчастих тарілках виявилася неприйнятною, так як вона була отримана в апаратах малого діаметра (0,057 і 0,114 м), і тому перебуває під сильним впливом діаметра апарату, із збільшенням якого дуже значно зростає гранично допустима швидкість газу для пінного режиму вкр.

У роботі аналізується механізм переходу від пінного режиму до хвильовому режиму наступним чином. При певній швидкості газу w_T і постійної щільності зрошення настає перехідний між пінним і хвильовим,

режим, при якому збільшення IH з зростанням w_T практично дорівнює

нулю. Очевидно, що при пінному режимі із збільшенням $w\tau$, частка вільного перетину тарілки $(1 - \tau)$ зайнята газом зростає. При незмінній кількості рідини, що підводиться до тарілки, і зниження частки отворів τ , через які відбувається провал рідини, природно повинна збільшитися швидкість витікання рідини w_i . В іншому випадку повинен був би інтенсивно зростати шар піни на тарілці, що в цей період (перехід від пінного режиму до хвильовому режиму) не спостерігається. Збільшення ж w_i можливо тільки з ростом гребенів хвиль на поверхні шару піни, висота яких Δh викликає витікання рідини. Із збільшенням Δh відбувається уменшення слоя рідини, який затримується на тарілці h_0 . У певний момент збільшення Δh досягає таких розмірів, що починається розгойдування рідини на тарілці, стає вже очевидним хвильовий режим. Величина h_0 досягає при цьому мінімальних значень, тому можливі струменеві прориви газу, збільшується брызгонос, можливо і зниження ефективності пиловловлення. На нестійкий характер перехідного режиму вказують наступні спостереження при експериментах. При $w\tau > 2,0$ м/с, із зростанням швидкості газу іноді спостерігалось збільшення ІН, що супроводжується закономірним збільшенням шару піни на тарілці, як раптом несподівано без будь-яких змін $w\tau$ і щільності зрошення шар піни зменшувався. Значення ІН падало, виникав яскраво виражений хвильовий режим (рідина починала підкидуватися над тарілкою, а в окремих ділянках тарілка практично оголювалася). Подібна ж картина спостерігалася і у зворотному порядку, при зменшенні $w\tau$ при хвильовому режимі. Очевидно, причина цих явищ у накладенні коливачь, що мають місце в шарі піни.

Якщо продовжити розгляд гідродинамічного процесу на тарілці з зростанням $w\tau$, то, очевидно, в подальшому зменшення τ вже не може компенсуватися збільшенням w , починається різке збільшення шару рідини на тарілці і ІН, в кінці кінців приводить до захлинання.

В роботі [10] опубліковані результати гідравлічних досліджень тарілки провального типу з вільним перетином $f = 20,7\%$, ширина щілини становила

$a = 0,00316$ м, товщина тарілки – $\delta = 0,002$ м. Тарілка була встановлена в колоні діаметром $D = 0,114$ м.

Автори роботи [11], розглядаючи режими роботи тарілок провального типу, вказують на відмінність роботи тарілок провального типу з невеликим вільним перетином і з великим вільним перетином ($f \geq 30\%$). Вони пишуть, що на тарілках з великим вільним перетином не можна простежити зміну гідродинамічних режимів із зростанням швидкості газу. Практично аж до точки захлебывання на них утворюється невисокий газорідинний шар з тонкими постійно розриваючимися плівками рідини.

Характерним для роботи подібних тарілок, особливо при високих швидкостях газу в перерізі колони ($w > 1-2$ м/с), є інтенсивний брызгоунос, так як практично відсутня сепаруючий шар газорідинної піни.

В роботі [12] автори також відзначають відмінність роботи тарілок провального типу різного вільного перерізу. Вони відзначають, що на тарілках з великим вільним перетином і значним еквівалентним діаметром отворів ($f \geq 30\%$ і $d_e \geq 0,012$ м для дірчастих або $d_e \geq 0,005$ м для ґратчастих тарілок) у всьому діапазоні швидкостей газу існував тільки режим погано структурованої піни. На тарілках з малим вільним перетином і невеликим еквівалентним діаметром отворів ($f < 15\%$, $d_e < 0,006$ м) спостерігається тільки перехідний режим.

В монографії [13] проведено огляд робіт по визначенню режимів роботи тарілок провального типу. Зазначається, що різні дослідники по-різному оцінюють візуальну картину, що спостерігається при тих чи інших режимах на тарілках провального типу, і дають різні назви цим режимам. Зазначається, що перехід від одного режиму до іншого визначається гідродинамічними факторами (швидкостями газу та рідини), а також властивостями фаз і геометрії тарілки.

З розглянутих робіт можна зробити висновок, що різні автори по-різному оцінюють режими роботи тарілок провального типу

3.2 Результати досліджень меж роботи тарілок провального типу

Визначення меж роботи залежності мінімальної (w_{min}) та максимальної (w_{max}) швидкості газу в перерізі колони від щільності зрошення L для тарілок з малим вільним перетином, встановлених в колонах різного діаметра проводилося на стендах гідравлічних випробувань у відповідності з таблицею 1.

Таблиця 1 - Геометричні параметри досліджених тарілок провального типу

№ тарілки	Діаметр колони D, м	Вільний перетин	Діаметр отворів d_0 , м
1	0,5	16	0,008
2		25	
3		36	
4	0,4	16	
5		36	
6		56	
7	0,3	16	0,05
8		36	0,008
9		56	
10	0,15	16	0,05
11		16	0,008
12		19	
13		22	
14		25	
15		30	
16		36	
17		46	0,07

За швидкість w_{min} брали 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. В колонних 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 $D = 0,5$ 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. Межа розділу газової та газорідинної фази при w_{max} , на тарілках провального типу з малим вільним перетином, було видно досить добре.

В ході випробувань було встановлено, що діапазон стійкої роботи (w_{min} – w_{max}) для тарілок провального типу встановленої в колоні з $D = 0,057$ м суттєво (приблизно в 2 рази) менше, діапазону стійкої роботи тарілки встановленої в колоні $D = 0,5$ м, при великій щільності зрошення. Значення вільних перерізів тарілок і діаметри отворів плато тарілки були близькі для колон різного діаметра.

На рис. 7 і 8 представлена структура барботажного шару характерна для висоти барботажного шару до $H \approx 0,1$ м.

Як видно з малюнків, барботажний шар характеризується однорідної у всіх напрямках комірчастою структурою 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 самоорганізована система, що знаходиться в рівновазі, так як сили гідростатичного тиску і масові сили постійні у часі у 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, що вона самоорганізується.

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



Рисунок 7 - Робота тарілки провального типу в режимі однорідного барботажного шару: тарілка № 21 (таблиця 10), $L = 13,5$ м³/(м²•год), $w = 0,56$ м/с.



Рисунок 8 - Робота тарілки провального типу в режимі рухомого газорідного шару: тарілка № 21
 $L = 13,5$ м³/(м²•год), $w = 1,44$ м/с



Рисунок 9 - Робота тарілки провального типу в режимі
однорідного барботажного шару: тарілка № 10,
 $L = 12,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $w = 0,72 \text{ м/с}$.



Рисунок 10 - Робота тарілки провального типу в режимі
рухомого газорідного шару: тарілка № 10,
 $L = 12,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $w = 0,83 \text{ м/с}$.

При досягненні висоти газорідного шару більшою $H \approx 0,1 \text{ м}$ він втрачає стійкість (рис. 9,10). Утворюється рухливий газорідний шар, який

характеризується відсутністю структурованої комірчастою піни. Вільна поверхня газорідинного шару криволінійна. Її висота змінюється в часі для одних і тих же швидкостей газової і рідкої фаз має амплітуду і частоту. У газожидкостном шарі наблюдаються флуктуації таких параметрів як гідравлічний опір і висота газорідинного шару, швидкостей руху рідини, які мають хаотичне напрямки. Це говорить про те, що сили інерції рідини в такому газожидкостном шарі перевищують сили тяжіння.

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

Таким чином, газорідинний шар, як самоорганізована система, втрачає стійкість і стає динамічною нерівноважною системою. Перехід від стійкої рівноважної самоорганізується ізольованої системи до нерівноважної системи називають біфуркацією [14,15].

Дослідження тарілок провального типу з великим вільним перетином показали, що в колонах невеликого діаметра ($D = 0,057, 0,15$ м), ще з'являвся барботаажний шар при w_{\min} . У колоні $D = 0,4$ м і, особливо, в колоні $D = 0,5$ 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 суцільною 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 $D = 0,5$ 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 барботаажного шару до рухомого газорідинного шару, при висоті $H \approx 0,1$ м, то в колонах діаметром $D = 0,4$ м і $D = 0,5$ м такого переходу не було.

Виходячи з вище сказаного, залежно мінімальної (w_{min}) та максимальної (w_{max}) швидкості, від швидкостей газової і рідкої фаз тарілок провального типу з великим вільним перетином можна сказати, що їх діапазон стійкої роботи ($w_{min} - w_{max}$) практично такий же, як у тарілок провального типу з малим вільним перетином, встановлених в колонах великого діаметру ($D = 2$ м). Однак його значення зрушені в бік великих швидкостей газу в перерізі колони при однаковій щільності зрошення рідини. Діапазон стійкої 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.

У всіх представлених тарілок провального типу діаметр отворів тарілки становив $d = 0,008$ м (крім тарілки № 10, таблиця 10, де $d_0 = 0,005$ м).

Після аналізу поданих 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. В той час, як нижня межа роботи (w_{min}) тарілок провального типу, практично не залежить від діаметра колони для різних вільних перерізів 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.

У колоні діаметром $D = 0,15$ м, здійснюється якісна зміна структури однорідного барботажного шару в точці біфуркації) і він стає рухомим шаром газорідинним

У відповідності з цим, на тарілках провального типу можна виділити три режими роботи тарілок:

- режим однорідного барботажного шару;
- режим рухомого газорідинного 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 стрибкоподібна зміна обумовленого параметра (гідравлічного опору тарілок провального типу).

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

- діапазон стійкої роботи тарілок провального типу залежить від їх геометричних характеристик, таких як вільне перетин тарілки, їх діаметра.

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

- перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного шару відбувається в точці біфуркації, коли відбувається принципова зміна структури барботажного шару, і основні його параметри (гідравлічний опір тарілки і висота газорідного шару) в даній точці набувають певну амплітуду і частоту.

- перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного шару відбувається при висоті

газорідного шару $H \approx 0,1$ м для всіх досліджених тарілок

(таблиця 1) і всіх співвідношень витрат газової і рідкої фази в точці біфуркації.

