

Реферат

Магістерська робота на тему

Гідродинамічне моделювання тарілок провального типу розташованих у колоні ректифікації суміші оцтова кислота – пропіонова кислота.

Листів – , ілюстрацій – , таблиць – , посилань – .

Об'єкт дослідження: дослідження тарілок провального типу.

Мета роботи: проведення гідродинамічного моделювання тарілок провального типу, які розташовані в колоні ректифікації суміші оцтова кислота – пропіонова кислота.

Методи дослідження та апаратура: визначення гідравлічного опору тарілок провального типу висоти газорідного шару та меж роботи тарілок

Розглянуто гідродинамічне моделювання тарілок провального типу та їх розрахунок. Для суміші оцтова – пропіонова кислоти розраховані тарілки провального типу, які розташовані в колонні діаметром $D = 2$ м. Розрахунковий переріз тарілок склав $f = 0,12$. Для гідродинамічного моделювання були розраховані тарілки провального типу діаметром $D = 0,057$ м та вільним перерізом $f = 0,3$. Були проведені досліди на установці с діаметром $D = 0,057$ м з тарілкою провального типу, у якої вільний переріз складав $f = 0,3$. Слід очікувати, що гідравлічний опір та висота гідродинамічного шару в колонні з діаметром $D = 2$ м та вільним перерізом $f = 0,12$, будуть близькі до цих параметрів на тарілці з діаметром $D = 0,057$ м та вільним перерізом $f = 0,3$.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: методика розрахунку рекомендується використовувати при розрахунку тарілок провального типу виробничих розмірів, при цьому треба використовувати дослідні данні одержані на експериментальних установка з колонами малого діаметру.

Висновки: проведено гідродинамічне моделювання тарілок провального типу, які розташовані в колоні ректифікації суміші оцтова кислота – пропіонова кислота. при гідродинамічному моделюванні були використанні дослідні данні одержані на колонні діаметром 57 мм. на модельній системі вода-повітря.

Ключеві слова: КОЛОНА, ГІДРАВЛІЧНИЙ ТИСК, ТАРИЛКА ПРОВАЛЬНОГО ТИПУ, БІФУРКАЦІЯ, ШВИДКІСТЬ ГАЗУ, ЩІЛЬНІСТЬ ЗРОШУВАННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА.

Зміст

Скорочення та умовні позначки	4
Вступ.....	5
1. Аналітичний огляд	6
1.1. Застосування тарілок провального типу та визначення режимів їх роботи	6
1.2. Виробництво оцтової кислоти	25
1.3. Ректифікація суміші оцтова – пропіонова кислоти	34
2. Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 2$ м	42
3. Розрахунок вільного перерізу тарілки провального типу $D = 0,057$ м	59
4. Опис експериментальної установки з колоною $D = 0,057$ м	80
5. Експериментальні дослідження.....	82
6. Техніка безпеки при роботі в лабораторії	83
Висновки та рекомендації	87
Література.....	88

Скорочення та умовні позначки

w – швидкість пари для повного перерізу колони, м/сек²;

g – прискорення сили тяжіння, м/сек²;

f – живий переріз, м²/м²;

R – флегмове число;

ρ_A и ρ_B – густина компонентів А і В, кг/м³;

μ_A и μ_B – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А и В, Па·с;

D – діаметр колони, м;

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

T – коефіцієнт.

d_0 – діаметр отворів в тарілці, м;

V – витрата пари, м³/с;

L – щільність зрошення, м³/(м²год);

S – площа колони, м²

Σ – площа суми отворів, м²;

S_0 – площа отвору, м²;

N – кількість отворів, шт;

Π – периметр отворів, м

Вступ

В останній час вітчизняні і зарубіжні дослідники та промисловці приділяють велику увагу роботі різноманітних конструкцій контактних тарілок для проведення процесів масопередачі. Серед контактних тарілок особливе місце займають дірчасті та решітчасті тарілки провального типу без переливних пристроїв. До переваг останніх відносяться висока продуктивність і ефективність роботи, простота конструкції, низька собівартість виготовлення, монтажу та експлуатації. Крім цього, тарілки провального типу можуть працювати тривалий час із забрудненими потоками рідини та газу без забиття отворів чи щілин.

