

Вступ	6
1. Опис контактних пристроїв	7
2. Застосування тарілок провальнотипу	11
3. Принцип роботи провальних тарілок	13
3.1 Режими роботи тарілок провальнотипу.....	13
3.2 Результати досліджень меж роботи тарілок провальнотипу.....	17
4. Розрахунок режимів роботитарілок.....	25
5. Теорія масштабногопереходу	32
6. Опис експериментальної установки для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною $D = 0,057$ м.	34
6.1 Опис експериментальної установки з колоною $D = 0,057$ м:.....	34
6.2 Схема лабораторноїустановки.....	35
6.3 Експериментальнедослідження	35
6.4 Пускколони.....	36
6.5 Зупинкаколони.....	36
7. Експериментальні дані.....	37
8. Розрахунок основних параметрів роботиколони.....	39
8.1 Матеріальний баланс колони.....	42
8.2 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз	4
8.3 Визначення основних геометричних параметрів колони.....	49
9. Матеріал колони	50
10. Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 1,2$ м	52
11. Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0.057$ м	61
Висновки	74
Література	75
Додатки	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- g – прискорення сили тяжіння, м/сек²
 F_c – живе перетин, м²/м²
 a – ширина щілини, м
 γ_g 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_g 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;
 $G_{ф}$ – кількість флегми, кг/год;
 G_f – кількість вихідної суміші, 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_e – 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

У харчовій, хімічній, та нафто-хімічній промисловостях широко застосовуються тарілчасті колонні апарати. [1 – 6]

В ректифікаційних колонах використовують тарілки різних конструкцій (ковпачкові, клапанні, струйні, провальні), які відрізняються по свої робочим характеристикам і технічно - економічним даним. При виборі конструкції контактної пристрою учитуються як їх гідродинамічні і масообмінні характеристики, так і економічні показники роботи колони при використанні того чи іншого типу контактних пристроїв.

У наш час в промисловій практиці відомо сотні різних конструкцій тарілок, які можна класифікувати по способу передачі рідини з тарілки на тарілку, по способу взаємодії рідинної та газової фаз, по характеру диспергування взаємодіючих фаз, по конструкції пристрою для введення пара (газу) в рідину і ін.

Тарілки провального типу зручні в експлуатації, прості за конструкцією, легкі у виготовленні, мають низьку металоємність, що дає можливість зменшити витрати на їх виготовлення. Їх часто застосовують на виробництвах, де є забруднене середовище. Це пояснюється тим, що в ректифікаційних апаратах можна застосовувати крупно-дірчасті тарілки з великим діаметром отворів (до 120 мм), за допомогою яких можна усунути можливе забиття отворів при роботі.

Одними з недоліків таких тарілок є вузький діапазон їх роботи, проте це можна усунути через точну методику розрахунку.

Актуальність теми. В наші часи тарілки провального типу дуже часто застосовуються у промисловості, коли працювати потрібно із середовищами, в яких можливе забруднення отворів контактних пристроїв.

У роботі застосовуються гідродинамічне моделювання тарілок провального типу з метою удосконалення методики їх розрахунку.

1. Опис контактних пристроїв

За останні роки в хімічній технології для здійснення контакту газу (пари) з рідиною все більше застосування знаходять тарілки провального типу, без спеціальних переливних пристроїв, що значно спрощує конструкцію тарілки, і її площа використовується більш повно.

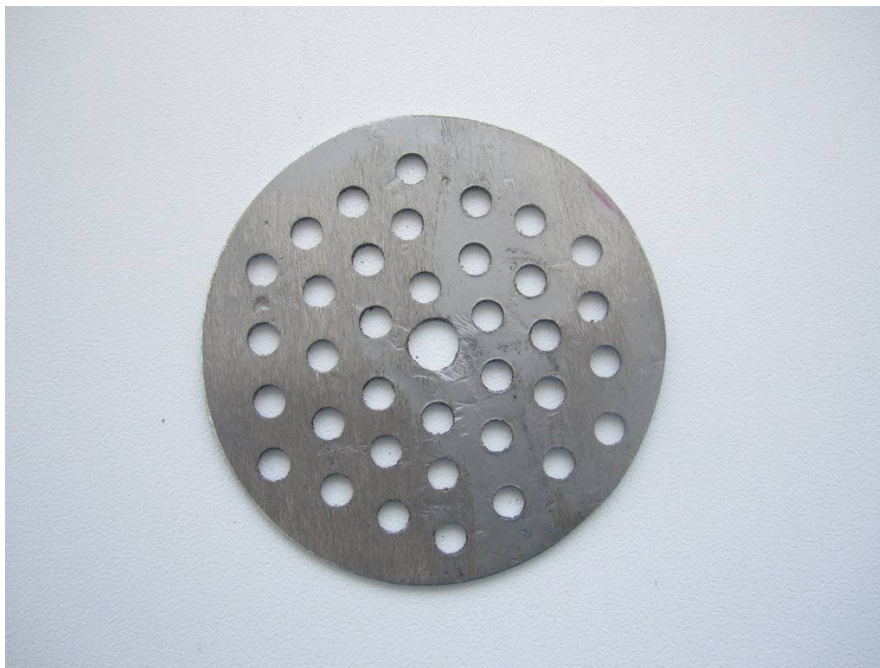


Рис.1 Дірчаста тарілка

Противоточна дірчаста тарілка. Дірчасті тарілки (рис. 1) аналогічні по влаштуванню сітчастим тарілкам і відрізняються від останніх лише відсутністю зливних пристроїв. Застосування отворів великого діаметру якісно змінює роботу дірчастих протиточних елементів в порівнянні з роботою звичайних одноковпачкових тарілок. Слід зазначити, що дірчасті тарілки за своїми показниками відрізняються від прийнятих в промисловості сітчатих тарілок (з отворами діаметром від 1 до 20 мм) і від протиточних ґратчастих тарілок.

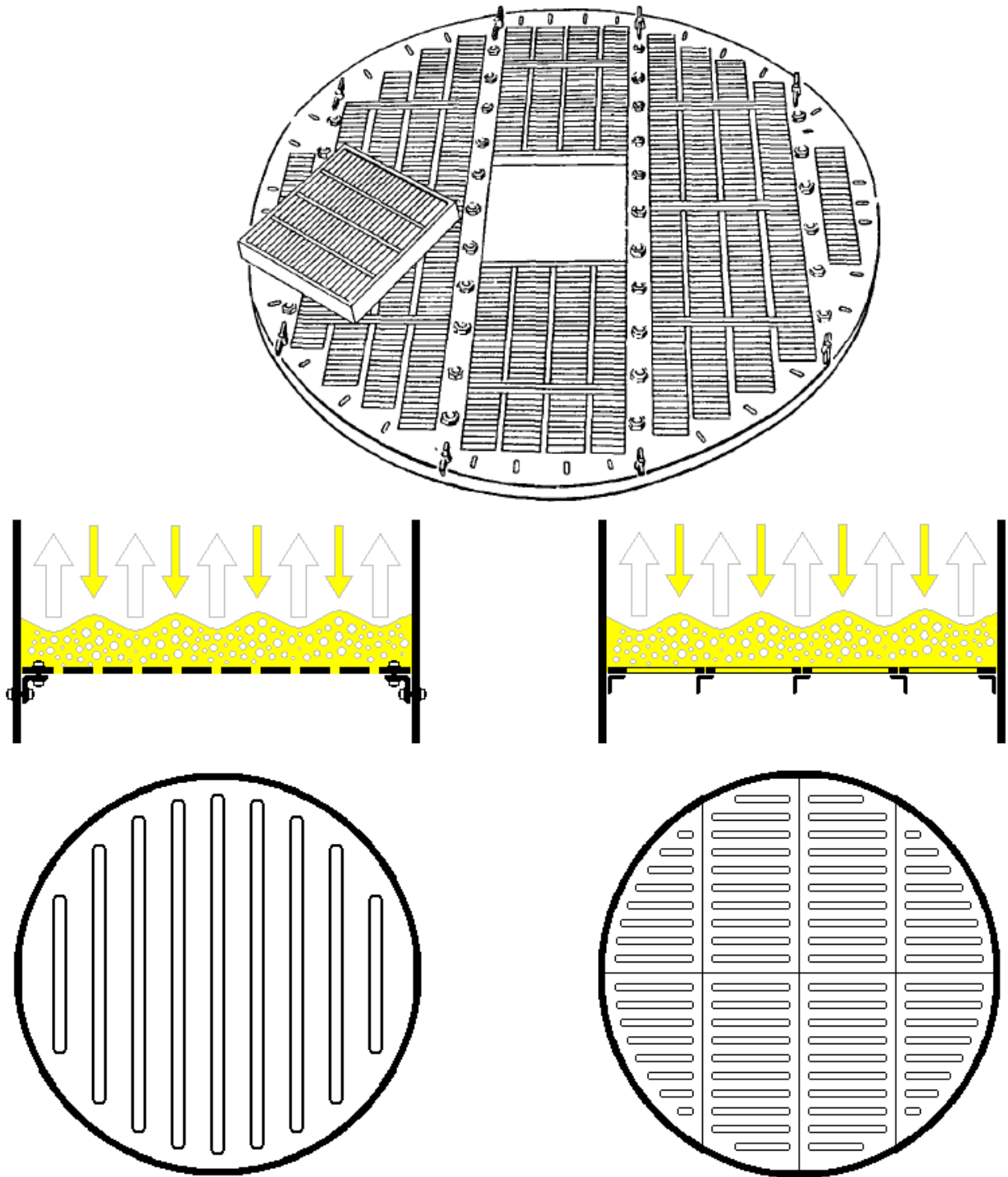


Рисунок 2. Решітчаста тарілка [7]

Тарілки провального типу від інших тарілок відрізняє схема протитоку, за допомогою якої відбувається інтенсивне перемішування рідини по всій висоті зони контакту. Крізь ті ж самі отвори на контактних пристроях газ або пара піднімається догори, а рідина йде протитоком назустріч вниз. При контакті газу (пари) та рідини проходить перемішування за всією площею тарілки, і, як наслідок, на тарільці з'являється новоутворена дисперсна система. На неї впливає ряд факторів: лінійна

швидкість газу (пари), геометричні розміри тарілки, а також фізичні властивості фаз.