4 Розрахунок режимів роботи тарілок

Критичну точку переходу від режиму емульгування до хвильовому режиму (рис 3), знаходять за рівнянням:

$$\lg \left(\frac{\omega^2}{g F_c^2 a} \cdot \frac{\gamma_\varepsilon}{\gamma_\kappa} \cdot \mu_\kappa^{0,16} \right) = 0,04 \frac{D}{a} - 1,75 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_\varepsilon}{\gamma_\kappa} \right)^{1/8} \quad (1)$$

де ω – швидкість пара для повного перерізу колони в точці E, м/сек²

g – прискорення сили тяжіння, м/сек²

F_c – живе перетин, м²/м²

a – ширина щілини, м

μ_κ – в'язкість рідини, спз

D – діаметр колони, м

L і G – навантаження по рідині і газу, кг/м².сек

Це рівняння дозволяє визначити максимальну допустиму швидкість і вибрати робочу швидкість в колоні.

Аналогічна формула запропонована для точок В-С (підвисання)

$$\lg \left(\frac{\omega^2}{g F_c^2 a} \cdot \frac{\gamma_\varepsilon}{\gamma_\kappa} \cdot \mu_\kappa^{0,16} \right) = 1 - 2,45 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_\varepsilon}{\gamma_\kappa} \right)^{1/8} \quad (2)$$

Для визначення залежності граничних швидкостей в колоні з тарілками провального типу від різних чинників був побудований графік (рис. 11.), аналогічний запропонованому раніше для визначення граничних швидкостей в колонах з масообмінними насадками.

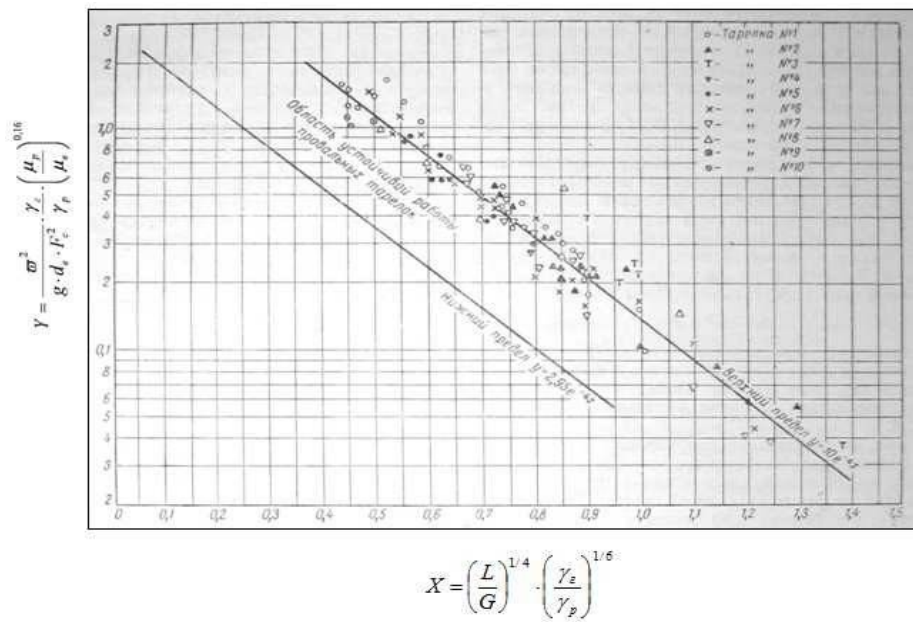


Рисунок 11 - Залежність граничної швидкості газу (пара) в колонах зтарілками провального типу від відношення вагових швидкостей потоків

На осі абсцис нанесений комплекс

$$X = \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_z}{\gamma_p} \right)^{1/8}$$

(3)

а на осі ординат комплекс

$$Y = \frac{\omega^2}{g \cdot d_e \cdot F_c^2} \cdot \frac{\gamma_z}{\gamma_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_s} \right)^{0,16}$$

де: L і G – вагові швидкості рідини і газу (пара), $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$; g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

d_e – еквівалентний діаметр щілини (отвору в

тарілці), м; F_c – вільний переріз тарілки, м²/м²;

μ_p – густина рідини, сп;

μ_b – густина води при 20°, сп.

γ_g і γ_p – питомі ваги газу

Досліджуючи тарілки з живим перерізом, рівним від 0,13 до 0,4 при діаметрі отворів від 3 до 8,4 мм, автори [17, 18] знайшли, що робоча зона тарілок знаходиться між двома прямими лініями.

Для перевірки отриманих результатів на графік були нанесені також дослідні дані інших авторів. Як випливає з графіка, точки, які відповідають отриманим даним про швидкості захлинання на тарілках провального типу, отримані на чотирьох системах газ – рідина а також дані інших авторів для систем пар – рідина досить задовільно укладаються на одній прямій (у напівлогарифмічних координатах), яка описується рівнянням

$$Y = 10 \cdot e^{-4x}, \quad (5)$$

Таким чином, за рівнянням (5) можна визначити граничну швидкість газу (пари). Проте робоча швидкість має бути вибрана декілька нижчою розрахованої за рівнянням (5), оскільки у виробничих умовах можливе збільшення швидкості вище граничної, що приведе до порушення режиму роботи апарату.

$$Y = 2,95 \cdot e^{-4x} \quad (6)$$

У роботі [19] були проведені гідравлічні дослідження роботи тарілок провального типу в широкому діапазоні зміни вільного перерізу тарілок від $f = 16$ до 36 % на колонах різного діаметру $D = 0,057, 0,15, 0,4$ і $0,5$ м. Діаметр отворів тарілок в колоні $D = 0,057$ м складав $d_0 = 0,005$ м. В решті колон – $d_0 = 0,008$ м. Навантаження по рідині змінювалися в межах

$L=4-150 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{год}}$ швидкість газу в перерізі колони досягала $w = 4$ м/с. Були

також проведені гідравлічні і кінетичні дослідження тарілок провального типу на стенді з колоною $D = 0,3$ м при ректифікації системи нітроолеум-фтористий водень. На стенді з колоною $D = 0,15$ м досліджували масообмін при десорбції двоокису вуглецю з води азотом. На стенді з колоною $D = 0,057$ м вивчали теплообмін у барботажному шарі між нагрітим повітрям і водою.

У процесі досліджень вимірювали гідравлічний опір тарілок, висоту барботажного шару і ефективність тарілок при різних співвідношеннях між газовою і рідкою фазою.

Було встановлено три гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу:

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

Режим рівномірного барботажу характеризується однорідною по всіх напрямках структурою чарункуватої піни, горизонтальною вільною поверхнею барботажного шару, висота якої не змінюється в часі для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що в барботажному шарі сили тяжіння перевищують сили інерції рідини.

При висоті барботажного шару $H = 0,08 - 0,1$ мм настає режим рухомого барботажного шару, який характеризується відсутністю структурованої чарункуватої піни, криволінійною вільною поверхнею барботажного шару. Локальні висоти вільної поверхні барботажного шару змінюються в часі, мають амплітуду і частоту для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фази.

Режим руйнування газорідинного шару характеризується руйнуванням

барботажного шару.

В роботі експериментально встановлено, що режим рухомого барботажного шару починається при висоті барботажного шару $H = 0,8 - 0,1$ мм, коли рідинна фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною. Перш за все це стосується тарілок провального типу звичайного вільного перерізу (до 25%).

У роботі робляться наступні висновки:

– максимальна ефективність тарілок провального типу досягається при режимі рухомого барботажного шару;

– режим рухомого барботажного шару починається при висоті барботажного шару $H = 0,08 - 0,1$ мм для всіх досліджених тарілок провального типу і навантажень по газу і рідині, коли рідинна фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною;

– початок максимально ефективної роботи тарілок провального типу необхідно вважати тоді, коли настає режим рухомого барботажного шару.

Автори зробили розрахунки з написаних вище рівнянь та отримали результати у вигляді графіків.

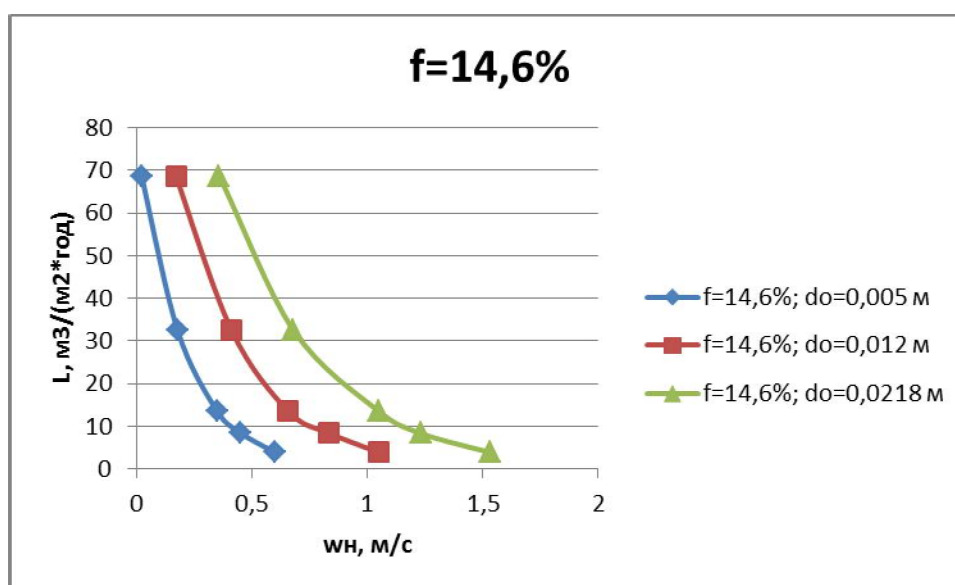


Рисунок 12 - Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 14,6\%$ і різним діаметром отворів.