1 Аналітичний огляд

1.1 Застосування тарілок провального типу та визначення режимів їх роботи

Останнім часом почали використовуватись тарілки провального типу з великим діаметром отворів [1–3]. У содовому виробництві [1] були використані дірчасті тарілки провального типу з отворами діаметром $d_0 = 0,09-0,14$ м і вільним перерізом $f = 0,2 - 0,4$. Діаметр колони складав $D = 3,0$ м. В коксівному виробництві [2] використані тарілки провального типу з вільним перерізом $f = 0,3$ і діаметром отворів $d_0 = 0,07$ м. Діаметр колони складав $D = 5,0$ м. В роботі [3] розглядалося використання великодірчастих тарілок провального типу в пінних апаратах для очищення газу від пилу. Наголошується, якщо для барботажного апарату типові отвори в тарілках діаметром $d_0 = 0,001 - 0,008$ м при вільному перерізі $f = 0,02 - 0,10$, то для пінного промислового апарату з тарілками провального типу діаметр отворів складає $d_0 = 0,05-0,1$ м, а вільний переріз досягає $f = 0,7$. Із наведеного вище можна зробити висновок, що тарілки провального типу з успіхом застосовуються в апаратах великої одиничної потужності. Спостерігається тенденція використання тарілок провального типу великого вільного перерізу з отворами великого діаметру.

Головним недоліком провальних тарілок є необхідність точного регулювання заданого режиму (особливо по витраті газу) і малий діапазон сталої роботи, що виключає їхнє застосування у виробництвах, де можливі різкі коливання складу й кількості сировини, яка перероблюється.

Широкому вживанню цих тарілок значною мірою перешкоджає відсутність досить надійного методу їх розрахунку. Рішенню цієї проблеми присвячені роботи [4, 5].

У роботі [4] розглядається гідродинаміка тарілок провального типу, лінійна швидкість газу (пари) та інтервал стійкої роботи тарілок провального типу.

На рис. 1.1 представлена характерна залежність опору зрошувальних тарілок провального типу від швидкості газу при постійних витратах рідини.

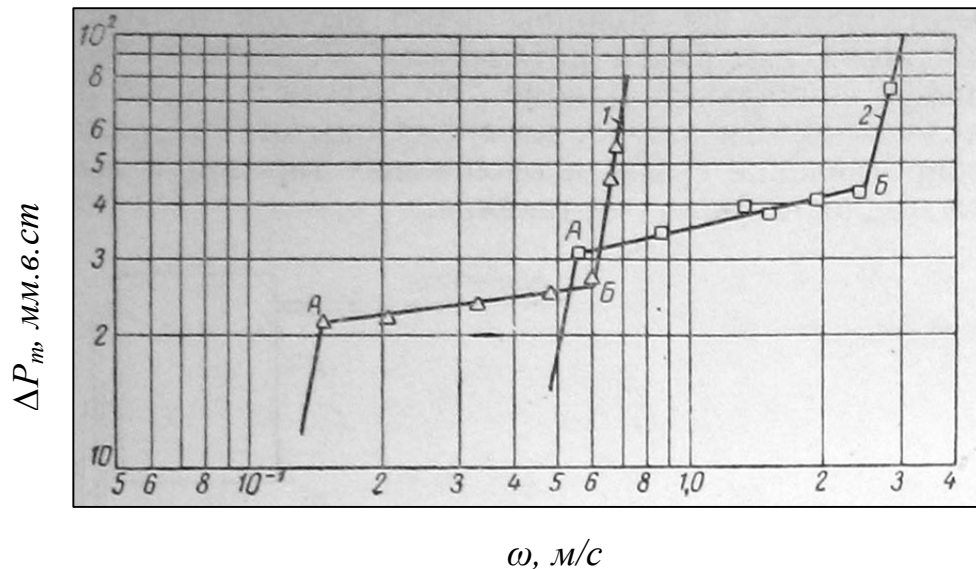


Рисунок 1.1 - Залежність опору ΔP_m тарілок провального типу від швидкості газу ω в перетині колони:

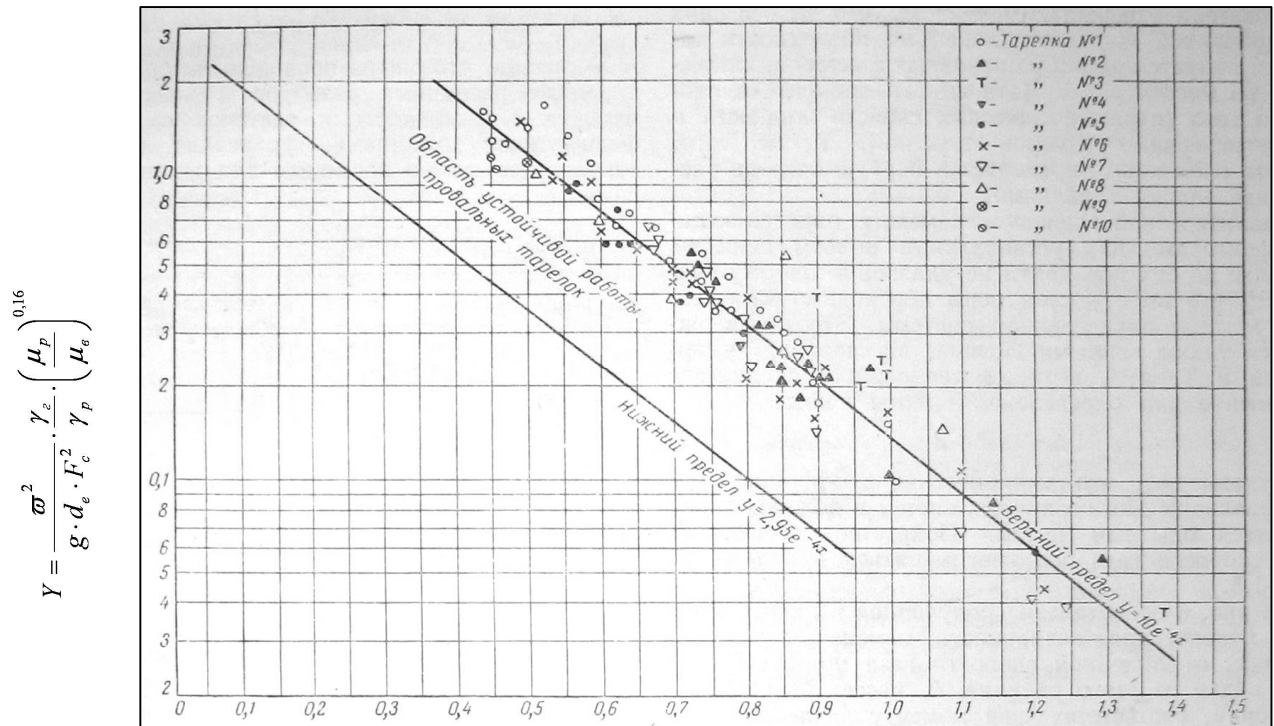
- 1 – система: вода – повітря; $L = 10800 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$, $D_k = 0,24 \text{ м}$, $f = 0,15$;
 2 – система: миш'яково-содовий розчин – коксовий газ; $L = 18000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$,
 $D_k = 0,075 \text{ м}$, $f = 0,3$;

З графіка видно, що при зміні швидкості газу на тарілках провального типу можна виявити декілька гідродинамічних режимів, які характеризуються критичними точками А і Б. При незначних швидкостях газу до моменту, відповідного точці А, рідина на тарілці не затримується.