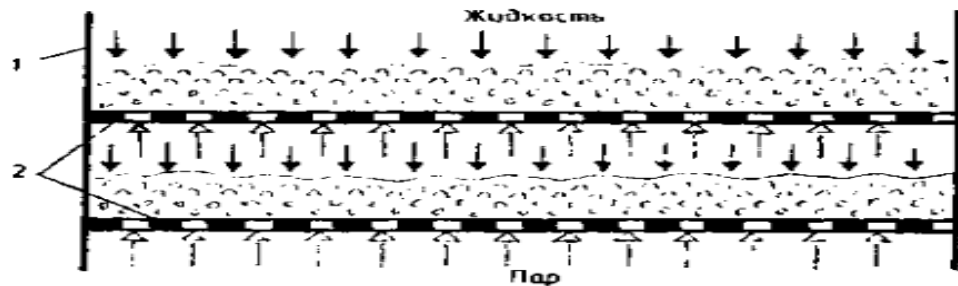


Рисунок 3. Робота провальних тарілок

Робочі характеристики тарілок провального типу можуть бути кілька поліпшені, якщо частина щілин (близько 50%) забезпечити крайками, відігнутими вниз (назустріч потоку пара). За інших рівних умов такі тарілки мають ширші (на 10 ... 15%) межі робочих навантажень і велику (на 15%) продуктивність, ніж стандартні. Відігнуті вниз кромки щілин надають полотну тарілки велику жорсткість, що дозволяє застосовувати метал меншої товщини (1,5 ... 2,0 мм замість 3 ... 4 мм). Ширину щілин рекомендується приймати на рівні 5 ... 6 мм, довжину 100 мм. Тарілки цього типу можуть бути встановлені в колонах як малого (менше 400 мм), так і великого діаметрів

У тих колон з тарілками, які не мають тарілок з переливними пристроями, є ряд переваг, якщо порівнювати їх з колонами, які мають тарілки інших типів: в них продуктивність більше висока, робота стійка навіть, якщо навантаження змінюватимуться в широких межах, ефективність поділу є високою, затрати на виготовлення та установку відносно низькі, а також в них менші експлуатаційні витрати.

Зовнішній вигляд тарілки. Це плоский лист, який має товщину 2,5—6 мм і його склад входять окремі секції, які кріпляться за допомогою опорного кільця та балок каркасу, які перекривають увесь переріз колони. Виконання щілин таких тарілок проходить з за допомогою штампування або фрезерування. Ширина щілини складає 3–8 мм і довжина 60 і 200 мм для прохода парової і рідкої фази. Їх площа складає 10%-30% від площі контактної пристрою. На суміжних тарілках щілини розташовані взаємно перпендикулярно. Тарілками розташовують одна від одної на відстані 300-600 мм. Тарілки, які мають діаметр до 800 мм виготовляються цільним листом. Тарілки великого діаметру виготовляють із секцій, які мають таку

ширину, щоб їх можна було монтажувати через люк.

Тарілки провального типу не виконують зі спеціальними переливними пристроями, у них рідина стікає з тарілки на тарілку через ті ж щілини або отвори, через які догори проходить пар. За нормальної роботи тарілок місця, в яких рідина стікає і барботує пар, розташовані рівномірно по всьому перерізу тарілки. Область стійкої роботи тарілки, чутливості до коливань навантаження, а також забруднень і опадом, через які забиваються отвори тарілки, відповідає таким навантаженням пара і рідини, за якими відбувається найбільший контакт і найефективніший поділ.

Нароботу тарілок великий вплив робить межтарілчата відстань. Вона визначається в першу чергу необхідністю створення умов для контакту пари і рідини, що відбувається в зонах з барботажем, піни та бризок. Ці зони розташовані послідовно над тарілкою і повинні вміщуватися між суміжними тарілками. Висота кожної зони визначається фізичними властивостями рідини, яка розділяється, конструкцією тарілки, навантаженням по пару і зазвичай знаходиться досвідченим шляхом. При роботі з рідинами, що дають рихлу піну, винесення рідини в основному відбувається за рахунок пластівців піни, що володіють високою парусністю.

Відстань між тарілками провального типу приймають рівним або трохи більше суми висот барботажного шару і сепараційного простору.

При роботі тарілок провального типу при великих діаметрах колони виникає поперечна нерівномірність, що збільшується при зменшенні швидкості пари і приводить до різкого зниження загальної ефективності контактної пристрою.

Гідродинамічний режим роботи тарілок у чому залежить від співвідношення навантажень по газу і рідини та конструкції тарілок.

Нормальний режим роботи тарілки визначається правильною організацією потоків рідини і пари. За межами нормального режиму роботи тарілки знаходяться всі розглянуті режими.

Вивчення гідродинамічних режимів роботи тарілок показує, що верхні граничні навантаження колон з ґратчастими тарілками провального типу відповідають таким витратам фаз, при яких відбувається захлинання апарату внаслідок інтенсивного росту опору і висоти спіненого шару рідини на тарілках.

2. Застосування тарілок провального типу

Тарілки провального типу часто застосовують у виробництвах різних речовин, таких як сода, мокра очистка газів від пилі, у виробництві коксу. Їх порівняно дуже просто виготовити та надійно експлуатувати.

У гратчастих тарілках, у яких діаметр щілин не дуже невеликий, можна помітити наступні недоліки: щілини можуть забиватися, при виході режиму роботи за межі оптимальності, робота тарілки перетає бути стійкою.

Такі провальні тарілки, як дірчасті, за наявності перелива можуть працювати у широкому діапазоні навантажень, це дає змогу робити ректифікацію, починаючи від 50 до 60% від номінального навантаження.

Рекомендується застосовувати дірчасті тарілки провального типу з центрами отворів, які мають ромбічну розмітку, таку ж, як в апаратах із переливами. За влаштуванням дірчасті тарілки є аналогічними до сітчастих тарілок і на відміну від них не мають зливні пристрої.

Було випробувано дірчасті тарілки, у яких живий перетин складає від 7,6 до 22,5% (діаметр отворів складає від 3,5 до 5,3 мм) і трубчасті тарілки. Останніє менш ефективними.

Можна назвати перспективними і цікавими гратчасті та дірчасті тарілки. Вони не мають переливних пристроїв, які мають сітчасті, пінні та ковпачкові тарілки.

На процес ректифікації також впливає вільний переріз тарілок, їх товщина, форма отворів і порядок розміщення на тарілці - інколи крізь щілинні решітки може пройти менше рідини, ніж крізь дірчасті тарілки.

Противоток у дірчастих тарілках. Коли застосовують отвори великого діаметру, робота дірчастих тарілок якісно змінюється порівняно з тим, як працюють звичайні одноковпачкові тарілки. Дірчасті контактні елементи відрізняються від сітчастих та

гратчастих за показниками, прийнятими у промисловості (\emptyset отворів у них від 1 до

20 мм).

Велика кількість рідини, яка знаходиться на барботажних тарілках, змушує збільшувати масу колони, щоб задовольнити умови міцності, а також змушує будувати потужні фундаменти, чим завдає більш складне управління апаратами та колонами ректифікації, а також підготовчі операції при проведенні чистки та ремонту. Для того, щоб щілини не забивалися, використовують крупнодірчаті тарілки провального типу.

3. Принцип роботи провальних тарілок

3.1 Режими роботи тарілок провального типу

Однією з важливих характеристик роботи тарілок провального типу є діапазон їх стійкої роботи. Ця характеристика пов'язана з режимами роботи тарілок провального типу, які виникають при збільшенні швидкості газу (пари) в перерізі колони при одній і тій же самій щільності зрошення.

У роботі [2] ці режими відображені на графіку залежності гідравлічного опору тарілок провального типу від швидкості газу (пари) у перерізі колони (рис. 18) і визначені наступним чином:

- режим змоченою тарілки (I) існує, якщо швидкість пари (газу) мала. Контакт пари і рідини відбувається на поверхні через стікаючі з тарілок краплі і струмені рідини, які піднімаються. Цей режим не є робочим;

- барботажний режим (II) спостерігається, коли швидкість збільшується. На тарільці існує шар світлої рідини, через який барботує пар і шар піни. При подальшому збільшенні швидкості пари висота шару світлої рідини зменшується, а висота шару піни збільшується;

- режим емульгування або аерації (III), яких характеризується тим, що шар світлої рідини майже повністю зникає. На тарільці з'являється сильно турбулізований шар піни. Цей режим також, як і режим (II), є робочим;

- хвильовий режим (IV) спостерігається при подальшому збільшенні швидкості пара. Рідина і піна на тарільці приходять в хвилеподібний рух;

«Захлинання» настає при збільшенні швидкості пари, коли рідина та піна не стікають з тарілки, а викидаються на вище лежачу тарілку.

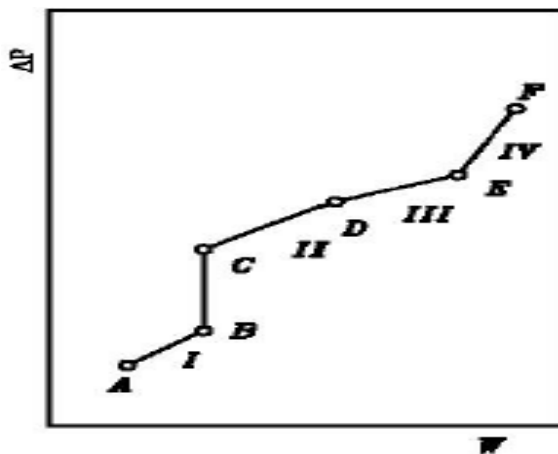


Рис.3. Графік залежності опору тарілок провального типу від швидкості пари:

I – IV – гідродинамічні режими роботи.

Точки B, C, D, E уявляють собою моменти переходу від одного режиму до іншого. Точка E визначає максимально допустиму швидкість пара в колоні.

У роботі [9] наведено графік (рис. 4) залежності швидкості газу в перерізі колони від гідравлічного опору тарілок провального типу. На графіках критичними точками A і B характеризуються гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу.

В роботі зазначається, що при невеликих швидкостях газу до момента, відповідного точці A ($L = \text{const}$), рідина на тарілці не затримується. При збільшенні швидкості газу (точка A і вище) відбувається поступове накопичення рідини та видно шар, через який барботують бульбашки газу. Якщо і далі збільшувати швидкість газу (від точки A до точки B) - шар рідини на тарілці провального типу буде зменшуватися і буде зростати величина спіненого шару. При збільшенні швидкості вище точки B настає режим захливання колони. Автори роботи відзначають, що іноді (зазвичай на тарілках, у яких великий вільний перетин) перелом прямої в точці B не виявляється. Однак, при швидкостях вище цієї точки можемо спостерігати утворення нового гідродинамічного режиму, який називають струминним або ежекційним. Характеризується цей режим

роботи тим, що газові струмені пробивають шар рідини на тарільці, не розсіюючись в ній, а раніше утворена піна руйнується і рідина знаходиться у стані великих бризок і струменів.