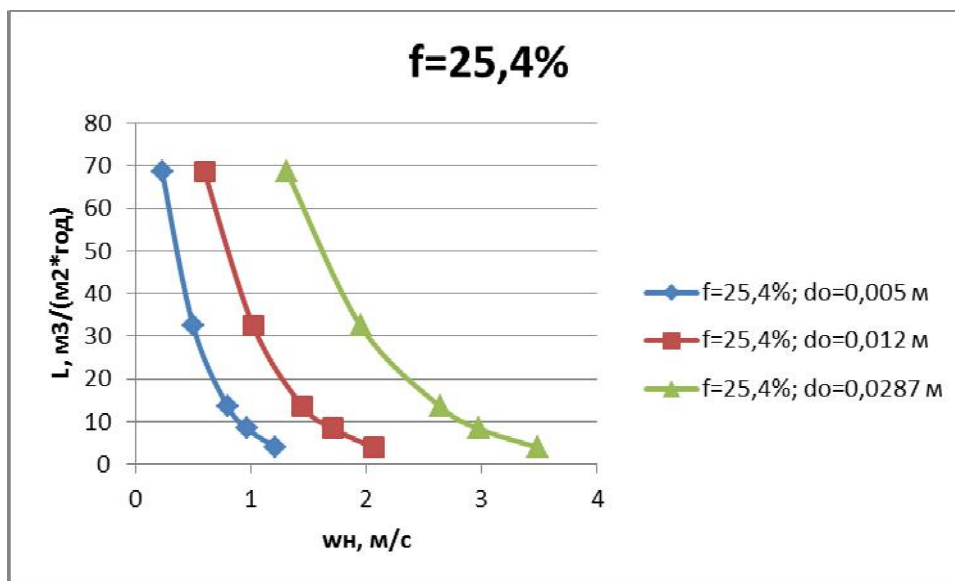


Рисунок 13 - Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 25,4\%$ і різним діаметром отворів

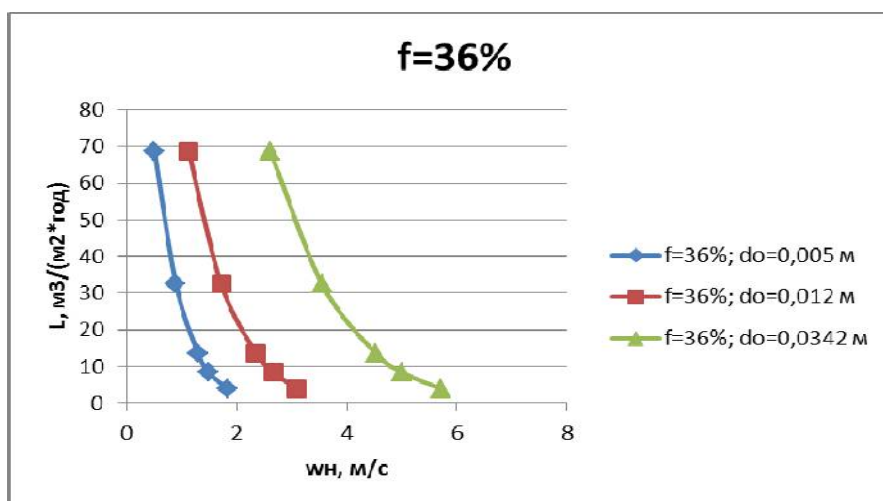


Рисунок 14 -Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 36\%$ і різним діаметром отворів

За нижню межу роботи тарілок провального типу, на підставі літературних даних [19], приймаємо швидкість газу у перерізі колони, що відповідає початку режиму рухомого барботажного шару на тарілках провального типу (точці біфуркації).

- L – щільність зрошування, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;
- $w_{\text{п}}$ – швидкість газу в повному перерізі колони, що відповідає нижній межі роботи тарілок провального типу, м/с .

З получених графіків, автори зробили наступні висновки:

1. Існуючі у літературних джерелах рівняння для розрахунку діапазону стійкої роботи тарілок провального типу не можуть бути застосовані для тарілок діаметром $D = 0,057 \text{ м}$.
2. Нижня межа роботи тарілок провального типу суттєво залежить від діаметра отворів в плато тарілки для одного і того самого вільного перерізу.
3. Для розрахунку $w_{\text{н}} = f(L)$ можна використовувати рівняння (8) з середньою відносною похибкою $A = 9\%$, яка є доброю.
4. Наші експериментальні дані не підтвердили розрахункові дані з цієї роботи. Вони показали значно меншу залежність меж роботи від діаметрів отворів. Тому необхідно провести подальше дослідження на лабораторних установках.

5 Теорія масштабного переходу

Останніми роками було сформульовано нову теорію масштабного переходу [24]. Вона виявилася гідродинамічною, зумовлена нерівномірністю розподілу потоків і співвідношенням фаз по перерізу промислових апаратів, посиленням поздовжнього перемішування при збільшенні розмірів, що визначають масштаб турбулентності або виникнення циркулюючих контурів. Ці ефекти характеризують структуру потоків, у більшості випадків вони не моделюються на малих апаратах та при сучасному рівні розвитку гідродинаміки потоків не можуть бути передбачені методом математичного моделювання. Однак через те, що масштабний ефект має гідродинамічну природу, то його можна усувати на гідродинамічних стендах без необхідності технологічних випробувань, забезпечивши за допомогою конструктивних заходів зменшення гідродинамічних неоднорідностей та необхідну структуру потоків у великому апараті. Такий спосіб розробки промислових апаратів назвали гідромоделюванням, він дозволяє значно прискорити і удешевити перехід до промислових установок від лабораторних.

В даний час розроблена наближена теорія масштабного ефекту, що полегшує пошук конструктивних заходів для усунення, а так само залишкових неоднорідностей з метою визначення ефективності промислових апаратів, без технологічних випробувань.

Зменшення ККД спостерігалось і для провальних барботажних тарілок (майже в 3 рази при збільшенні діаметра від 0,8 до 5 м.)

Теорія масштабного переходу в гідродинамічних характеристиках колони, як малого, так і великого діаметру встановлює зв'язок між параметрами колон різного діаметра.

Проводять експерименти в колонах малого діаметра і встановлюється зв'язок між гідравлічними параметрами колон малого діаметра з гідравлічними параметрами колон великого діаметра. Далі проводяться технологічні випробування масо і теплообміну. За даними гідродинамічним моделюванням,

технологічні параметри, отримані в колонах малого діаметра, переносяться на колони великого діаметру з досвідчених установок.

Вельми важливим висновком є те, що низька ефективність багатьох промислових апаратів є наслідком дефектів конструкції апаратів, які можуть бути усунені, а КМП при цьому може бути наближений до одиниці. Також теорія масштабного переходу ґрунтується на тому, що при розрахунку колонного апарату потрібно обов'язково використовувати експериментальні установки з колонами невеликого діаметру та результати досліджень цих установок потрібно використовувати при розрахунку промислових апаратів.

Для розрахунку точки біфуркації барботажного слою на тарілках провального типу у роботі [8] запропоновано рівняння (7).

$$\lg\left(\frac{Y}{T^{0,5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (7)$$

Рівняння (1) включає коефіцієнт T , який є відношенням суми периметрів всіх отворів в тарільці до її діаметру [6]. Отже, параметр T є функцією таких геометричних параметрів тарілки провального типу, як її діаметр, вільний перетин і діаметр отворів тарілки. При цьому можна розрахувати вільне перетинання тарілок типу провальних за рівнянням [8] при заданій швидкості, розрахованої на повний переріз колони, для різних діаметрів колон.

Це дає можливість для гідродинамічного моделювання тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками [8]. 6 Опис експериментальних установок для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колонами $D = 0,057$ м та $D = 0,25$ м

6 Опис експериментальних установок для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колонами $D = 0,057$ м та $D = 0,25$ м

Для досліджень тарілок провального типу було використано експерименти з колонами різного діаметру: $D = 0,057$ та $D = 0,25$ м

6.1 Опис експериментальної установки з колоною $D = 0,057$ м

Опис експериментальної установки з колоною $D = 0,057$ м наведено на рис. 15.

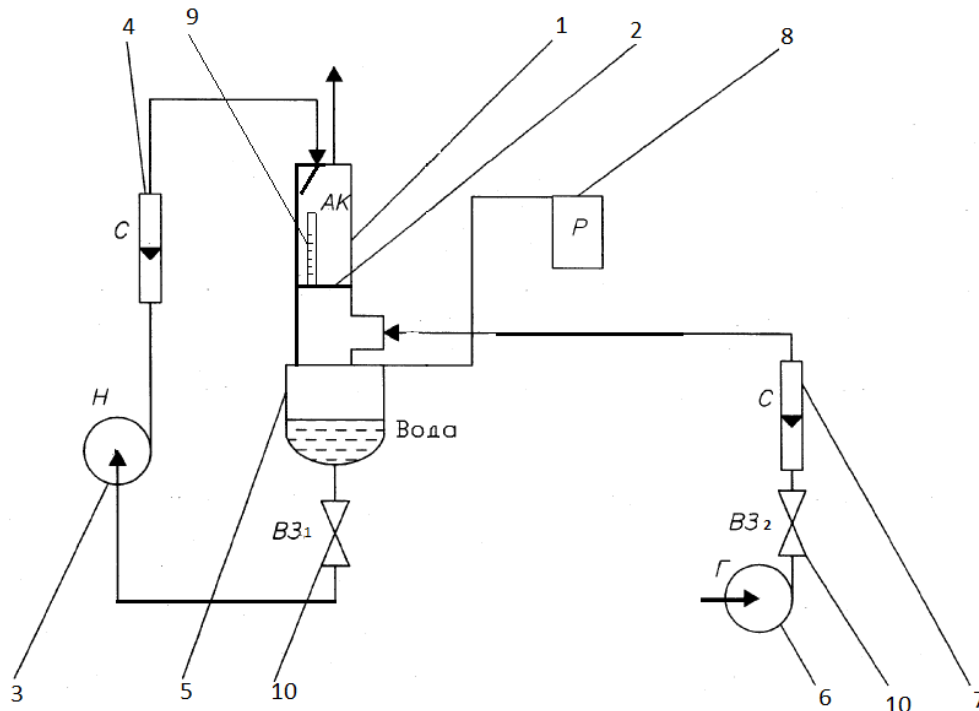


Рисунок 15 - Схема експериментальної установки для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу

з колоною $D = 0,057$ м:

1 – колона; 2 – тарілка; 3 – насос; 4 – ротаметр; 5 – куб колони; 6 –

газодувки; 7 – ротаметр; 8 – манометр; 9 – лінійка; 10 – вентелі.

6.2 Схема лабораторної установки

Установка являє собою колону 1 з встановленим у ній провальні типи тарілок 2. За допомогою насоса 3 вода подається через вентель ВЗ 1 і ротаметр 4 до верху колони на внутрішній стінці. Проходячи через тарілку, вода потрапляє в куб колони 5. Повітря, що проходить через газодувку 6 скрізь вентель ВЗ 2 і ротаметр 7, подається в колону в місці нижче тарілки для забезпечення протипотоку і тим самим утворення шару барботажу. Гідравлічний опір вимірюється за допомогою манометра 8. Ленійкою 9, вимірюємо висоту піни. Вентиллями 10 регулюється витрати рідини і повітря.

6.3 Експериментальне дослідження

Рідина через насос 3 подається у верхню частину, на секцію колони 1, для досягнення більш рівномірного розподілу текучого середовища, і тим самим знижує гідравлічний опір газу після тарілки подається на стінку колони. Встановимо на ротаметрі 4 витрату рідини, що відповідає певній щільності зрошення.

Під тарілку знизу 2, використовуючи газову вентилятор 6, подаємо повітря. Його витрата встановлюється на ротаметрі 7, а для певної щільності зрошення ми змінюємо потік повітря від початку роботи тарілки до його верхньої межі.