Із збільшенням швидкості газу (точка А і вище) відбувається накопичення рідини і виразно видно шар, через який барботують бульбашки газу. При подальшому збільшенні швидкості газу шар рідини на тарілці провального типу зменшується і унаслідок більшої аерації рідини зростає висота пінного шару. Проте різкого підвищення опору тарілки не спостерігається, оскільки спільний запас рідини на тарілці трохи збільшується. Деяке збільшення загального опору тарілки (яке складається з

опору рідині на тарілці, опору сухої тарілки і втрати тиску на подолання поверхневого натягнення рідини) пояснюється зростанням опору сухої тарілки і частково збільшенням висоти піни на тарілці. Таким чином, підвищення швидкості газу до точки Б веде до збільшення міжфазового контакту, тобто до поліпшення умов проведення процесів масопередачі.

При подальшому збільшенні швидкості газу (вище точки Б) настає, як вказувалося вище захлинання колони. Слід зазначити, що інколи (зазвичай на тарілках з великими вільними перерізами) злам прямої в точці Б не виявляється. Однак в цих випадках при швидкостях газу декілька вище точки Б можна спостерігати утворення нового гідродинамічного режиму званого струменевим або ежекційним. Цей режим характерний тим, що газові струмені пробивають на тарілці шар рідини, не розсіваючись в ній, а піна, що раніше утворилася, руйнується, і рідина знаходиться в стані крупних бризок і струменів. При цьому умови масообміну погіршуються. Звідси витікає, що працювати на тарілках провального типу при швидкостях, що вище за точку захлинання, недоцільно. Таким чином, знання швидкості газу (пара), при якій колона працює в оптимальному режимі, представляє значний інтерес. Для визначення залежності граничних швидкостей в колоні з тарілками провального типу від різних чинників був побудований графік (рис. 1.2), аналогічний запропонованому раніше для визначення граничних швидкостей в колонах з масообмінними насадками.



$$X = \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_z}{\gamma_p} \right)^{1/6}$$

Рисунок 1.2 - Залежність граничної швидкості газу (пара) (швидкості захливання)

в колонах з тарілками провального типу від відношення вагових швидкостей потоків, їх фізичних властивостей і визначальних розмірів тарілок ($D_k = 0,075$ і $0,240$ м, $f = 0,13 - 0,4$)

На осі абсцис нанесений комплекс

$$X = \left(\frac{L}{G} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_z}{\gamma_p} \right)^{1/8}, \quad (1.1)$$

а на осі ординат комплекс

$$Y = \frac{\varpi^2}{g \cdot d_e \cdot F_c^2} \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}, \quad (1.2)$$

де: L і G – вагові швидкості рідини і газу (пара), $кг/м^2 \cdot год$;

γ_g і γ_p – питомі ваги газу (пара) і рідини, $кг/м^3$;

g – прискорення сили тяжіння, $м/с^2$;

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

F_c – вільний переріз тарілки, $м^2/м^2$;

μ_p – густина рідини, $сн$;

μ_g – густина води при 20° , $сн$.

Відношення L/G в дослідях мінялося від 2,5 до 148, а швидкість – газу від 0,20 до 3,78 $м/с$. Гранична швидкість газу, або швидкість захлинання, ϖ , $м/с$, визначалася візуально по різкому зростанню висоти піни на тарілці і по різкому збільшенню опору тарілки.

Для перевірки отриманих результатів на графік були нанесені також дослідні дані інших авторів. Як впливає 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

$$Y = 10 \cdot e^{-4x}, \quad (1.3)$$

де: e – основа натуральних логарифмів.

Таким чином, за рівнянням (1.3) можна визначити граничну швидкість газу (пари), Проте робоча швидкість має бути вибрана декілька нижчою розрахованої за рівнянням (1.3), оскільки у виробничих умовах можливе збільшення швидкості вище граничної, що приведе до порушення режиму роботи апарату. Нижня межа роботи тарілок провального типу обумовлюється повним зливом рідини з тарілок. Значення цієї швидкості може бути визначене на підставі дослідних даних, представлених нижньою

похилою прямою (рис. 1.2). Ця пряма має однаковий нахил з прямою для верхньої межі роботи (захлинання) тарілок і задовольняє рівнянню

$$Y = 2,95 \cdot e^{-4x} \quad (1.4)$$

У роботі [6] 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 $2,0$ м. Діаметр отворів тарілок в колоні $D = 0,057$ м складав $d_0 = 0,005$ м. В решті колон – $d_0 = 0,012$ м. Навантаження по рідині змінювалися в межах $L = 4 - 150 \frac{м^3}{м^2 год}$, 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 метанол-вода (50 мол. %). 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 газорідного 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.