Необхідність визначення меж швидкості газу у перерізі колони, при яких на тарільці провального типу буде існувати пінний режим, вказується у роботі [10]. Можна зазначити, що отримана раніше залежність для визначення початку хвильового режиму на гратчастих тарільках виявилася неприйнятною, тому що 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 $w_{кр}$.

У роботі проведено аналіз механізму переходу від пінного режиму до хвильового режиму наступним чином. При певній швидкості газу w_r і постійної щільності зрошення починається перехідний між пінним і хвильовим режимами, при якому збільшення ІН з зростанням w_r практично дорівнює нулю. Можна відзначити, що при пінному режимі зі збільшенням w_r , частка вільного перетину тарільки $(1 - \tau)$, яка зайнята газом, зростає. При незмінній кількості рідини, яка підводиться до тарільки, і зниженню частки отворів τ , через які проходить масообмін, природно повинна збільшуватися швидкість витікання рідини w_p . В іншому випадку повинен був би інтенсивно наростати шар піни на тарільці, що в цей період спостерігається (перехід від пінного режиму до хвильового режиму). Збільшення ж w_p можливо тільки з ростом гребенів хвиль на поверхні шару піни, висота яких Δh викликає витікання рідини. Із збільшенням Δh відбувається зменшення слою рідини, який затримується на тарільці h_0 . За певного моменту збільшення Δh досягає таких розмірів, що починається розгойдування рідини на тарільці, та стає вже очевидним хвильовий режим. Величина h_0 досягає при цьому мінімальних значень, тому стають можливими струменеві прориви газу, збільшується бризкоуніс, а також стає можливим і зменшення ефективності пиловловлення. Про нестійкий

характер перехідного режиму кажуть наступні спостереження при експериментах. При $w_T > 2,0$ м/с зі зростанням швидкості газу іноді спостерігалось збільшення ІН, що супроводжується закономірним підняттям шару піни на тарільці, як раптом несподівано без будь-яких змін w_T і щільності зрошення шар піни знижувався. Значення ІН падало, при цьому виникав яскраво виражений хвильовий режим (рідина починала підкидуватись над тарілкою, а в окремих ділянках тарілка навіть практично оголювалася). Подібна ж картина спостерігалася також у зворотному порядку, коли знижували w_T при хвильовому режимі. Легко побачити, що причина цих явищ у накладанні коливань, що мають місце в шарі піни. Якщо продовжити розглядати гідродинамічний процес на тарільці зі зростанням w_T , то, очевидно, що в подальшому зменшення τ вже не зможе компенсуватися збільшенням w_p , починається різке збільшення шару рідини на тарільці, що в кінці кінців призводить до режиму захлинання.

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

Характерним для роботи подібних тарілок є інтенсивний бризкоуніс, особливо при високих швидкостях газу в перерізі колони ($w > 1-2$ м/с), тому що практично немає сепаруючого шару газорідинної піни.

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

перетином і невеликим еквівалентним діаметром отворів ($f < 15\%$, $d_e < 0,006$ м) можна спостерігати тільки перехідний режим.

В монографії [13] було проведено огляд робіт по визначенню режимів роботи тарілок провального типу. Зазначається, що різні дослідники по-різному оцінюють візуальну картину, що спостерігається за тих чи інших режимах на тарілках провального типу, та називають по-різному ці режими. Перехід від одного режиму до іншого визначається гідродинамічними факторами, такими як швидкість газу та рідини, а також властивостями фаз і геометрії тарілки.

З розглянутих робіт можна зробити висновок, що різні автори по-різному оцінюють режими роботи провальних тарілок. Немає єдиної термінології у визначенні режимів роботи тарілок. Необхідно проводити подальше дослідження провальних тарілок з метою уточнення гідродинамічних особливостей їх роботи.

3.2 Результати досліджень меж роботи тарілок провального типу

Визначення меж роботи залежності мінімальної (w_{min}) та максимальної (w_{max}) швидкостей газу у перерізі колони від щільності зрошення L для тарілок, у яких малий вільний перетин, встановлених у колони 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	2,0	16	0,012
2		25	
3		36	
4	0,4	16	
5		36	

6		56	
7	0,3	16	0,008
8		36	0,012
9		56	
10	0,15	16	0,008
11		16	0,012
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 барботаажний шар. При швидкості w_{max} газорідинної шар на тарілці починав руйнуватися. В колонних діаметром $D = 0,057$ і $0,15$ м газорідинної шар при швидкості, що перевищує w_{max} , починав різко зростати до виходу через верх колони. У колоні $D = 2$ м, при збільшенні швидкості газу вище w_{max} , через частину рідини на тарілці газ взагалі не барботировав, 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 $D = 2$ м, при великій щільності зрошення. Значення вільних перерізів тарілок і діаметри отворів плато тарілки були близькі для колон різного діаметра.

На Рисунок 5 і 7 представлена структура барботаажного шару характерна для висоти барботаажного шару до $H \approx 0,1$ м.

Як видно з малюнків, барботаажний шар характеризується однорідної у всіх напрямках комірчастою структурою піни, горизонтальною поверхнею барботаажного шару, висота якої не змінюється в часі, для одних і тих же швидкостей газової і рідкої

фаз. Це говорить про те, що в барботажних 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 газорідинній шар не діють зовнішні сили, а діють тільки сили, в результаті яких він утворений, то таку систему можна назвати самоорганізується.

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



Рисунок 5. Робота тарілки провального типу в режимі однорідного барботажного шару: тарілка № 21 (таблиця 10), $L = 13,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $w = 0,56 \text{ м/с}$.

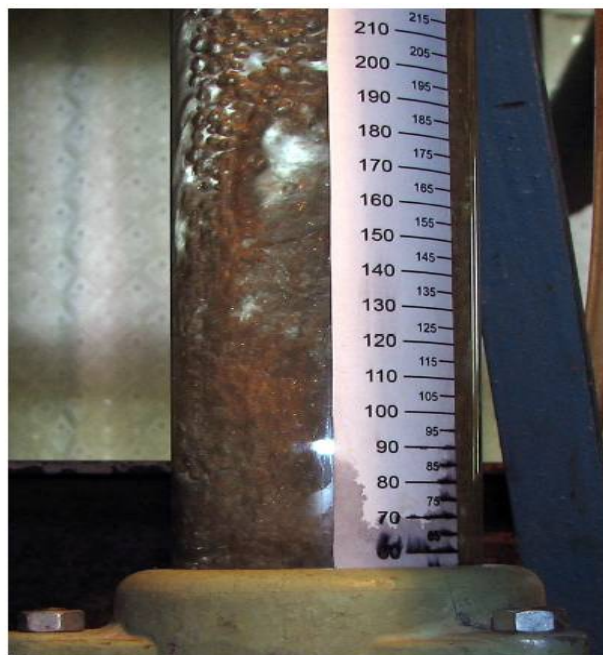


Рисунок 6. Робота тарілки провального типу в режимі рухомого газорідного шару: тарілка № 21 (таблиця 10),
 $L = 13,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $w = 1,44 \text{ м/с}$.



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



Рисунок 8. Робота тарілки провального типу в режимі рухомого газорідинного шару: тарілка № 10 (таблиця 10),

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

При досягненні висоти газорідинного шару більшою $H \approx 0,1$ м він втрачає стійкість (Рисунок 6, 8). Утворюється рухливий газорідинний 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 газожидкостному шарі спостерігаються 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 газожидкостному 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 бифуркацією [14,15].

Дослідження тарілок повального 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 $D = 2$ м, при w_{min} з'являвся газорідинний шар, який складався з крапель і плівок рідини з високим газосодержаним. Таким чином, в газожидкостном 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 $D = 2$ м вільної поверхні газорідинного шару не було. Тому w_{max} визначали (досить умовно) по висоті підкидання найбільш великих крапель і плівок рідини.

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

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 плато тарілки становив $d_0 = 0,012$ м (крім тарілки № 10, Таблиця 10, де $d_0 = 0,008$ 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.

Діапазон стійкої роботи тарілок провального типу пов'язаний з режимами її роботи. Автори [2, 9] розрізняють робочі і не робочі режими роботи тарілок провального типу. Наприклад, режим змоченою тарілки [2] і хвильовий режим [9] не є робочими режимами. У цій же роботі [9] рекомендується для роботи тарілок провального типу в процесах пиловловлення тільки пінний режим роботи тарілок.

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

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

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

Перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного шару в колоні $D = 0,15$ м здійснюється стрибкоподібно, тобто при незначній зміні керуючого параметра (швидкості газу в перерізі колони) відбувається стрибкоподібна зміна обумовленого параметра (гідралічного 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

газорідинного шару відбувається в точці біфуркації, коли відбувається принципова зміна структури барботажного шару, і основні його параметри (гідравлічний опір тарілки і висота газорідинного шару) в даній точці набувають певну амплітуду і частоту.

– перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідинного шару відбувається при висоті газорідинного 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 роботитарілок

Критична точка переходу до хвильового режиму від режиму емульгування (рис 3), тобто точку Е, за посібником Ю. Р. Зелінського [16] пропонується знаходити по рівнянню:

$$\lg \left(\frac{\omega^2}{g F_e^2 a} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \cdot \mu_{ж}^{0,16} \right) = 0,04 \frac{D}{a} - 1,75 \left(\frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \right)^{\frac{1}{8}}$$

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

g – прискорення сили тяжіння, м/сек²

F – перети́н, м²/м²

a – ширина щілини, м

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

$\mu_{ж}$ – в'язкість рідини, спз

D – діаметр колони, м

L і G – навантаження по рідині і газу, кг/м²сек

Для того, щоб визначити максимальну допустиму швидкість і вибрати робочу швидкість в колоні, використовуємо це рівняння.

Аналогічна формула запропонована А. Р. Касаткінімтаін [17] для точок В-С (підвисання).

$$\lg \left(\frac{\omega^2}{g F_e^2 a} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \cdot \mu_{ж}^{0,16} \right) = 1 - 2,45 \left(\frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \right)^{\frac{1}{8}}$$

Останній метод базується на кореляції двох комплексних величин Х і У. До кожної з цих величин входять параметри, які визначають роботу провальної тарілки.

Для визначення залежності від різних чинників граничних

швидкостей в колоні з тарілками провального типу, було побудовано графік (рис. 10.), який є аналогічнимраніше запропонованому для визначення граничних швидкостей у колонах з масообмінними насадками.