Для кожного співвідношення навантажень на газ і рідину вимірюємо гідравлічний опір датчика перепаду тиску 8 і висоту піни 9. Особлива увага приділяється зміні режимів на провальній тарільці: від режиму рівномірного барботування до режим неоднорідного газорідинного шару.

Гідравлічний опір тарілки вимірюють за допомогою манометра, його вхід з'єднаний з точкою відбору гідравлічного тиску, яка розташована під тарілкою пасообмінною. Вихід манометра підключений до атмосфери.

Вимірюємо висоту піни за допомогою сантиметрової лінійки.

Для більш точних експериментальних даних для кожного відношення навантаження газ-рідина проводимо кілька експериментів, після яких розраховується середнє значення для гідравлічного опору і висоти піни.

6.4 Опис установки експериментальної з колоною $D = 0,25$ м

Опис установки експериментальної з колоною $D = 0,25$ м наведено на рис.

16

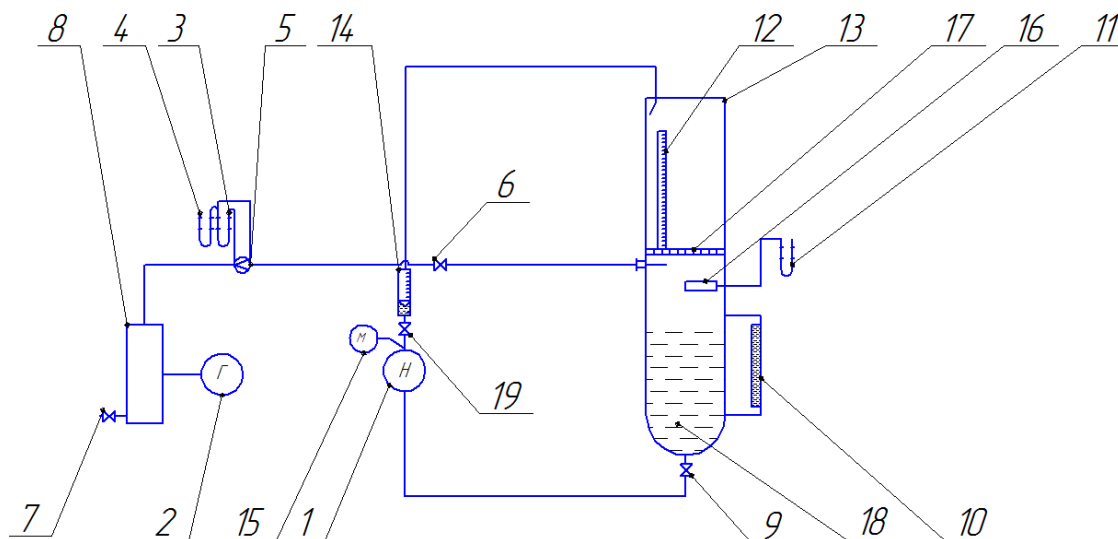


Рисунок 16 - Схема експериментальної установки
для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок
провального типу

з колоною $D = 0,25$ м:

- (1 – насос; 2. – газодувки В-3; 3. – дифманометр; 4. –
пьезометр;
5 – діафрагма; 6. – засувка; 7. – засувка; 8 – розподільна
коробка; 9 –
кульовий кран; 10 – рівнемір; 11 – пьезометр; 12 – лінійка;
13 – колона; 14 – ротаметр РС-7; 15 – манометр; 16 – датчик
відбору тиску; 17 – тарілка провального типу; 18 – вода; 19
– засувка.)

6.5 Схема лабораторної установки

Схема установки зображена на рис.1 і являє собою колонну 13, діаметром 250мм, з встановленою в ній тарілкою провального типу 17. За допомогою насоса 1, вода подається через ротаметр 14 у верхню частину колони. Висоту стовпа рідини в колоні визначається рівнеміром 10. Повітря з допомогою газодувки 2, проходячи через розподільну коробку 8, діафрагму 5, яка підводиться до дифманометру 3 і пьезометру 4 подається в колону нижче тарілки, для забезпечення протитоку і тим самим утворюючи барботажний шар. Витрати рідини й повітря регулюємо вентилями 6 і 19. Висоту газорідинного тиску вимірюємо за допомогою лінійки 12. За допомогою манометра 11, який підводиться до датчика відбору тиску 16, можна вимірюється гідравлічний опір.

6.6 Експериментальне дослідження

Рідина за допомогою насоса подається у верхню частину, по перерізу колони, для досягнення більш рівномірного розподілу рідини й тим самим зменшенням гідравлічного опору газу. Після тарілки, рідина подається на стінку колони. Установлюємо по ротаметру витрату рідини, якій відповідає певна щільність зрошування.

Витрати рідини й повітря регулюємо вентилями.

Газодувкою подаємо повітря, яке проходить через розподільну коробку, підводиться до дифманометру і пьезометру та подається в колону нижче тарілки, для забезпечення протитоку і тим самим утворюючи барботажний шар.

За допомогою манометра, який підводиться до датчика відбору тиску, можна вимірюється гідравлічний опір. Дивимося коли на тарілці з'являється барботажний шар. Вимірюємо гідравлічний опір і газорідинні фази. Фіксуємо швидкості при яких доходить до точки біфуркації від нерівномірного барботажа до режиму захлебывання, паралельно вимірюємо висоту піни за допомогою лінійки

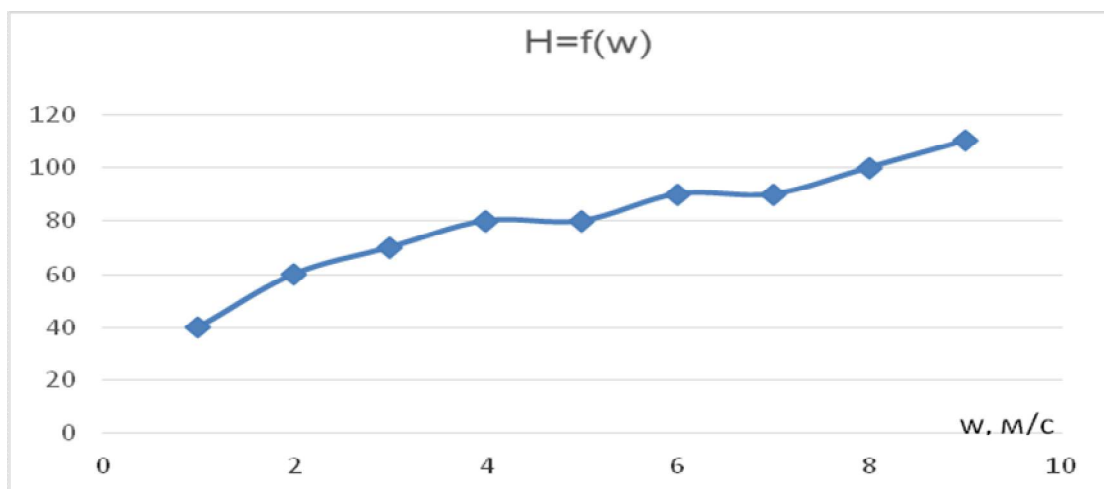
6.7 Пуск колони

Подаємо напругу в мережі, після чого включаємо насос (1), відкриваємо кульовий кран (9), встановлюємо по ротаметру витрата рідини, який відповідає певній щільності зрошення. Потім включаємо газодувки (2). За допомогою рідинного дифманометра (3) виставляємо витрата газу. Витрати рідини й повітря регулюємо вентилями (6) і (19)

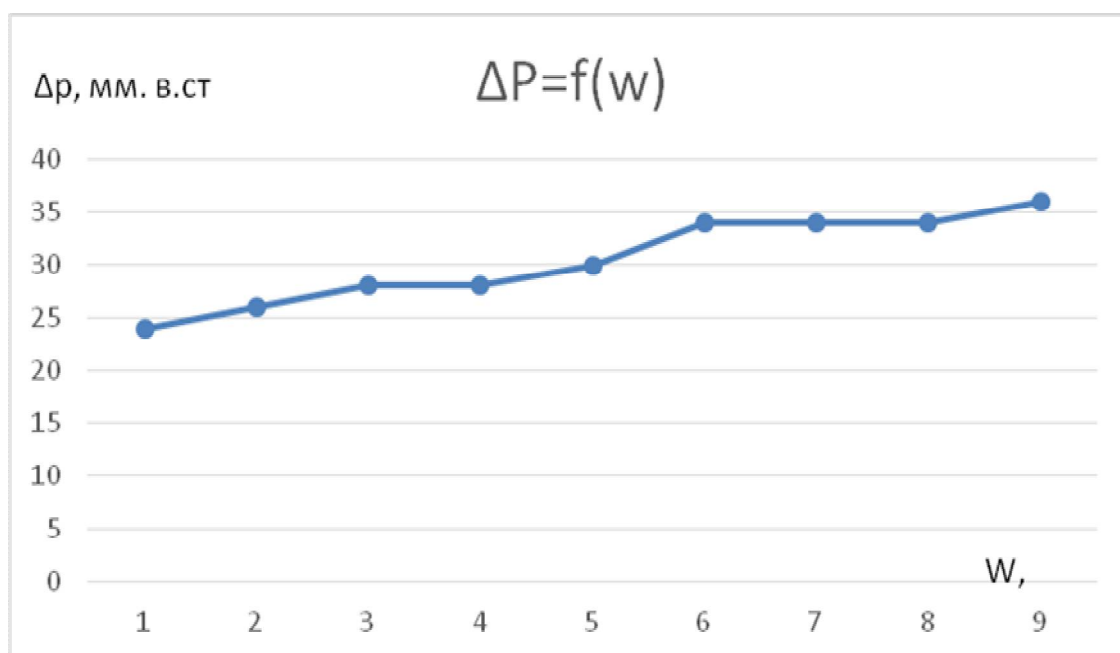
6.8 Зупинка колони

Відключаємо насос 1, відключаємо газодувки 2, закриваємо вентиль закривають вентилі 6, вентиль 19 і шаровий кран 9.

7. Експериментальні дані



Графік залежності висоти від швидкості



Графік залежності опору від швидкості

8 Розрахунок основних параметрів роботи колони

У ректифікаційній колоні з тарілками передбачається поділ суміші нітроолеум+фтористий водень при надлишковому тиску 10000 мм вод. ст.=1атм

Характеристика нітроолеума (низько киплячий компонент):

$M_a = 71,7$ - молекулярна маса нітроолеума;

$T_a = 45$ °С - температура кипіння нітроолеума;

$\rho_a = 1630$ кг/м³ - густина нітроолеума при 20°С.