За методикою роботи [4] була розрахована нижня межа роботи тарілок провального типу різного вільного перерізу та з різними діаметрами отворів в плато тарілок.

З графіків (рис. 1.3 – 1.5) видно, що розрахунок за рівняннями (1.1, 1.2, 1.4) суттєво залежить від діаметру отворів в плато тарілки для одного і того самого вільного перерізу тарілок провального типу.

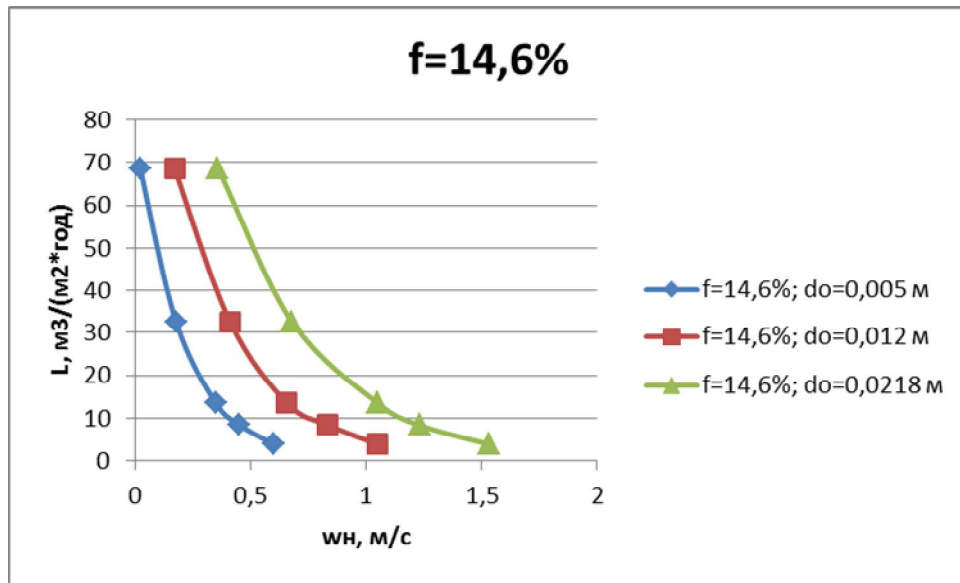


Рисунок 1.3 - Залежність $w_H = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 14,6\%$ і різним діаметром отворів.

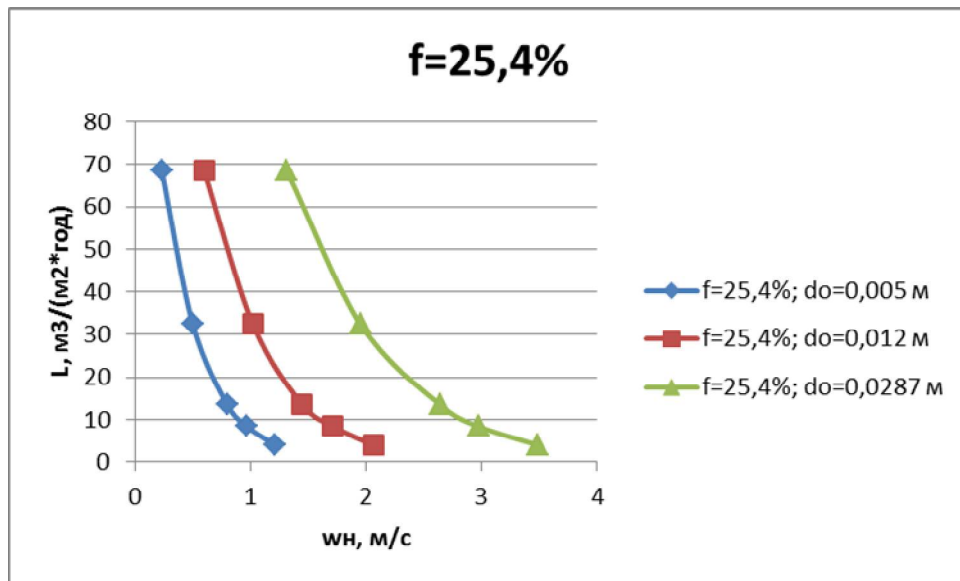


Рисунок 1.4 - Залежність $w_H = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 25,4\%$ і різним діаметром отворів