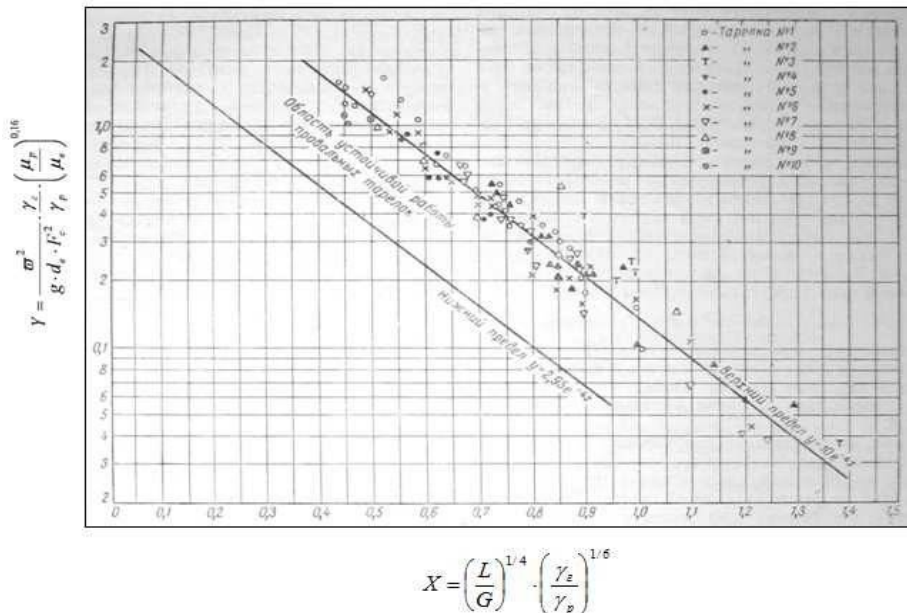


Рис. 10 Залежність відношення вагових швидкостей потоків від граничної швидкості газу (пара) (швидкості захлинання) у колонах з тарілками провального типу, їхні фізичні властивості і визначальні розміри тарілок ($D_k = 0,075$ і $0,240$ м, $f = 0,13 - 0,4$)

По осі абсцис нанесено комплекс

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{1/8} \tag{3}$$

а по осі ординат комплекс

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16} \tag{4}$$

де: L і G – вагові швидкості рідини і газу (пара), $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$; γ_r і γ_p – питомі ваги газу (пара) і рідини, кг/м^3 ;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

d_e – еквівалентний діаметр отвору в тарілці, м;

F_c – вільний переріз тарілки, м²/м²;

μ_p – густина рідини, сп;

μ_v – густина води при 20°, сп.

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

Відношення L/Gy дослідів змінювалося від 2,5 до 148, а швидкість – газу від 0,20 до 3,78 м/с. Швидкість захлинання або гранична швидкість газу w , м/с, визначалася візуально по різкому зростанню висоти шару піни на тарільці і по різкому збільшенню опору тарілки.

Для перевірки отриманих результатів на графіку були показані також дослідні дані інших авторів. З графіка випливає те, що 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 можна укласти на одну пряму (у напівлогарифмічних координатах), яку можна описати рівнянням:

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

де: e – основа натуральних логарифмів.

Отже, за рівнянням (5) можна визначити граничну швидкість газу (пари), але робоча швидкість має бути вибрана декілька більш нижчою за розраховану за рівнянням (5), оскільки у виробничих умовах можливе збільшення швидкості вище граничної, що призводить до порушення режиму роботи апарату. Нижня межа роботи тарілок провального типу обумовлюється повним зливом рідини з тарілок. Значення цієї швидкості можна визначити за допомогою дослідних даних, які представлені нижньою похилою прямою

(рис. 10). Ця пряма має однаковий нахил із прямою верхньої межі роботи (захлинання) тарілок і відповідає рівнянню $Y = 2,95 \cdot e^{-4x}$ (6)

У роботі [19] було проведено гідравлічні дослідження роботи тарілок провального типу в широкому діапазоні зміни вільного перерізу тарілок від $f = 16$ до 36 % у 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 за рідиною змінювалися в межах $L = 4 - 150$ м³/м²год, швидкість газу в перерізі колони досягала $w = 4$ м/с. Було також проведено гідравлічні та кінетичні дослідження тарілок провального типу на стенді з колоною $D = 0,3$ м при ректифікації системи нітролеум-йод. 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 за різними співвідношеннями між газовою і рідкою фазою.

Було встановлено три гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу:

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

Режим рівномірного барботажу характеризується однорідною завсіма напрямками структурою шару, горизонтальною вільною поверхнею барботажного шару, висота якої незмінюється з часом для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фаз. Це говорить про те, що у барботажному шарі сили тяжіння перевищують над силами інерції рідини.

За висотою барботажного шару $H = 0,08 - 0,1$ мм починається режим рухомого барботажного шару, який характерний відсутністю структурованої чарункуватої піни та криволінійною вільною поверхнею барботажного шару. Локальні висоти вільної поверхні барботажного шару змінюються з часом, також мають амплітуду і частоту для одних і тих самих швидкостей газової і рідкої фази.

Режим руйнування газорідного шару характеризується руйнуванням барботажного шару.

В роботі експериментально встановлено, що режим рухомого барботажного шару починається при висоті барботажного шару $H = 0,08 - 0,1$ мм, при цьому рідина фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною. Перш за все це стосується тарілок провального типу звичайного вільного перерізу (до 25%).

У роботі зроблено 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 за газом та рідиною, коли рідина фаза барботажного шару є суцільною, а газова (парова) – дисперсною;
- початок максимально ефективної роботи тарілок провального типу необхідно вважати за настанням режиму рухомого барботажного шару.

Авторами було зроблено розрахунки з написаних вище рівнянь та отримано результати у вигляді графіків.

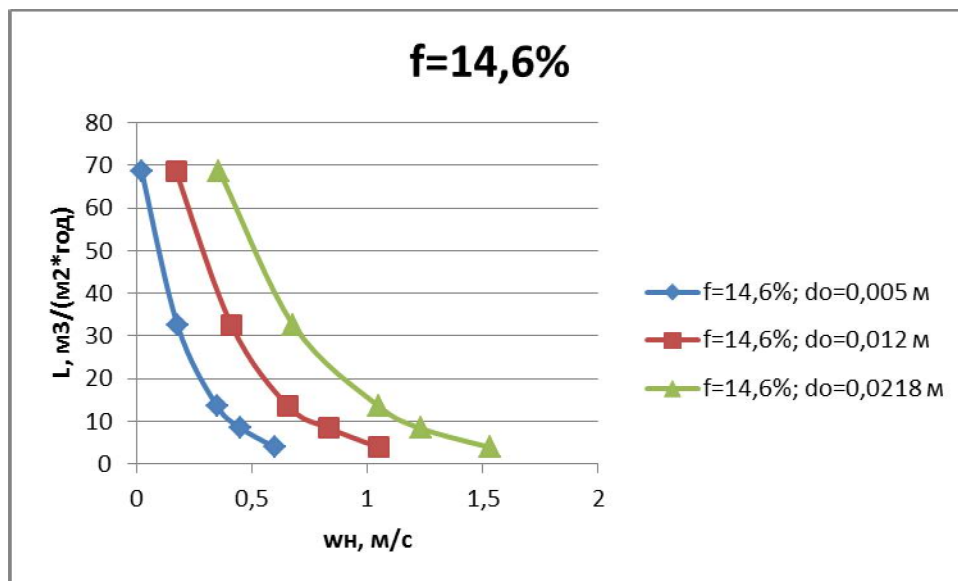


Рис. 11 Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 14,6\%$ і різним діаметром отворів.

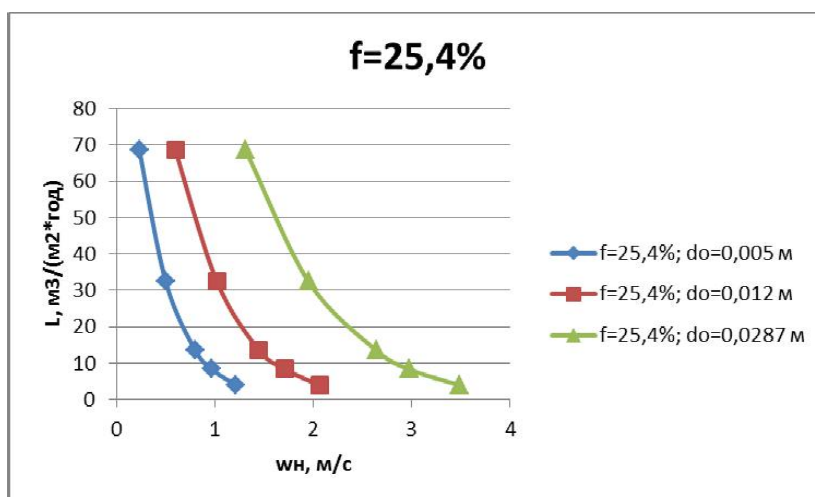


Рис. 12 Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 25,4\%$ і різним діаметром отворів

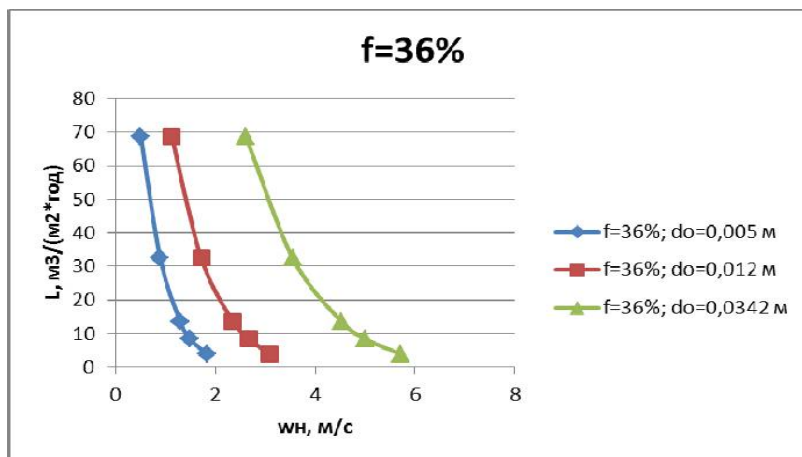


Рис. 13 Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 36\%$ і різним діаметром отворів

Нижню межу роботи тарілок провального типу, на підставі літературних даних [19], приймемо швидкість газу у перерізі колони, яка відповідає початку режиму рухомого барботажного шару на дірчастих тарілках провального типу (точці біфуркації).