Характеристика 70% азотної кислоти (висококиплячий компонент):

$M_b = 49$ - молекулярна маса води;

$T_b = 123$ °С - температура кипіння води;

$\rho_b = 1403$ кг/м³ - густина води при 20°С.

Кількість одержуваного дистиляту, кг/с:

$$G_p = \frac{G}{T \cdot 24 \cdot 3600} \quad (8)$$

де $G = 4000000$ кг/рік - необхідна продуктивність колони по метанолу;

$T = 335$ днів - ефективний фонд робочого часу за рік.

$$G_p = \frac{4000000}{335 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,138 \text{ кг/сек} = 497 \text{ кг/година}$$

Кількості вихідної суміші й кубового залишку визначаємо шляхом рішення рівняння матеріального балансу для низькокиплячого компоненту

$$G_f = G_p + G_w \quad (9)$$

$$G_f a_f = G_p a_p + G_w a_w \quad (10)$$

Кількість вихідної суміші

$$G_f = \frac{G_p (a_p - a_w)}{a_f - a_w} \quad (11)$$

$a_f = 93,5\%$ - масовий склад вихідної суміші;

$a_p=100\%$ - масовий склад дистилляту;

$a_w=75,4\%$ - масовий склад кубового залишку.

$$G_f = \frac{0.138 \cdot (1 - 0.762)}{0.933 - 0.762} = 0.187 \text{ кг/с}$$

Кількість кубового залишку

$$G_w = G_f - G_p \quad (12)$$

$$G_w = 0.187 - 0.138 = 0.049 \text{ кг/с}$$

Перевірка матеріального балансу за рівнянням

$$G_f a_f = G_p a_p + G_w a_w \quad (13)$$

$$0.187 \cdot 0.933 = 0.138 \cdot 1 + 0.049 \cdot 0.76$$

$$0.174471 = 0.175338$$

Розходження:

$$0.175338 - 0.174471 = 0.000867$$

Помилка:

$$\frac{0.000867}{0.174471} \cdot 100\% = 0.391172\%$$

Таблиця 2 - Параметри колони

№ потоку	1	2	3
Температура, °С	50	45	122
Тиск			
в верху колони, МПа (надл.)			
в внизу колони, МПа (надл.)			0,1
Витрати пари			
Витрати рідини, кг/сек	0,187	0,139	0,049

Продовження табл.2

№ потоку	1	2	3
Витрати газу			
Масовий склад ваговий,			
HNO ₃ +N ₂ O ₄	93,3%	100%	76,2%
	6,7%	0%	23,8%
Склад потоку:			
Вихідна суміш, кг/сек	0,187		
Кількість дистилляту, ек		0,139	
Кубовий залишок, кг/сек			0,049

Примітка:

Поток №1 – потік вихідна суміш

Поток №2 – потік вихіду дисцилята суміш

Поток №3 – потік кубовий залишок

8.1 Визначення флегмового числа

Вибір оптимальної величини робочого числа флегми досить відповідальний, тому що при малих його значеннях виходить велика кількість ступенів контакту, але витрата пари, що гріє, малий; при дуже великому числі флегми число ступенів невелике, але витрата пари велика.

Оптимальне флегмове число повинно бути втричі більше за кількість відбираємого дистиляту $R_{\text{opt}}=497*0,003=1,5$

X - рівноважний склад у мольних % рідині;

У - рівноважний склад у мольних % пари;

I - температура кипіння в $^{\circ}\text{C}$ при атмосферному тиску.

Перераховуємо масові концентрації в мольні.

Мольна концентрація

$$X = \frac{\frac{a}{M_a}}{\frac{a}{M_a} + \frac{100-a}{M_b}} \quad (14)$$

Мольна концентрація вихідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{0,933}{71,7}}{\frac{0,933}{71,7} + \frac{1,00-0,933}{49,5}} = 0,9091 \text{ (мол.)}$$

Мольна концентрація дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{1}{71,7}}{\frac{1}{71,7} + \frac{1-1}{49,5}} = 1 \text{ (мол.)}$$

Мольна концентрація кубового залишку

$$X_W = \frac{\frac{0,762}{71,7}}{\frac{0,762}{71,7} + \frac{1-0,762}{49,5}} = 0,6883 \text{ (мол.)}$$

$$R_{\min} = \frac{x_p - y_f^*}{y_f^* - x_f} \quad (15)$$

$$R_{\min} = \frac{1 - 0,999}{0,999 - 0,9091} = 0,01$$

де y_f^* – мольна доля нітроолеума в парі, що рівноважна з рідиною, мол. долі, визначаємо по фазовій діаграмі $y-x$ у відповідності з рисунком 2;

b_{\max} – відрізок, що відтинає на осі ординат

$$b_{\max} = \frac{X_p}{R_{\min} + 1} \quad (16)$$

Звідки мінімальне флегмове число

$$R_{\min} = \frac{X_p}{b_{\max}} - 1 \quad (17)$$

$$b_{\max} = \frac{1}{0,01 + 1} = 0,99$$

$$R_{\min} = \frac{1}{0,99} - 1 = 0,01$$

8.2 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз

По рідкій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони

$$X_{cp^H} = \frac{X_W + X_F}{2} \quad (21)$$

$$X_{cp^H} = \frac{0,6883 + 0,9091}{2} = 0,798$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони

$$X_{cp}^B = \frac{X_F + X_P}{2} \quad (22)$$

$$X_{cp}^B = \frac{0,9091 + 1}{2} = 0,955$$

Середня мольна концентрація по колоні

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^B}{2} \quad (23)$$

$$X_{cp} = \frac{0,798 + 0,955}{2} = 0,877$$

Середня масова концентрація по колоні

$$a_{cp} = \frac{X_{cp} \cdot M_a}{X_{cp} \cdot M_a + (1 - X_{cp}) \cdot M_b} \quad (24)$$

$$a_{cp} = \frac{0,877 \cdot 71,7}{0,877 \cdot 71,7 + (1 - 0,877) \cdot 49,5} = 0,9117$$

Для визначення значень t_{XW} , t_{XF} , t_{XP} будемо діаграму рівноважного складу рідини (X) і пари (Y) в мол.% та температури кипіння підвійної суміші «нітроолеум –фтористий водень» при 10000 Па (абс.) за даними таблиці 8,2.

Таблиця 3 - Мольні концентрації

$x_w = 0,6883$ (мол.)
$x_f = 0,9091$ (мол.)
$x_p = 1$ (мол.)
$y_w = 0,017$ (мол.)
$y_f^* = 0,999$ (мол.)
$y_p = 0,999$ (мол.)

Таблиця 4 - Залежність складу суміші (нітроолеум-фтористий водень) від температури

X	Y	°C
4	59	77
8	80	68
12	88	62
16	92	54
20	93	51
24	95	46
28	96	42
32	97	37
36	98	33
40	98	29
44	99	25
49	99	24,5

Температура подачі вихідної суміші, $^{\circ}\text{C}$

при $X_F = 0,9091$ $t_{XF} = 50$ $^{\circ}\text{C}$

Температура виходу дистилляту, $^{\circ}\text{C}$

при $X_P = 0,1$ $t_{XP} = 45$ $^{\circ}\text{C}$

Температура виходу кубового залишку, $^{\circ}\text{C}$

при $X_W = 0,6883$ $t_{XW} = 122$ $^{\circ}\text{C}$

Середня температура в нижній частині колони, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Xcp}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} \quad (25)$$

$$t_{Xcp}^H = \frac{122 + 50}{2} = 86$$
 $^{\circ}\text{C}$

Середня температура у верхній частині колони, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Xcp}^B = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2} \quad (26)$$

$$t_{Xcp}^B = \frac{50 + 45}{2} = 47,5$$
 $^{\circ}\text{C}$

Середня температура по колоні, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Xcp}^B = \frac{t_{Xcp}^H + t_{Xcp}^B}{2} \quad (27)$$

$$t_{Xcp}^B = \frac{86 + 47,5}{2} = 66,75$$
 $^{\circ}\text{C}$

Середня молекулярна маса

$$M_{Xcp} = M_a \cdot X_{cp} + M_6 \cdot (1 - X_{cp}) \quad (28)$$

$$M_{Xcp} = 71,7 \cdot 0,877 + 49,5 \cdot (1 - 0,877) = 68,968$$

Середня густина, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_{Xcp} = \frac{\rho_a \cdot \rho_6}{\rho_6 \cdot a_{cp} + \rho_a \cdot (1 - a_{cp})} \quad (29)$$

$\rho_a = 1520 \text{ кг/м}^3$ - густина нітроолеуму, при $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$\rho_b = 1301 \text{ кг/м}^3$ - густина 70% азотної кислоти, при $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\rho_{x_{cp}} = \frac{1520 \cdot 1301}{1301 \cdot 0,9117 + 1520 \cdot (1 - 0,9117)} = 1497 \text{ кг/м}^3 \quad [14]$$

Середня в'язкість

$$\lg \mu_{x_{cp}} = X_{cp} \cdot \lg \mu_a + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_b \quad (30)$$

$$t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$X_{cp} = 0,877$$

$\mu_a = 0,39$ спз(сантіпуаз) – в'язкість низько киплячого компонента при середній температурі $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\mu_b = 0,5$ спз (сантіпуаз)– в'язкість високо киплячого компонента при середній температурі $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\text{Lg} \mu_{x_{cp}} = 0,877 \cdot \text{Lg} 0,39 + (1 - 0,877) \cdot \text{Lg} 0,5 = -0,396$$

$$\mu_{x_{cp}} = 0,4023 \text{ спз} = 0,4023 \text{ мПас} = 0,4023 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Середня поверхня натягу, дин/см

$$\sigma_{cp} = \sigma_a \cdot X_{cp} + \sigma_b \cdot (1 - X_{cp}) \quad (31)$$

$\sigma_a = 1,46$ дин/см - поверхневий натяг низькокиплячого компонента при температурі $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\sigma_b = 18 \cdot 10^3$ н/м дин/см - поверхневий натяг висококиплячого компонента при температурі $t_{x_{cp}} = 66,75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\sigma_{cp} = 1,46 \cdot 0,877 + 18 \cdot (1 - 0,877) = 3,49 \text{ дин/см} \quad (3,49 \cdot 10^3 \text{ Н/м})$$

70% азотної кислоти – $\sigma = 1,46 \cdot 10^3$ н/м

Нітроолеума– $\sigma = 18 \cdot 10^3$ н/м

По газовій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони, мол.

$$Y_{cp}^H = \frac{Y_W + Y_F}{2} \quad (32)$$

$$Y_{cp}^H = \frac{0,017 + 0,999}{2} = 0,5081 \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони, мол.

$$Y_{cp}^B = \frac{Y_F + Y_P}{2} \quad (33)$$

$$Y_{cp}^B = \frac{0,999 + 0,999}{2} = 0,9991, \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація по колоні, мол.