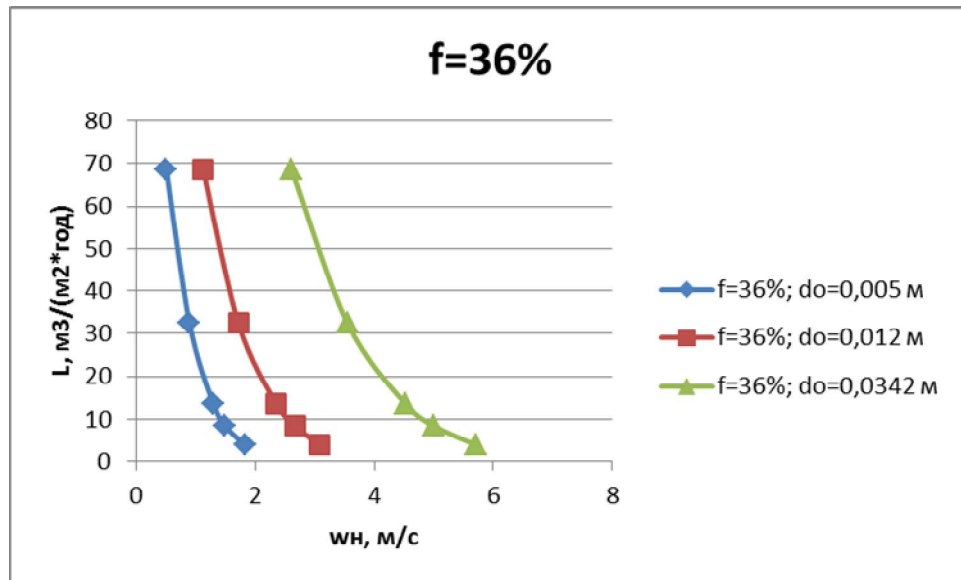


Рисунок 1.5 - Залежність $w_n = f(L)$ для тарілок провального типу з вільним перерізом $f = 36\%$ і різним діаметром отворів

В даній роботі є досліджувалися режими роботи тарілок провального типу різного вільного перерізу в колоні діаметром $D = 0,057$ м, визначення нижньої межі роботи тарілок, а також порівняння отриманих дослідних даних із розрахунковими. Досліджувалися тарілки провального типу різного вільного перерізу та з різними діаметрами отворів в плато тарілки.

За нижню межу роботи тарілок провального типу, на підставі літературних даних [6], приймаємо швидкість газу у перерізі колони, що відповідає початку режиму рухомого барботажного шару на тарілках провального типу (точці біфуркації).

- L – щільність зрошення, м³/(м²·год);
- w_n – швидкість газу в повному перерізі колони, що відповідає нижній межі роботи тарілок провального типу, м/с.

Експериментальні дані обробляли за допомогою кореляції, наведеній у роботі [3]. Кореляцію одержували за допомогою методу найменших квадратів, що наведена у роботі [7].

Одержували рівняння кореляції виду

$$y_p = b - c \cdot X, \quad (1.5)$$

де y_p – розрахункове значення величини $y = \lg Y$;

b, c – коефіцієнти кореляції.

Середню відносну похибку розраховуємо за рівнянням:

$$A = \frac{1}{n} \cdot \sum \left| \frac{y - y_p}{y} \right| \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

де n – кількість розрахункових точок.

На рис. 1.6 представлена кореляція за рівнянням (7) для тарілок з вільним перерізом тарілок $f = 16; 25; 36\%$ і діаметром отворів у плато тарілки $d_0 = 0,012$ м.