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

З отриманих графіків, авторами зроблено такі 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 $w_n = f(L)$ можна використовувати рівняння (8) з середньою відносною похибкою $A = 9\%$, яка є нормальною.
4. Отримані експериментальні дані не підтвердилися розрахунковими даними з цієї роботи. Вони показали лише значно меншу залежність меж роботи від діаметрів отворів. Тому необхідно ще проводити подальші дослідження на лабораторних установах.

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 допромислових установок від лабораторних.

У цей час розроблена наближена теорія масштабного ефекту, яка полегшує пошук конструктивних заходів для усунення, а також залишкових неоднорідностей з метою визначення ефективності промислових апаратів, без технологічних випробувань.

Спостерігалось зменшення ККД і для провальних барботажних тарілок (майже в 3 рази, коли збільшували діаметр від 0,8 до 5 м.)

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

Встановлюють зв'язок між гідравлічними параметрами колон малого і великого діаметру за допомогою експерименту. Далі проводять

технологічні випробування масо-та теплообміну. Технологічні параметри, за даними гідродинамічного моделювання, отримані в колонах малого діаметру, переносять на колони великого діаметру з дослідницьких 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).

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

У рівняння (1) входить коефіцієнт T , який є відношенням суми периметрів усіх отворів плато тарілки до її діаметру [6]. Отже параметр T є функцією таких геометричних параметрів тарілки провального типу, як її діаметр, вільний перетин і діаметр отворів плато тарілки. За допомогою цього можна розраховувати за рівнянням [8] вільний перетин тарілок провального типу по заданій швидкості, розрахованій на повний переріз колони, для різних діаметрів колони.

Це уможливорює гідродинамічне моделювання тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками [8].

6. Опис експериментальної установки для гідравлічних і кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною $D = 0,057$ м.

Для дослідження дірчатих

тарілок провального типу було використано експеримент з колоною діаметру: $D = 0,057$ м.

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

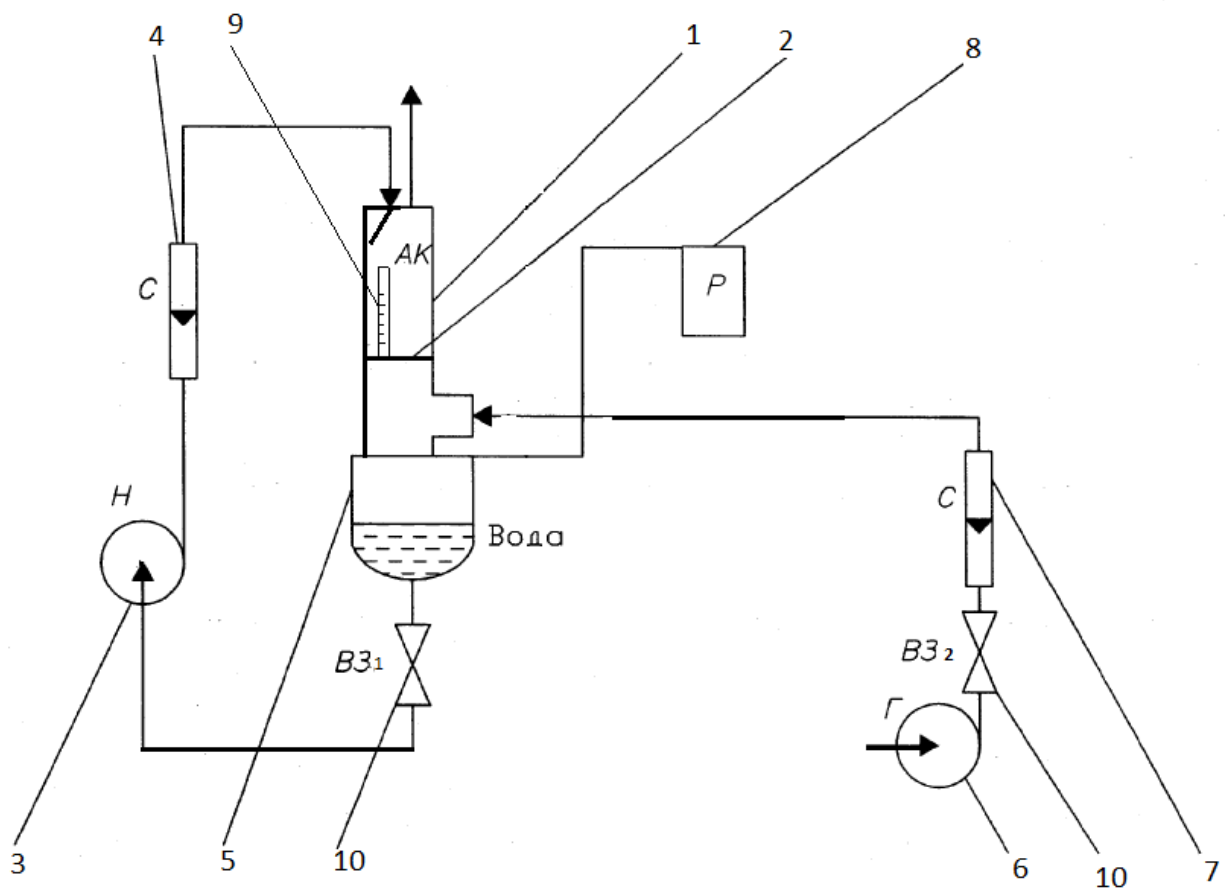


Рис. 14 Схема експериментальної установки для гідравлічних та кінетичних досліджень тарілок провального типу з колоною $D = 0,057$ м:

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 установленою в ній дірчатою тарілкою провального типу 2. За допомогою насосу 3 вода подається через вентиль ВЗ₁ та ротаметр 4 (РСПЗ СК №134) у верхню частину колони на внутрішню стінку. Пройшовши через тарілку, вода потрапляє до куба колони 5. Повітря за допомогою газодувки 6 через вентиль ВЗ₂ і ротаметр 7 (ТЛП №9101) подається до колони до місця, що розташоване нижче тарілки для забезпечення протитоку і тим самим утворення барботажного шару. Гідравлічний опір вимірюється манометром 8. Лінійкою 9, вимірюється висота піни. Витрати рідини і повітря регулюються вентилями 10.

6.3 Експериментальне дослідження

Рідина за допомогою насосу 3 подається у верхню частину, поперерізу колони 1, для того, щоб досягти більш рівномірного розподілу рідини тим самим зменшити гідравлічний опір газу після тарілки, рідина подається на стінку колони. Установлюємо за ротаметром 4 витрату рідини, котрій відповідає певна щільність зрошування.

Знизу під тарілку 2 за допомогою газодувки 6 подаємо повітря. Його витрату встановлюємо по ротаметру 7, й для певної щільності зрошування змінюємо витрату повітря від початку роботи тарілки до її верхньої межі.

Для кожного співвідношення навантажень по газу та рідині вимірюємо гідравлічний опір дифманометром 8 і висоту піни лінійкою 9. Особлива увага приділяється зміні режимів на тарільці: від режиму рівномірного барботажа до режиму нерівномірного газо-рідинного шару (точка біфуркації).

Гідравлічний опір тарілки вимірюється за допомогою манометра, вхід якого з'єднаний з точкою відбору гідравлічного тиску, що розташовується під масообмінною тарілкою. Вихід манометру з'єднаний з атмосферою.

Висоту піни вимірюємо за допомогою сантиметрової лінійки.

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

6.4 Пускколони

Подається напруга в мережі, після чого включається насос 1, відкривається кульовий кран 9, встановлюється по ротаметру витрата рідини, котра відповідає певній щільності зрошення. Потім включається газодувкаб. За допомогою рідинного дифманометра 3 виставляється витрата газу. Витрати рідини й повітря регулюються вентилями 6 і 19

6.5 Зупинкаколони

Відключається насос 1, відключається газодувки 2, закривається вентиль 6, вентиль 19 і шаровий кран 9.

7. Експериментальні дані

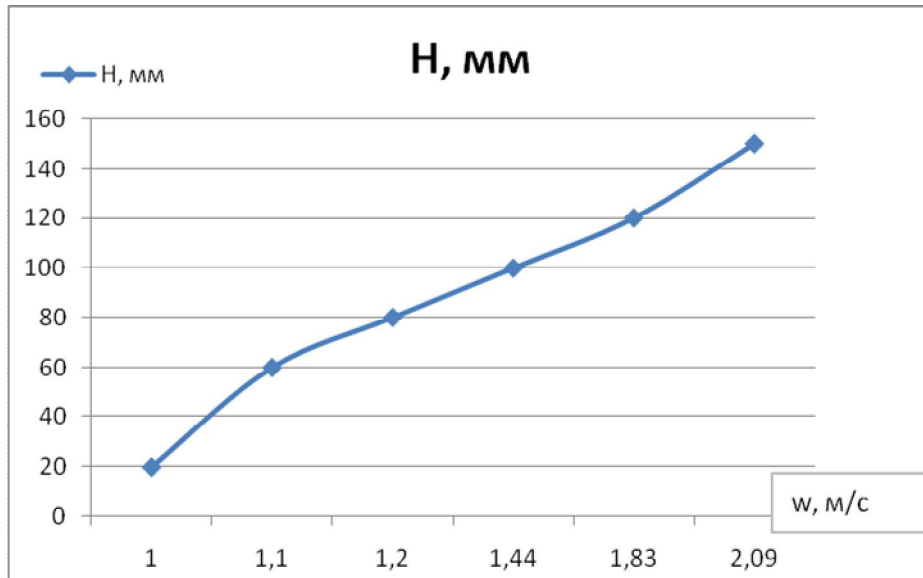


Рис.3 Залежність висоти газорідного шару від швидкості пари

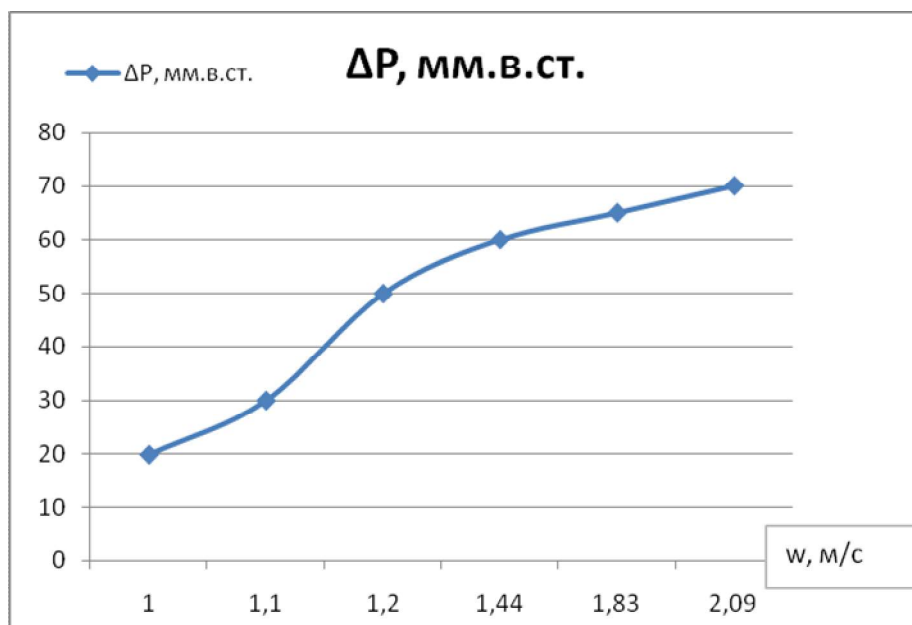


Рис.4 Залежність гідравлічного опору газорідного шару від швидкості пари

Були проведені дослід на тарілках провального типу $D=0.057$ м, вільний перетин склав $f=16\%$. За допомогою розрахунку було виявлено, що з графіку залежності