$$Y_{cp} = \frac{Y_{cp}^H + Y_{cp}^B}{2} \quad (34)$$

$$Y_{cp} = \frac{0,5081 + 0,9991}{2} = 0,7536, \text{ мол}$$

Температура подачі вихідної суміші, при $Y_F = 0,999$; $t_{YF} = 54^{\circ}\text{C}$;

Температура виходу дистилляту:

$$Y_P = 0,999; \quad t_{YP} = 45^{\circ}\text{C};$$

Температура подачі кубового залишку:

$$Y_W = 0,017; \quad t_{YW} = 122^{\circ}\text{C};$$

Середня температура в нижній частині колони, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Ycp}^H = \frac{t_{YW} + t_{YF}}{2} \quad (35)$$

$$t_{Ycp}^H = \frac{122 + 54}{2} = 88, \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Ycp}^B = \frac{t_{YF} + t_{YP}}{2} \quad (36)$$

$$t_{Ycp}^B = \frac{54 + 45}{2} = 49,5, \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Середня температура по колоні, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{Ycp} = \frac{t_{Ycp}^H + t_{Ycp}^B}{2} \quad (37)$$

$$t_{Ycp} = \frac{88 + 49,5}{2} = 68,75, ^\circ\text{C}$$

Середня молекулярна маса

$$M_{Ycp} = M_a \cdot Y_{cp} + M_e \cdot (1 - Y_{cp}) \quad (38)$$

$$M_{Ycp} = 71,7 \cdot 0,7536 + 49,5 \cdot (1 - 0,7536) = 66,23$$

Середня густина, кг/м³

$$\rho_{Ycp} = \frac{M_{Ycp} \cdot p \cdot T_o}{22,4 \cdot p_o \cdot T} \quad (39)$$

T - середня температура по колоні, °K

$$F = \frac{V}{w} \quad (40)$$

$$T = t_{Ycp} + T_o \quad (41)$$

T₀ = 273⁰K - точка плавлення льоду;

P₀ = 1 кгс/см² - нормальний атмосферний тиск;

P = 1 кгс/см² - абсолютний робочий тиск у колоні

$$T = 68,75 + 273 = 341,75^\circ K$$

$$\rho_{Ycp} = \frac{66,23 \cdot 10100 \cdot 273}{22,4 \cdot 1 \cdot 10100 \cdot 341,75} = 2,361 \text{ кг/м}^3$$

8.3 Визначення основних геометричних параметрів колони

Діаметр колони

$$D_K = \sqrt{\frac{V_Y}{0,785 \cdot \omega_Y}} \quad (42)$$

V_Y - об'ємна витрата пари, м³/сек

ω_Y - швидкість пари, віднесена до повного перерізу колони, м/сек

$$V_Y = \frac{G_Y}{\rho_{Ycp}} \quad (43)$$

G_Y - кількість пари, що піднімається по колоні, кг/сек

$$G_Y = G_P (R_{omn} + 1) \quad (44)$$

$$G_Y = 0,172 \cdot (1,95 + 1)$$

$$G_Y = 0,51, \text{кг/сек}$$

$$V_{Ycp} = \frac{0,241}{2,361} = 0,216, \text{ м}^3/\text{сек}$$

Рекомендована швидкість пари у колоні

$$W = 1,4 \text{ м/с}$$

$$0,785 D^2 = \frac{V}{w} \quad (45)$$

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}} \quad (46)$$

$$D = \sqrt{\frac{0,216}{0,785 \cdot 1,4}} = 0,445 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони $D = 0,5$ м за стандартним значенням, тоді швидкість пари, що розраховується на повний переріз колони, буде

складати

$$w = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,216}{0,785 \cdot 0,5^2} = 1,1 \text{ м/с}$$

Висоту колони визначаємо за рівнянням

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (20 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 12,3 \text{ м.}$$

9 Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0,5$ м

Визначаємо вільний переріз тарілок провального типу в колонні $D = 0,5$ м

Розрахунок проводиться за формулою (7)

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

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p}\right)^{1/8} \quad (47)$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g}\right)^{0,16} \quad (48)$$

$$G_{\text{рід}} = G_{\text{рід}} = (G_{\text{ф}} + G_{\text{н}})/2$$

$$G_{\text{рід}} = (1836 + 2696)/2 = 0,638 \text{ кг/сек}$$

$$G_{\text{п}} = G_{\text{в}} = 0,51 \text{ кг/сек}$$

$G_{\text{рід}}$ і $G_{\text{п}}$ – вагові швидкості рідини і газу (пара), кг/год;

$G_{\text{ф}}$ – кількість флегми, кг/год;

$G_{\text{в}}$ – кількість вихідної суміші, кг/год;

$G_{\text{н}}$ – кількість рідини, що проходить крізь низ колони, кг/год;

$\rho_{\text{рід}}$ і $\rho_{\text{п}}$ – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

d_0 – діаметр отворів в тарілці, м;

f – вільний переріз тарілки, м²/м²;

$\mu_{\text{рід}}$ – в'язкість рідини, Па·с;

$\mu_{\text{в}}$ – в'язкість 70% азотної кислоти при, 20°, Па·с;

V – витрата пари, м³/с;

a, B – коефіцієнти;

L – щільність зрошення, м³/(м²год);

S – площа колони, м²

D – внутрішній діаметр колони, м;

Σ – площа суми отворів, м²;

S_0 – площа отвору, м²;

N – кількість отворів, шт;

P – периметр отворів, м

T – коефіцієнт

Розрахунок кількості кубового залишку

$$G_w = G_f - G_p \quad (50)$$

$$G_w = 0,239 - 0,172 = 0,068 \text{ кг/с}$$

$V = 0,209 \text{ м}^3/\text{с};$

$a = -1,59;$

Розраховуємо щільність зрошення, м³/(м²год);

$$L = G_p / S \quad (51)$$

$$L = 1950 / (1413 * 0,2) = 6,91 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$$

Розрахунок кількості флегми

$$R = (F - G_p) \quad (52)$$

$$R \cdot G_p = F - G_p \quad (53)$$

$$R \cdot G_p + G_p = G_\phi \quad (54)$$

$$1,95 \cdot 0,172 + 0,172 = 0,51 \text{ кг/с}$$

Кількість флегми, кг/год;

$$G_\phi = 0,51 \text{ кг/с} = 1836 \text{ кг/год}$$

Розраховуємо кількість рідини, що проходить крізь низ колони, кг/год;

$$G_n = G_\phi + G_f \quad (55)$$

де G_f – кількість вихідної суміши, кг/год;

$$G_f = 0,239 \text{ кг/сек}$$

$$G_n = 0,51 + 0,239 = 0,749 \text{ кг/с} = 2696 \text{ кг/год}$$

Розраховуємо вагові швидкості рідини, кг/год;

$$G_{pid} = (G_\phi + G_n) / 2 \quad (56)$$

$$G_{pid} = (1836 + 2696) / 2 = 2266 \text{ кг/год}$$

Визначаємо розрахункові параметри

Вагова швидкість рідини розраховується за рівнянням

За рівнянням (7) розраховується перша інтеграція при $f = 0,06\%$

$$Lg(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y розраховується за формулою (48)

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

де w – рекомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,4 \text{ м/с}$$

ρ_p – питома вага рідини, кг/м^3 ;

$$\rho_p = 1497 \text{ кг/м}^3;$$

ρ_z – питома вага газу (пара), кг/м^3 ;

$$\rho_z = 2,361 \text{ кг/м}^3;$$

g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

d_0 – діаметр отворів в тарілці, м;

$$d_0 = 0,012 \text{ м}$$

μ_p – в'язкість рідини, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$$\mu_p = 0,4023 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

μ_g – в'язкість азотної кислоти при, 20° , $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$$\mu_g = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,06^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 6,53$$

T – коефіцієнт, який розраховується за формулою

$$T = \frac{\sum \Pi}{D} \quad (57)$$

де $\sum \Pi$ – сумарний периметр отворів, м

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0 \quad (59)$$

$$\Pi = \pi d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,037 \text{ м}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f \quad (60)$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2 \quad (61)$$

$$S = 0,785 D^2 = 0,785 \cdot 0,5^2 = 0,196 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,06 = 0,011, \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

$$S'_0 = \pi \cdot R^2 \quad (62)$$

$$S'_0 = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,00011 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0} \quad (63)$$

$$n = \frac{0,011}{0,00011} = 100 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 100 = 2,51 \text{ м}$$

$$T = \frac{2,51}{0,5} = 5,02$$

За рівнянням (47) розраховуємо x

$$X = \left(\frac{G_\phi}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p} \right)^{1/8}$$

$$X = \left(\frac{1836}{2696} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,361}{1497} \right)^{1/8} = 0,368$$

$$Lg(6,53 / 5,02^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$0,464 = -0,54$$

$$\Delta = 1$$

За рівнянням (7) розраховується друга інтеграція при $f = 0,08\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,08^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 3,75$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,08 = 0,015, \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,015}{0,00011} = 136,36 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 136,36 = 3,42 \text{ м}$$

$$T = \frac{3,42}{0,5} = 6,84$$

$$Lg(3,75 / 6,84^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-0,156 = -0,54$$

$$\Delta = 0,384$$

За рівнянням (7) розраховується третя інтеграція при $f = 0,1\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,1^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 2,4$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, m^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,1 = 0,0196, m^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,0196}{0,00011} = 178,18 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 178,18 = 4,47 \text{ м}$$

$$T = \frac{4,47}{0,5} = 8,94$$

$$Lg(2,4 / 8,94^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-0,294 = -0,54$$

$$\Delta = 0,246$$

За рівнянням (7) розраховується четверта інтеграція при $f = 0,16\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_s} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,16^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,937$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,16 = 0,031, \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,031}{0,00011} = 281,81 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 281,81 = 7,07 \text{ м}$$

$$T = \frac{7,07}{0,5} = 14,14$$

$$\text{Lg}(0,937 / 14,14^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-0,603 = -0,54$$

$$\Delta = 0,063$$

За рівнянням (7) розраховується п'ята інтеграція при $f = 0,2\%$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,2^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,6$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,2 = 0,039, \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,039}{0,00011} = 354,54 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 354,54 = 8,89 \text{ м}$$

$$T = \frac{8,89}{0,5} = 17,78$$

$$Lg(0,6/17,78^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-0,846 = -0,54$$

$$\Delta = 0,306$$

За рівнянням (7) розраховується шоста інтеграція при $f = 0,25\%$

$$Lg(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,25^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,384$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,25 = 0,049, \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,049}{0,00011} = 445,45 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 445,45 = 11,18 \text{ м}$$

$$T = \frac{11,18}{0,5} = 22,36$$

$$\text{Lg}(0,384 / 22,36^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-1,091 = -0,54$$