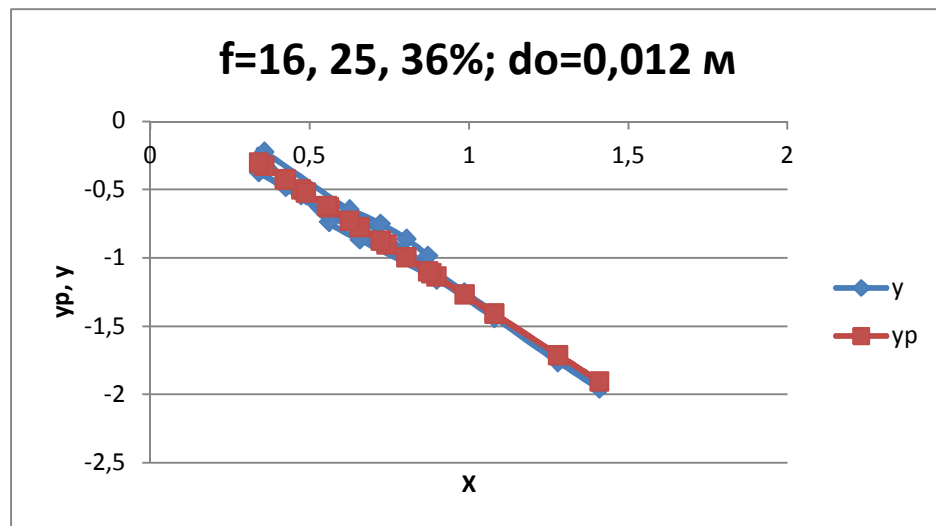


Рисунок 1.6 - Порівняння розрахункових та експериментальних даних за рівнянням (7) для розрахунку $w_n = f(L)$

Середня відносна похибка становить: $A = 9\%$.

Аналітичний вид кореляції представлений рівнянням

$$y_p = 0,2084 - 1,5X \quad (1.7)$$

Інша форма кореляції (7):

$$Y = 1,62 * e^{-4,15 * X} \quad (1.8)$$

Це рівняння відповідає діаметру отворів в плато тарілки $d_0 = 0,012$ м. Вільний переріз тарілки провального типу може змінюватись від $f = 16\%$ до $f = 36\%$. Діаметр колони дорівнює $D = 0,057$ м.

Рівняння для кореляцій, які одержані для інших діаметрів отворів в плато тарілки, мають значно більшу відносну похибку для того ж діапазону зміни вільного перерізу тарілок провального типу.

Висновки.

1. Існуючі у літературних джерелах рівняння для розрахунку діапазону стійкої роботи тарілок провального типу не можуть бути застосовані для тарілок діаметром $D = 0,057$ 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 (1.8) з середньою відотною похибкою $A = 9\%$, яка є доброю.

Тарілки провального типу достатньо широко застосовуються в різних галузях промисловості [8 – 11]. При цьому, діаметр колон, що застосовуються, змінюється в широких межах.

У роботі [9] наводяться дані по застосуванню решітчастих тарілок провального типу в бражних колонах різного діаметру 0,6, 1,0, 1,6 і 2,0 м.

У роботі [10] повідомляється, що для очищення водню від бензолу була використана колона з тарілками провального типу діаметром 0,8 м. В скрубєрі діаметром 0,762 м здійснювали очищення пропан-пропіленової фракції від сірчистого газу. У виробництві полігідрірованого спирту для відпарювання проміжних з'єднань з води використовувалася колона діаметром 1,07 м з тарілками провального типу. Колона діаметром 0,4 м виконувала функції абсорбційно-відпарної, етиленової, етилен-етанової