висоти від швидкості точки біфуркації при висоті газорідного шару 90 мм швидкість газу дорівнює 1,2 м/с. Розрахунком було встановлено що точка біфуркації в промисловій колоні досягається при швидкості пари 1,2 м/с. Отримали співпадіння експериментальних і розрахункових значень в точці біфуркації, коли режим роботи тарілки провального типу досягає максимальної ефективності. В експериментальній колоні гідравлічний опір тарілки в режимі рухомого барботажного шару відповідає гідравлічному опору, який наглядно ілюструється на графіку: 55 мм в. ст. На основі гідравлічного моделювання допускаємо, що гідравлічний опір тарілки провального типу в промисловій колоні в режимі рухомого барботажного шару буде складати 55 мм в. ст.

8. Розрахунок основних параметрів роботиколони

У ректифікаційній колоні з тарілками провального типу передбачається поділ суміші нітратна кислота-оксиди азоту-вода при надлишковому тиску 10000 мм вод.ст.

Характеристика оксиду азоту (низько киплячий компонент):

$M_a = 92$ кг/кмоль - молекулярна маса оксиду азоту;

$T_a = 21,4^{\circ}\text{C}$ - температура кипіння оксиду азоту;

$\rho_a = 1460$ кг/м³ - густина оксиду азоту при 20°C .

Характеристика 80% нітратної кислоти (висококиплячий компонент):

$M_b = 54$ кг/кмоль - молекулярна маса 80% нітратної кислоти;

$T_b = 111^{\circ}\text{C}$ - температура кипіння 80% нітратної кислоти;

$\rho_b = 1452$ кг/м³ - густина 80% нітратної кислоти при 20°C .

Кількість вихідної суміші, кг/с:

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

де $G = 20000000$ кг/рік - необхідна продуктивність колони по вихідній суміші;

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

$$G_f = \frac{20000000}{335 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,69 \text{ кг/сек} = 2484 \text{ кг/год}$$

Кількості вихідної суміші й кубового залишку визначається 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 дистилляту

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

$a_f = 96,4\%$ - масовий склад вихідної суміші;

$a_p = 99,87\%$ - масовий склад дистилляту;

$a_w = 82,5\%$ - масовий склад кубового залишку.

$$G_p = \frac{0,69 \cdot (0,9964 - 0,825)}{0,9987 - 0,825} = 0,56 \text{ кг/с}$$

Кількість кубового залишку

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

$$G_w = 0,69 - 0,56 = 0,13 \text{ кг/с}$$

Перевірка матеріального балансу за рівнянням

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

$$0,69 \cdot 0,9964 = 0,56 \cdot 0,9987 + 0,13 \cdot 0,825$$

$$0,6875 = 0,6874$$

Розходження:

$$0,6875 - 0,6874 = 0,0001$$

Помилка:

$$\frac{0,0001}{0,6875} \cdot 100\% = 0,0145\%$$

Таблиця № 1 Параметри колони

№ потоку	1	2	3
Температура, °C	18	22	30

Тиск			
в верху колони, МПа (надп.)			
в внизу колони, МПа (надп.)			0,1
Витрати пари			
Витрати рідини, кг/сек	0,69	0,56	0,13
Витрати газу			
Масовий склад ваговий, %			
N ₂ O ₄	96,4%	99,87%	82,5%
HNO ₃ +H ₂ O	3,6%	0,13%	17,5%
Склад потоку:			
Вихідна суміш, кг/сек	0,69		
Кількість дистилляту, кг/сек		0,56	
Кубовий залишок, кг/сек			0,13

Примітка:

Поток №1 – потік вихідна суміш

Поток №2 – потік вихіду дисцилята суміш

Поток №3 – потік кубовий залишок

8.1 Матеріальний баланс колони

Потужність виробництва 20000 т/рік; $20000:8000=2500$ кг/год.

Вміст суміші:

N_2O_4 – 96,4%

HNO_3 – 2,9%

H_2O – 0,7%

Вихідна суміш 2500 кг/год:

N_2O_4 – 2410 кг/год

HNO_3 – 72,5 кг/год

H_2O – 17,5 кг/год

Дистилят 2000 кг:

N_2O_4 – 1997,5 кг/год

HNO_3 – 2,5 кг/год

Кубовий залишок 500 кг/год:

HNO_3 – 70 кг/год

H_2O – 17,5 кг/год

N_2O_4 – 412,5 кг/год

Перевірка матеріального балансу:

2500 кг/год = 2000 кг/год + 500 кг/год;

2500 кг/год = 2500 кг/год - Вірно.

Оптимальне флегмове число повинно бути втричі більше за кількість відбираємого дистиляту. $R_{opt}=4$.

$N=15$ шт – закріплююча частина

$N=3$ шт – вичерпна частина

Разом: 18 тарілок.

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

По рідкій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони

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

$$X_{cp^H} = \frac{0.688 + 0.906}{2} = 0,797$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони

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

$$X_{cp}^B = \frac{0.906 + 1}{2} = 0,953$$

Середня мольна концентрація по колоні

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

$$X_{cp} = \frac{0.797 + 0.953}{2} = 0,875$$

Середня масова концентрація по колоні

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

$$a_{cp} = \frac{0,875 \cdot 71.7}{0,875 \cdot 71.7 + (1 - 0,875) \cdot 49.5} = 0.91$$

Для визначення значень t_{xW} , t_{xF} , t_{xP} будується діаграма рівноважного складу рідини (X) і пари (Y) в мол.% і температури кипіння суміші при 10000 Па (абс.) за даними таблиці 1.

Табл. 3 Мольні концентрації

$x_w =$ 0,688(мол.)
$x_f = 0,906$ (мол.)

$x_p =$ 1(мол.)
$y_w =$ 0,016824(мол.)
$y_f^* =$ 0,999(мол.)
$y_p =$ 0,999(мол.)

Таблиця № 4 Залежність складу суміші 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, °C

при $X_F = 0,906$ $t_{XF} = 18^{\circ}\text{C}$

Температура виходу дистилляту, °C

при $X_P = 1$ $t_{XP} = 22^{\circ}\text{C}$

Температура виходу кубового залишку, °C

при $X_w = 0,688$ $t_{XW} = 30^{\circ}\text{C}$

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

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

$$t_{Xcp}^H = \frac{30+18}{2} = 24^{\circ}\text{C}$$

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

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

$$t_{Xcp}^B = \frac{18+22}{2} = 20^{\circ}\text{C}$$

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

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

$$t_{Xcp}^B = \frac{24+20}{2} = 22^{\circ}\text{C}$$

Середня молекулярна маса

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

$$M_{Xcp} = 71,7 \cdot 0,875 + 49,5 \cdot (1 - 0,875) = 68,925$$

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

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

$\rho_a = 1520 \text{ кг}/\text{м}^3$ - густина концентрованої нітратної кислоти і оксидів азоту, при $t_{Xcp} = 66,75^{\circ}\text{C}$;

$\rho_b = 1301 \text{ кг}/\text{м}^3$ - густина 80% азотної кислоти, при $t_{Xcp} = 22^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{Xcp} = \frac{1520 \cdot 1301}{1301 \cdot 0,91 + 1520 \cdot (1 - 0,91)} = 1497 \text{ кг}/\text{м}^3 \quad [14]$$

Середня в'язкість

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

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

$$X_{cp} = 0,875$$

$\mu_a = 0,39$ спз – в'язкість низькокиплячого компонента при середній температурі $t_{xcp} = 22^0\text{C}$

$\mu_b = 0,5$ спз – в'язкість висококиплячого компонента при середній температурі $t_{xcp} = 22^0\text{C}$ [14]

$$\text{Lg}\mu_{xcp} = 0,875 \cdot \text{Lg}0,39 + (1 - 0,875) \cdot \text{Lg}0,5 = -0,398$$

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

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 компоненту при

температурі $t_{xcp} = 22^0\text{C}$

$\sigma_b = 18 \cdot 10^3$ Н/м дин/см - поверхневий натяг висококиплячого компоненту при температурі $t_{xcp} = 22^0\text{C}$

$$\sigma_{cp} = 1,46 \cdot 0,875 + 18 \cdot (1 - 0,875) = 3,49 \text{дин/см} \quad (3,49 \cdot 10^3 \text{Н/м})$$

80% азотної кислоти – $\sigma = 1,46 \cdot 10^3$ Н/м

Концентрованої нітратної кислоти і оксидів азоту – $\sigma = 18 \cdot 10^3$ Н/м

По газовій фазі

Середня мольна концентрація в нижній частині колони, мол.

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

$$Y_{cp}^H = \frac{0,013 + 0,9987}{2} = 0,5059 \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони, мол.

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

$$Y_{cp}^B = \frac{0,964 + 0,9987}{2} = 0,9814, \text{ мол.}$$

Середня мольна концентрація по колоні, мол.