$$\Delta = 0,551$$

За рівнянням (7) розраховується сьома інтеграція при $f = 0,3\%$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,3^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,266$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 0,196 \cdot 0,3 = 0,058, \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,058}{0,00011} = 527,27 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,0251 \cdot 527,27 = 13,23 \text{ м}$$

$$T = \frac{13,23}{0,5} = 26,46$$

$$\text{Lg}(0,266 / 26,46^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,368$$

$$-1,289 = -0,54$$

$$\Delta = 0,749$$

Таблиця 10 - Залежність величин Δ від вільного перетину f

f	0,06	0,08	0,1	0,16	0,2	0,25	0,3
Δ	1	0,384	0,246	0,063	0,306	0,551	0,749

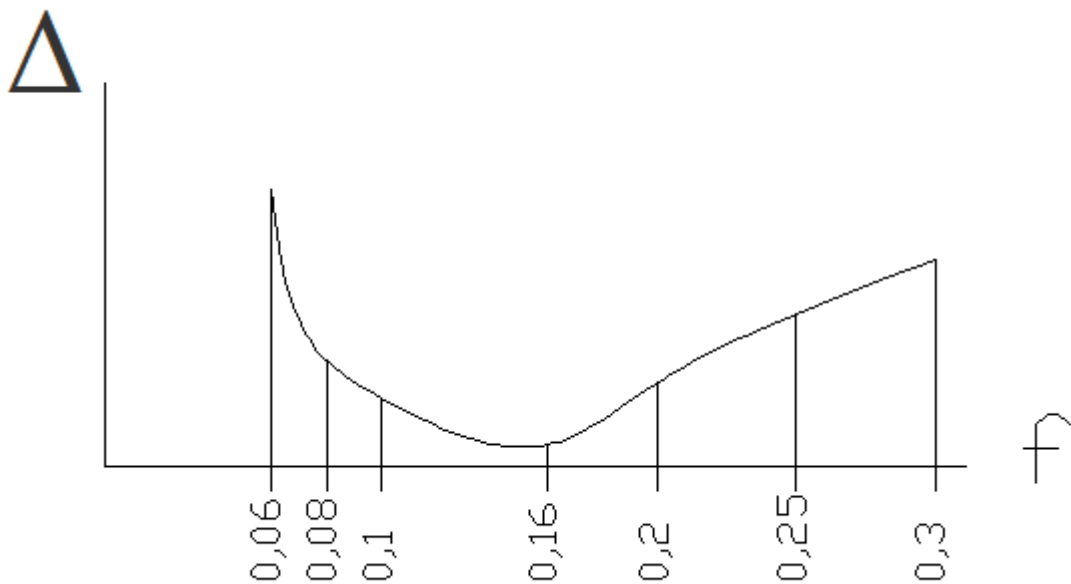


Рисунок 10 - Графік залежності Δ від вільного перетину f

Величина Δ є мінімальною на графіку у точці, яка відповідає вільному перетину $f=0,16\%$, тому для колони з діаметром $D=0,5\text{м}$ вибираємо тарілки з вільним перетином $f=0,16\%$.

10 Матеріал колони

Для суміші нітроолеум-фтористий водень потрібно підібрати матеріал з якого буде виготовлений колоний апарат. Ми вибрали сталь 02X8H22C6 (ЕП794).

Група: Високолеговані сталі аустенітного класу.

Цю групу сталей використовують для служби в середовищах підвищеної агресивності. Під терміном "високолеговані" мають на увазі групу матеріалів, по мірі легированности що перевищують найбільш широко поширені аустенітні сталі типу 18-10. Крім того, високолеговані сталі зазвичай легують певними елементами (Mo, Si та ін.) з метою підвищення опірності матеріалу в конкретному електроліті або якому-небудь виду корозії.

Застосування сталі 02X8H22C6

Сталь 02X8H22C6 застосовується для виготовлення зварного хімічного устаткування, працюючого під впливом концентрованої азотної кислоти при високих температурах (85%-ная концентрація і вище при температурі до 100 °С). Сталь виплавляють з використанням спеціальних методів виплавки : електрошлакової переплавки, плазмено-дугової і вакуумно-дугової переплавок.

Фізичні властивості сталі

Плотность - $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность - $0,134 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Модуль упругости - $17,8 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Корозійна стійкість сталі

02X8H22C6 По ТУ 14-1-3801-84, ТУ 14-1-5076-91 сталь 02X8H22C6 не має бути схильна до межкристаллитной корозії після випробування в киплячому 72%-ном розчині азотної кислоти впродовж 24 ч. Перед випробуванням сталь піддається провокувальному нагріву при 600 °З впродовж 20 мін, охолодження на повітрі.

Технологічні параметри 02X8H22C6

Температурний інтервал гарячої пластичної деформації сталі 02X8H22C6 складає 1150-850 °З, в гарячому і холодному стані сталь добре піддається гібке, а також штампуванню. Рекомендований режим термічної обробки : загартування з 1050 °З у воді; час нагріву і витримки задають з розрахунку 2 мін/мм товщини напівфабрикату або виробу. Аналогічну обробку застосовують і для зняття наклепання після гарячої і холодної пластичної деформації.

Хімічний склад сталі

C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
≤0,020	≤0.020	≤0.030	≤0.60	7,5-10,00	5,40-6,70	21,0-23,0	Ост.

Зварювання сталі 02X8H22C6

Сталь 02X8H22C6 зварюється ручним і автоматичним зварюванням. Для ручного зварювання електродуги використовують електроди марки ОЗЛ- 24 з дротом із сталі 02X17H14C4. Для автоматичного аргонодугової зварювання електродуги і ручної рекомендується дріт із сталі 02X8H22C6. Швидкість корозії зварних з'єднань, виконаних усіма вказаними способами, в 98%-ной HNO₃ при 100 °З складає 0,22 мм/рік. Щоб уникнути виникнення схильності зварних з'єднань до межкристалитної корозії устаткування після зварювання необхідно піддавати термічній обробці (загартування з 1050 °З у воді)

11 Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0,057$

м

Приймаємо діаметр колони $D = 0,057$ м. та рекомендована швидкість пари у колоні $W = 1,4$ м/с

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 0,057^2 = 0,00255 \text{ м}^2$$

тоді

$$V = w \cdot 0,785 D^2 = 1,4 \cdot 0,785 \cdot 0,057^2 = 0,0035 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_n = V \cdot \rho_n$$

$$G_n = 0,0035 \cdot 2,361 = 0,0082 \text{ кг/с}$$

Приймаємо щільність зрошування

$$L = 6,91 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год});$$

тоді кількість рідини в модельній колоні

$$G_p = L \cdot S$$

$$G_p = 6,91 \cdot 0,00255 = 0,019 \text{ кг/с}$$

$$\rho_p = 1497 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = 2,361 \text{ кг/м}^3;$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$d_0 = 0,012 \text{ м};$$

$$\mu_p = 0,4023 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_s = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$V = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$a = -1,68;$$

$$B = 1,188;$$

$$D = 0,057 \text{ м};$$

Розраховуємо витрату пари, кг/с

$$V_n = S \cdot W$$

$$V_n = 0,00255 \cdot 1,4 = 0,0035 \text{ кг/с}$$

$$V_n = 0,0035 \text{ кг/с}$$

Розраховуємо витрату рідини, кг/с

$$V_p = L \cdot S$$

$$V_p = 6,91 \cdot 0,00255 = 0,0019$$

$$V_p = 0,0019 \text{ кг/с}$$

За рівнянням (7) розраховується восьма інтеграція при $f = 0,06\%$

$$Lg(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

де w – декомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,4$$

ρ_p – питома вага рідини, кг/м³;

$$\rho_p = 1497 \text{ кг/м}^3;$$

ρ_g – питома вага газу (пара), кг/м³;

$$\rho_g = 2,361 \text{ кг/м}^3;$$

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

d_0 – діаметр отворів в тарілці, м;

$$d_0 = 0,012 \text{ м}$$

μ_p – в'язкість рідини, Па·с;

$$\mu_p = 0,4023 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

μ_g – в'язкість води при, 20°, Па·с;

$$\mu_g = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,06^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 6,56$$

Розраховуємо кофіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (59) розраховуємо периметр отворів, м

$$\Pi = \pi d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,037, \text{ м}$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

За формулою (61) розраховуємо площу колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 0,057^2 = 0,002551 \text{ м}^2$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,06 = 0,000153 \text{ м}^2$$

За формулою (62) розраховуємо площу одного отвору, м²

$$S'_0 = \pi \cdot R^2$$

$$S'_0 = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,00011 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,000153}{0,00011} = 1,4 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 1,4 = 0,052 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,052}{0,057} = 0,912$$

X – комплекс нанесений на осі абсцис

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_e}{\rho_p} \right)^{1/8}$$

$$X = \left(\frac{0,0022}{0,0028} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,361}{1497} \right)^{1/8} = 0,419$$

$$Lg(6,56 / 0,912^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$0,836 = -0,628$$

$$\Delta = 1,454$$

За рівнянням (7) розраховується дев'ята інтеграція при $f = 0,08\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,08^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 3,94$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, m^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,08 = 0,000204 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,000204}{0,00011} = 1,85 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 1,85 = 0,07 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,07}{0,057} = 1,22$$

$$Lg(3,94/1,22^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$0,552 = -0,628$$

$$\Delta = 1,18$$

За рівнянням (7) розраховується десята інтеграція при $f = 0,1\%$

$$Lg(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_s} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,1^2} \cdot 2,361 / 1497 \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 2,51$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, m^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,1 = 0,0002551 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,0002551}{0,00011} = 2,31 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 2,31 = 0,085 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,085}{0,057} = 1,5$$

$$Lg(2,51 / 1,5^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$0,311 = -0,628$$

$$\Delta = 0,939$$

За рівнянням (7) розраховується одинацята інтеграція при $f = 0,16\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_s} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,16^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,919$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, m^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,16 = 0,00040816 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,00040816}{0,00011} = 3,71 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 3,71 = 0,14 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,14}{0,057} = 2,5$$

$$Lg(0,919 / 2,5^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$-0,235 = -0,628$$

$$\Delta = 0,393$$

За рівнянням (7) розраховується 20- та інтеграція при $f = 0,2\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,2^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,585$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,2 = 0,0005102 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,0005102}{0,00011} = 4,63 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 4,63 = 0,171 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,171}{0,057} = 3$$

$$Lg(0,585 / 3^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$-0,471 = -0,628$$

$$\Delta = 0,157$$

За рівнянням (7) розраховується тринадцята інтеграція при $f = 0,25\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,25^2} \cdot 2,361 / 1497 \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,372$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,25 = 0,00063775 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,00063775}{0,00011} = 5,8 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 5,8 = 0,215 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,215}{0,057} = 3,78$$

$$Lg(0,372 / 3,78^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$-0,718 = -0,628$$

$$\Delta = 0,09$$

За рівнянням (7) розраховується чотирнадцята інтеграція при $f = 0,3\%$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}$$

$$Y = \frac{1,4^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,3^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 2,76$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

$$T = \frac{\sum \Pi}{D}$$

Розраховуємо сумарний периметр отворів за формулою (58)

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n$$

За формулою (60) розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = S \cdot f = 0,002551 \cdot 0,3 = 0,0007653 \text{ м}^2$$

За формулою (63) розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0}$$

$$n = \frac{0,0007653}{0,00011} = 7 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,037 \cdot 7 = 0,259 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,259}{0,057} = 4,54$$

$$\text{Lg}(2,76 / 4,54^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,419$$

$$0,112 = -0,628$$

$$\Delta = 0,74$$

‘

Таблиця 11 - Залежність величин Δ від вільного перетину f

f	0,06	0,08	0,1	0,16	0,2	0,25	0,3
Δ	1,454	1,18	0,939	0,393	0,157	0,09	0,74

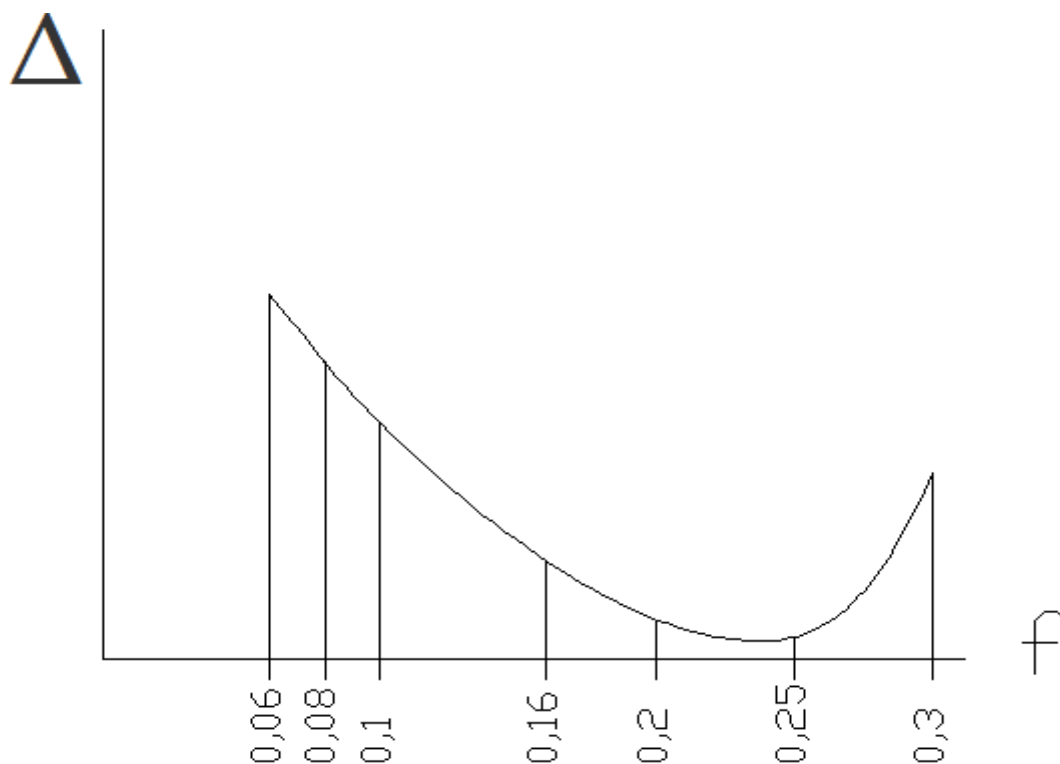


Рисунок 11 - Графік залежності Δ від вільного перетину f

$$D=0.057\text{m}$$

Висновки: на прикладі розрахунку колони основної ректифікації утилізації

нітроолеуму, який містить фтористий водень ємністю 4000 т / рік, було виконано гідродинамічне моделювання тарілок провального типу. Під час гідродинамічного моделювання використовувалися експериментальні дані, отримані на колонці діаметром 57 мм на моделі водно-повітряної системи.

Значення Δ є мінімальне на графіку в точці, що відповідає вільному перетину $f = 0.25\%$; тому для стовпчика з діаметром $D = 0.057\text{m}$ вибираємо тарілки з вільним перетином $f = 0.25\%$.

12 Техніка безпеки

Основні відомості техніки безпеки

1. Вимоги безпеки під час виконання експериментів.

У лабораторіях кафедри устаткування хімічних підприємств забороняється :

12.1.1. включати і вимикати випробувальне устаткування без дозволу викладача або інженера кафедри;

12.1.2. торкатися до струмопровідних частин установок, електроприводів, електропроводів і кабелів;

12.1.3. торкатися до рухомих частин випробувальних машин і лабораторних установок;

12.1.4. відгвинчувати, загвинчувати вентилі, рукоятки, маховики, сигнальні лампи, електрозапобіжники лабораторного устаткування;

12.1.5. збірка і розбирання установок, що знаходяться під електронапругою;

12.1.6. залишати працюючі (включені) установки без нагляду;

12.1.7. знаходитися в лабораторіях у верхньому одязі, складати верхній одяг на лабораторному устаткуванні;

12.1.8. захаращувати проходи між лабораторними установками особистими речами (портфелями, сумками);

12.1.9. знімати захищаючі кожухи деталей або електричних пускорегулюючих пристроїв, що обертаються.

12.1.10. у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

12.2. Вимоги безпеки перед початком роботи

12.2.1. перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;

12.2.2. перевірити з'єднання електроустаткування з контуром захисного заземлення /занулення/, його справність, полягання інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння;

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

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

12.3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

12.3.1. студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;

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

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

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

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

12.3.6. забороняється підключати декілька споживачів електричної енергії до

однієї штепсельної розетки щоб уникнути перевантаження електричної мережі і виникнення загоряння;

12.3.7. забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками". Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що

калібруються;

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

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

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

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

12.3.12. робоче місце тримати в сухому і чистому стані;

12.3.13. 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;

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

12.4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

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

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

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

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

12.4.5. після закінчення роботи зняти спецодяг і помістити його в

спеціально відведене місце;

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

12.4.7. привести в порядок робоче місце;

12.4.8. здати ключі від лабораторії на вахту.

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

Висновки

1. Проведено гідродинамічне моделювання тарілок провального типу. Для утилізації компонентів ракетного палива на основі концентрованих азотних кислот і оксидів азоту, що містять сполуки фтороводню через забруднення навколишнього середовища; виділення шкідливої речовини та проведення утилізації суміші за допомогою ректифікації; проведення гідродинамічного моделювання дірчатих тарілок провального типу.

На розрахунок за рівняннями (3) – (6) меж режимів роботи тарілок провального типу значно впливає діаметр отворів, тому необхідні дослідження з метою вдосконалення методики розрахунку тарілок провального типу.

2. За допомогою рівняння (7) можна здійснювати гідродинамічне моделювання роботи тарілок провального типу.

3. Показаний приклад розрахунку швидкості газу в точці біфуркації тарілок провального типу з діаметром $D = 0,5$ м, з використанням даних отриманих при дослідженні тарілок провального типу в колоні з діаметром $D = 0,057$ м.

4. Для моделювання швидкості в точці біфуркації необхідно в колоні діаметром $D = 0,5$ м встановити дірчасті тарілки провального типу з вільним перерізом $f = 0,16$, при цьому швидкість розрахована на повний переріз колони складе $w = 1,5$ м/с, і щільність зрошення буде $L = 2,78 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$.

5. Проведені в роботі дослідження підтвердили розрахункові дані. При щільності зрошення $L = 2,78 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$, в колоні діаметром $D = 0,057$ м, швидкість повітря в точці біфуркації склала $w = 1,5$ м/с. Вільний переріз тарілки становив $f = 0,2$.

6. Таким чином, за допомогою рівняння (2), можна здійснювати гідродинамічне моделювання газорідного шару на дірчатих тарілках провального типу великого діаметру ($D = 0,5$ м), використовуючи експериментальні дані отримані на колоні діаметром модельного розміру ($D = 0,057$ м.)

Перелік джерел посилання

1. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.
2. Стабников В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности : обзор / Стабников В. Н., Штромило М. И. – М. : ЦНИИТЭИ - пищепром, 1971. - 20 с.
3. Стабников В. Н. Применение решетчатых провальных тарелок в процессе перегонки ацетоно-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).
4. Опыт внедрения на предприятиях ацетоно- 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.
5. 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.
6. Опыт использования тарельчатого абсорбера для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа / Кузнецов В. Я., Шебастюк И. М., Большакова Л. Н., Конкина И. Н. – Кокс и Химия. - 2005. - № 2. - С. 22-23.
7. Стабников В.Н. «Расчет и конструирование контактных

устройств ректификационных и абсорбционных колонн» «Техника», 1970, 208 стр.

8. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д. Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. Ткач Г. А. Моделирование десорбционных процессов содового производства / Ткач Г. А., Смоляк В. Д. - Л. : Химия, 1973.

13. Рамм В. М. Абсорбция газов / Рамм В. М. - Изд. 2-е. - М. : Химия, 1976. - 655 с.

14. Лоскутов А. Ю. Введение в синергетику: учеб. рук. / Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 272 с.

15. Металлы и сплавы: марки и химический состав. Составитель Беккерев Игорь Васильевич, Редактор И. В. Беккерев, Корректор Д. С. Терехов, Ульяновск: УлГТУ, 2007. - с. ISBN 978-59795-0042-3 Дополненное издание

16. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учеб. для

машиностроит. вузов/ Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.] - 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982. – 423 с. : ил.

17. Зелинский Ю.Г. Кафаров В.В., «Химическая промышленность», 1961, №2.

18. Касаткина А. Г., Дытнерский Ю. И. и др., «Химическая промышленность», 1958, № 3.

19. Касаткин А.Г., Дытнерский Ю. И. и др., Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, вып. XXXIII, 1961.

20. 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.

21. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты, «Химия», М.— Л., 1965.

22. 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.

23. Взаимодействие газов с жидкостями в пенном режиме / [И.П. Мухленов, Г.А. Ткач, И. Д. Зайцев и др.];– Химическая промышленность. 1983. № 3 С. 38-41.

24. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов – М. Химия, 1972, 200 с.

25. 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.

26. Taranenko, G. V. Calculation of the lower operating limit of dual-flow plates with different geometrical characteristics [Text] / G. V. Taranenko // ScienceRise. – 2015. – Vol. 3, Issue 2 (8). – P. 67–73. doi: 10.15587/2313-8416.2015.39196