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

$$Y_{cp} = \frac{0,5059 + 0,9814}{2} = 0,7436, \text{ мол.}$$

Температура подачі вихідної суміші, при

$$Y_F = 0,964; \quad t_{YF} = 18 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Температура виходу дистилляту:

$$Y_P = 0,999; \quad t_{YP} = 22 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Температура подачі кубового залишку:

$$Y_W = 0,013; \quad t_{YW} = 30 \text{ } ^\circ\text{C};$$

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

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

$$t_{Ycp}^H = \frac{30 + 18}{2} = 24, \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

$$t_{Ycp}^B = \frac{18 + 22}{2} = 20, \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

$$t_{Ycp} = \frac{24 + 20}{2} = 22, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня молекулярна маса

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

$$M_{Ycp} = 71,7 \cdot 0,7436 + 49,5 \cdot (1 - 0,7436) = 66,23$$

Середня густина, кг/м^3

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

T - середня температура по колоні, $^{\circ}\text{K}$

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

$$T = t_{ycp} + T_0 \quad (41)$$

$T_0 = 273^{\circ}\text{K}$ - точка плавлення льоду;

$P_0 = 1 \text{ кгс/см}^2$ - нормальний атмосферний тиск;

$P = 4,1 \text{ кгс/см}^2$ - абсолютний робочий тиск у колоні

$$T = 22 + 273 = 293^{\circ}\text{K}$$

$$\rho_{ycp} = \frac{66,23 \cdot 10100 \cdot 273}{22,4 \cdot 1 \cdot 10100 \cdot 293} = 2,361 \text{ кг/м}^3$$

8.3 Визначення основних геометричних параметрів колони

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

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

$$G_Y = G_p (R_{omm} + 1) \quad (44)$$

$$G_Y = 0,68 \cdot (4 + 1)$$

$$G_Y = 3,4 \text{ кг/сек}$$

$$V_{Ycp} = \frac{3,4}{2,361} = 1,44 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Рекомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,2 \text{ м/с}$$

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

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

$$D = \sqrt{\frac{1,44}{0,785 \cdot 1,2}} = 1,2 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони $D = 1,2$ м,

тоді швидкість пари, що розраховується на повний переріз колони,

буде складати

$$w = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \frac{1,44}{0,785 \cdot 1,2^2} = 1,21 \text{ м/с}$$

Приймаємо $w = 1,2$ м/с

9. Матеріал колони

Для колони ректифікації вибираємо матеріал в залежності від фізико-хімічних властивостей речовини, яка приймає участь у процесі ректифікації.

Сталь 02X8H22C6 (EP794) корозійностійка жароміцна аустенітного класу.

Сталь 02X8H22C6 (EP794) застосовується: для виготовлення зварного хімічного обладнання, що працює під впливом концентрованої азотної кислоти при високих температурах (85% -ва концентрація і вище при температурі до 100 °С). Сталь виплавляється тільки спеціальними методами - Ш, ПД, ВД.[15]

Хімічний склад у %

НТД	C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
ТУ 14-1-3812-84, ТУ 14-3-1024-81	≤0,020	≤0,020	≤0,030	≤0,60	7,50-10,00	5,40-6,70	21,0-23,0	Ост.

По ТУ 14-3-1024-81, ТУ 14-1-3812-84 хімічний склад наведено для сталі марки 02X8H22C6 (EP794).

02X8H22C6 (EP794) має у складі: C=0.02%, Cr=8%, Ni=22%, Si=6%.

Механичні властивості

Механичні властивості при 20°C

Переріз (мм)	t випроб. (°C)	t відпуски (°C)	σ_T $\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	δ_4	δ	δ_{10}	ψ (%)	KCU (кДж/м ²)
Сортовий прокат гарячекатаний і кований по СТП 26.260.484-2004. Закалка у воду з 1050-1070°										
Зразок			≥200	≥540	≥40					
Труби холоднодеформовані і теплодеформовані в стані поставки по ТУ 14-3-1024-81										
Зразок			≥196	≥588	≥35					

Технологічні властивості

Особливості термічної обробки. Виробиз сталі піддають гартуванню з 1050 °С.

Час витримки при нагріванні під загартування для виробів з товщиною стінки до 10 мм - 30 хв, понад 10 мм - 20 хв + 1 хв на 1 мм максимальної товщини.

Позначення

Механічні властивості:

σ_B - Межа короткочасної міцності, [МПа]

σ_T - Межа плинності, [МПа]

$\sigma_{0,2}$ - Межа пропорційності (допуск на залишкову деформацію - 0,2%), [МПа]

δ_5 - Відносне подовження при розриві, [%]

ψ - Відносне звуження, [%]

KCU - ударна в'язкість, [кДж / м²]

HB - Твердість по Брінеллю, [МПа]

HV - твердість по Віккерсу, [МПа]

HSh - Твердість по Шору, [МПа]

10. Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 1,2\text{м}$

Визначаємо вільний переріз тарілок провального типу в колонні $D = 1,2\text{м}$

Розрахунок проводиться за формулою (7)

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

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

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

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

$$G_{\text{рід}} = 2000 \cdot 4 = 8000 \text{ кг / год.}$$

$$G_{\text{п}} = G_y = 6000 \text{ ,кг/сек}$$

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

G_{f} – кількість вихідної суміши, 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;

μ_{e} – в'язкість води 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

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

$$G_w = 0,69 - 0,56 = 0,13 \text{ кг/с}$$

$$V = 0,94 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$a = -1,68;$$

Розраховується щільність зрошення, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$;

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

$$L = 6000 / (1413 \cdot 1,13) = 3,76 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$$

Розраховується кількість флегми

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

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

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

$$4 \cdot 2 + 2 = 10 \text{ кг/с}$$

Кількість флегми, кг/год ;

$$G_\phi = 10 \text{ кг/с} = 3600 \text{ кг/год}$$

Розраховується 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 ;

$$G_f = 0,69 \text{ кг/сек}$$

$$G_n = 2 + 0,69 = 2,69 \text{ кг/с} = 9684 \text{ кг/год}$$

Розраховуємо вагові швидкості рідини, кг/год ;

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

$$G_{\text{рід}} = (8000 + 6000) / 2 = 7000 \text{ кг / год.}$$

Визначаються розрахункові параметри

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

$$w = 1,2 \text{ м/с}$$

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° , $\text{Па} \cdot \text{с}$;

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

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

T – коефіцієнт, який розраховується за формулою

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

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

$$\sum \Pi = \Pi \cdot n \quad (58)$$

де Π – периметр отворів, м

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

$$\Pi = \pi d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,038 \text{ , м}$$

Розраховується площу всіх отворів, м^2

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

де – S площа колони, м^2

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

$$S = 0,785D^2 = 0,785 \cdot 1,2^2 = 1,09 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,06 \cdot 1,09 = 0,065, \text{ м}^2$$

Розраховується площу одного отвору, м^2

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

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

Розраховується кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,065}{0,00011} = 595 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 595 = 22,59 \text{ м}$$

$$T = \frac{22,59}{1,2} = 18,825$$

За рівнянням (47) розраховується X

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

$$X = \left(\frac{6000}{8000} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,361}{1497} \right)^{1/8} = 0,415$$

$$Lg(4,8/18,285^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$0,08 = -0,622$$

$$\Delta = 0,54$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,08^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 2,66$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,08 = 0,087, m^2$$

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

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

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,087}{0,00011} = 793 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 793 = 30,12 \text{ м}$$

$$T = \frac{30,12}{1,2} = 25,1$$

$$Lg(2,66 / 25,1^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-0,24 = -0,622$$

$$\Delta = 0,38$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,1^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 1,7$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,1 = 0,109, \text{ м}^2$$

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

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

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,109}{0,00011} = 991 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 991 = 37,65 \text{ м}$$

$$T = \frac{37,65}{1,2} = 31,38$$

$$Lg(1,7 / 31,38^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-0,49 = -0,622$$

$$\Delta = 0,13$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,16^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,66$$

Розраховується кофіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,16 = 0,1744, \text{ м}^2$$

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

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

$$n = \frac{S_0}{S'_0} = \frac{0,1744}{0,00011} = 1586 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 1586 = 60,25 \text{ м}$$

$$T = \frac{60,25}{1,2} = 50,2$$

$$Lg(0,66 / 50,2^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$0,1 = -0,622$$

$$\Delta = 0,72$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,2^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,425$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,2 = 0,218, \text{ м}^2$$

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

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

$$n = \frac{0,218}{0,00011} = 1982 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 1982 = 75,31 \text{ м}$$

$$T = \frac{75,31}{1,2} = 62,76$$

$$Lg(0,425 / 62,76^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-1,44 = -0,622$$

$$\Delta = 0,82$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,25^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,272$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,25 = 0,2725, m^2$$

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

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

$$n = \frac{0,2725}{0,00011} = 2477 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 2477 = 94,14 \text{ м}$$

$$T = \frac{94,1}{1,2} = 78,45$$

$$Lg(0,272 / 78,45^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-1,48 = -0,622$$

$$\Delta = 0,86$$

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

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,3^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,19$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

$$S_0 = 1,09 \cdot 0,3 = 0,327, m^2$$

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

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

$$n = \frac{0,327}{0,00011} = 2973 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 2973 = 113 \text{ м}$$

$$T = \frac{113}{1,2} = 94,14$$

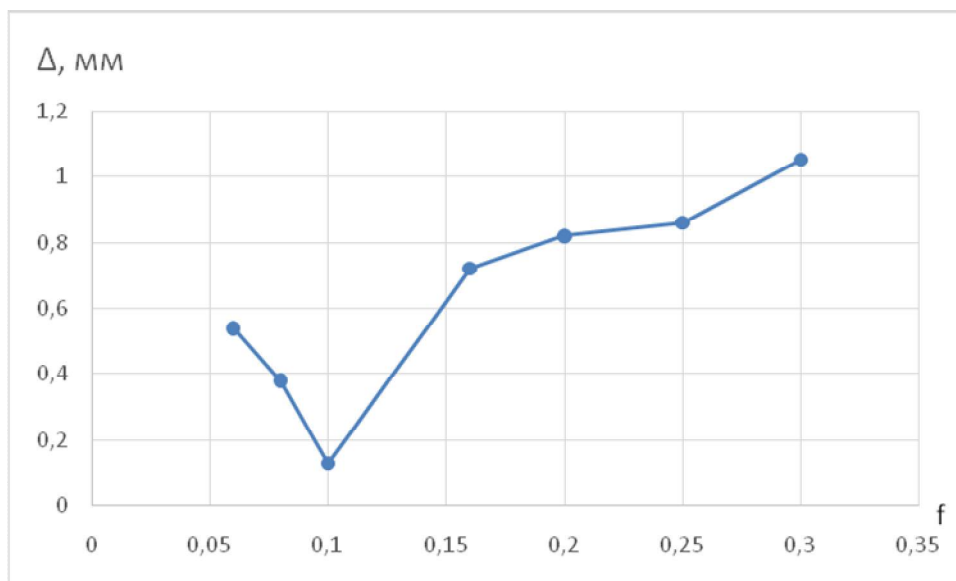
$$Lg(0,19 / 94,14^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-1,68 = -0,622$$

$$\Delta = 1,05$$

Таблиця № 5 Залежність величин Δ від вільного перетину f

f	0,06	0,08	0,1	0,16	0,2	0,25	0,3
Δ	0,54	0,38	0,13	0,72	0,82	0,86	1,05

Рис. №20 Графік залежності Δ від вільного перетину f 

Величина Δ є мінімальною на графіку у точці, яка відповідає вільному перетину $f=10\%$, тому для колони з діаметром $D=1,2$ м вибираємо тарілки з вільним перетином $f=10\%$.

Визначаємо кількість отворів тарілки:

$$n = \frac{1,09^2 \cdot 0,1}{0,012^2} = 825 \text{ шт.}$$

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

Приймаємо діаметр колони $D = 0,057$ м. та рекомендована швидкість пари у колоні $W = 1,2$ м/с

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

тоді

$$V = w \cdot 0,785 D^2 = 1,2 \cdot 0,785 \cdot 0,057^2 = 0,0031 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_n = V \cdot \rho_n$$

$$G_n = 0,0031 \cdot 2,361 = 0,0072 \text{ кг/с}$$

Приймається щільність зрошування

$$L = 2,8, \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{год});$$

тоді кількість рідини в модельній колоні

$$G_p = L \cdot S$$

$$G_p = \frac{2,8}{0,785} = 2,2 \text{ кг/год}$$

$$\rho_p = 1497 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = 2,361 \text{ кг/м}^3;$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$d_0 = 0,012 \text{ м};$$

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

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

$$V = 0,0031 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$a = -1,68;$$

$$B = 1,188;$$

$$D = 0,057 \text{ м};$$

Розраховується витрату пари, кг/с

$$V_n = S \cdot W$$

$$V_n = 0,00255 \cdot 1,2 = 0,0031 \text{ кг/с}$$

$$V_n = 0,0031 \text{ кг/с}$$

Розраховується витрату рідини, кг/с

$$V_p = L \cdot S$$

$$V_p = 2,8 \cdot 0,00255 = 0,0071 \text{ кг/с}$$

$$V_p = 0,0071 \text{ кг/с}$$

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

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

де w – декомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,2$$

ρ_p – питома вага рідини, кг/м^3 ;

$$\rho_p = 1497 \text{ кг/м}^3;$$

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

$$\rho_e = 2,361 \text{ кг/м}^3;$$

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_e – в'язкість води при, 20° , $\text{Па} \cdot \text{с}$;

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,06^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 2,69$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

За формулою (59) розраховується периметр отворів, м

$$\Pi = \pi d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,038 \text{ , м}$$

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

$$S_0 = S \cdot f$$

За формулою (61) розраховується 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) розраховується 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) розраховується кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000153}{0,00011} = 1,39 = 2 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,038 \cdot 2 = 0,076 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,076}{0,057} = 1,321$$

X – комплекс нанесений на осі абсцис

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

$$X = \left(\frac{3,105}{4,140} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,361}{1497} \right)^{1/8} = 0,415$$

$$Lg(2.69 / 1,321^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$0,37 = -0,62$$

$$\Delta = 0.99$$

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,08^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 1.56$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,000204}{0,000051} = 4 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 4 = 0,1 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,1}{0,057} = 1,754$$

$$Lg(1,56 / 1,754^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$0,07 = -0,62$$

$$\Delta = 0.69$$

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

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

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

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

За формулою (60) розраховується площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,0002551}{0,000051} = 5 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 5 = 0,1256 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,1256}{0,057} = 2,2$$

$$Lg(1/2, 2^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-0,28 = -0,62$$

$$\Delta = 0,45$$

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,16^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,39$$

Розраховується кофіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

За формулою (60) розраховується площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,00040816}{0,000051} = 8 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 8 = 0,2 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,2}{0,057} = 3,525$$

$$Lg(0.39 / 3,525^{0.5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$0.392 = -0,622$$

$$\Delta = 0,23$$

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

$$Lg(Y / T^{0.5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

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

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,0005102}{0,000051} = 10 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 10 = 0,2512 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,2512}{0,057} = 4,4$$

$$Lg(0,25 / 4,4^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-0,924 = -0,622$$

$$\Delta = 0,3$$

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

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

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

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,00063775}{0,000051} = 12,755 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 12,755 = 0,32 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,32}{0,057} = 5,62$$

$$Lg(0,16 / 5,62^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

$$-1,17 = -0,62$$

$$\Delta = 0,55$$

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

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

$$Y = \frac{1,2^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,3^2} \cdot \frac{2,361}{1497} \cdot \left(\frac{0,4023 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 0,111$$

Розраховується коефіцієнт T за формулою (57)

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

Розраховується сумарний периметр отворів за формулою (58)

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

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

$$S_0 = S \cdot f$$

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

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

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

$$n = \frac{0,0007653}{0,000051} = 15 \text{ шт}$$

$$\sum \Pi = 0,02512 \cdot 15 = 0,377 \text{ м}$$

$$T = \frac{0,377}{0,057} = 6,613$$

$$Lg(0,111 / 6,613^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,415$$

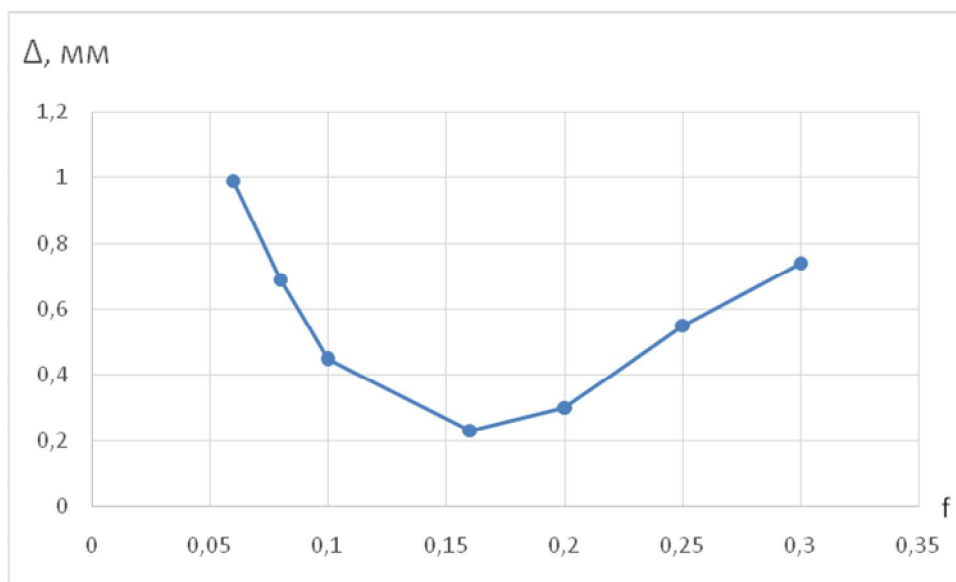
$$-1,36 = -0,62$$

$$\Delta = 0,74$$

Таблиця №6 Залежність величин Δ від вільного перетину f

f	0,06	0,08	0,1	0,16	0,2	0,25	0,3
Δ	0.99	0.69	0.45	0.23	0.3	0.55	0.74

Рис. №21 Графік залежності Δ від вільного перетину f



Величина Δ є мінімальною на графіку у точці, яка відповідає вільному перетину $f=16\%$, тому для колони з діаметром $D=0,057$ м вибираємо тарілки з вільним перетином $f=16\%$.

Висновки: проведено гідродинамічне моделювання режимів роботи тарілок провального типу на прикладі розрахунку колонни основної ректифікації суміші нітратна кислота – оксиди азоту – водапотужністю 20 000 т/рік. При гідродинамічному моделюванні були використанні дослідні данні одержані на колонні діаметром 57 мм. на модельній системі вода -повітря.

12. Техніка безпеки при роботі в лабораторії

1. Вимоги безпеки під час виконання експериментів.

У лабораторіях кафедри устаткування хімічних підприємств
ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

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

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

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

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

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

1.6. залишати працюючі (включені) установки без нагляду;

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

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

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

1.10. у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;

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

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

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

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1. студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;

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/;

3.3. забороняється виймати штепсельні роз'єми, вилки, фішки, узявшись за дріт;

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

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

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

3.7. забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками". Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що калібруються;

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

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

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

3.11. роботи по ремонту апаратури і проведення експериментів на

відкритих схемах з небезпечною для життя напругою виконувати тільки удвох;

3.12. робоче місце тримати в сухому і чистому стані;

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;

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

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1. після закінчення роботи вимкнути електроприлади, відключити відмережі лабораторні стенди;

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

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

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

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

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

4.7. привести в порядок робоче місце;

4.8. здати ключі від лабораторії на вахту.

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 отримання теплоносія для АЕС на основі тетраоксида діазота, інгібованого монооксидом азота, розроблено колону ректифікації суміші концентрованих азотних кислот і оксидів азоту за допомогою ректифікації.

2. 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.

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

4. Показаний приклад розрахунку швидкості газу в точці біфуркації тарілок провального типу з діаметром $D = 1,2$ м, з використанням даних отриманих при дослідженні тарілок провального типу в колоні з діаметром $D = 0,057$ м.

5. Для моделювання швидкості в точці біфуркації необхідно в колоні діаметром $D = 1,2$ м встановити дірчасті тарілки провального типу з вільним перерізом $f = 0,1$, при цьому швидкість розрахована на повний переріз колони складе $w = 1,2$ м/с, і щільність зрошення буде $L = 2,8 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \text{ год})$.

6. Проведені в роботі дослідження підтвердили розрахункові дані. При щільності зрошення $L = 2,8 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \text{ год})$, в колоні діаметром $D = 0,057$ м, швидкість повітря в точці біфуркації склала $w = 1,2$ м/с. Вільний переріз тарілки становив $f = 0,16$.

7. Таким чином, за допомогою рівняння (2), можна здійснювати гідродинамічне моделювання газорідного шару на дірчатих тарілках провального типу великого діаметру ($D = 1,2$ м), використовуючи експериментальні дані отримані на колоні діаметром модельного розміру ($D = 0,057$ м.)

Література

1. Зайцев И.Д. Производство соды / Зайцев И.Д Ткач Г.А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312с.
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. - 20с.
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 вузахУССР).
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,

208стр.

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

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. - 655с.

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

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. – 174с.
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, 200с.
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