колони в установці розділення вуглеводневих газів під тиском виробництв етилену. У виробництві синтетичного спирту решітчасті тарілки встановлені у відпарних частинах абсорбційно-відпарних колон діаметром 1,14 м. Для уловлювання бензолу кам'яновугільним маслом використовували колону діаметром 0,8 м з тарілками провального типу. Як деізобутанізатор, при розділенні парафінов експлуатуються колони діаметром 0,4 м. Для отримання поліпропілена з пропан-пропіленової фракції використовувалася колона діаметром 0,4 м з решітчастими тарілками. Експлуатується також колона з дірчастими тарілками провального типу діаметром 0,57 м як теплообмінник-холодильник сірчистого газу. У виробництві стиrolу експлуатуються колони діаметром 2,6 і 3,0 м. У виробництві розділення газів піролізу – колони 1,2 – 0,6 м. На установці АВТ експлуатується колона діаметром 3,2 м. На установці розділення сирої нафти використовувалися тарілки провального типу у вакуумній колоні діаметром 5 м. [3]

У роботі [11] наводяться відомості про вибір пінних апаратів для мокрого очищення газів з тарілками провального типу різного діаметру. Пропонується ряд типорозмірів газоочисників з діаметром апаратів 0,703, 0,89, 0,107, 0,126, 0,145, 0,168, 0,192, 0,222, 0,248, 0,282 м.

З досвіду експлуатації тарілок провального типу в промисловості можна зробити висновки:

- тарілки провального типу успішно експлуатуються в різних галузях промисловості в багатьох виробництвах промислової продукції;

- в промисловості експлуатуються тарілки провального типу в колонах різного діаметру від 0,4 до 5,0 м.

Відомо [12], що при переході від апаратів невеликого діаметру до апаратів більшого діаметру виникає масштабний ефект, який полягає в тому, що при переході до більшого діаметру зменшується ефективність апарату за інших рівних умов. Стверджується, що ефективність апаратів залежить від гідродинамічних умов матеріальних потоків в апараті. В роботі обговорюється теорія масштабного переходу. Згідно зі теорією, пропонується

визначати ефективність апаратів великих розмірів тільки на підставі гідродинамічних випробувань, не проводячи технологічних випробувань промислових апаратів. Технологічні випробування необхідно проводити тільки на дослідних установках невеликого розміру.

У роботі [13] приведені графіки залежності, рис.1.7, гідравлічного опору тарілок провального типу (Δp , м) від швидкості газу в перерізі колони (w , м/с), для тарілок діаметром $D = 0,4$ і 2 м, які досліджені на модельній системі повітря-вода при щільності зрошування $L = 8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ і тарілки діаметром $D = 0,3$ м (ректифікація системи метанол – вода 50 мол. %). Вільний переріз всіх тарілок складав $f = 36\%$, а діаметр отворів в плато тарілки – $d_0 = 0,012$ м.

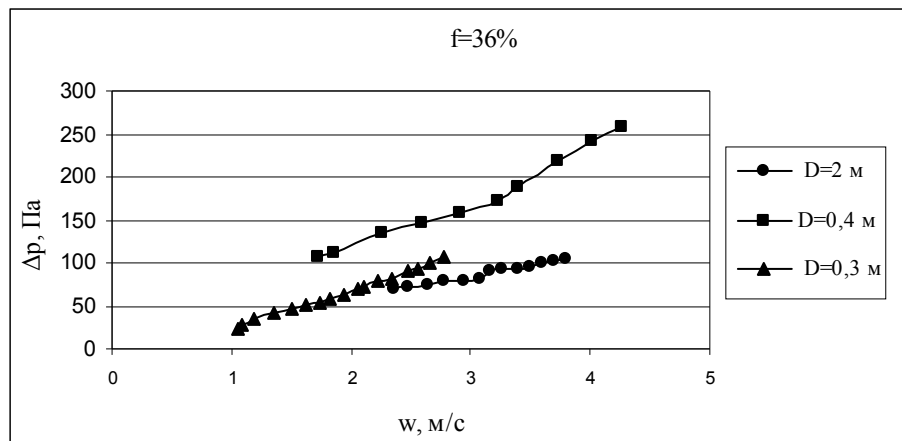


Рисунок 1.7 - Залежність гідравлічного опору тарілок провального типу (Δp , м) від швидкості газу в перерізі колони (w , м/с)

З порівняння графіків для тарілок з діаметром $D = 0,4$ і 2 м видно, що гідравлічний опір тарілки діаметром $D = 0,4$ більш, ніж в два рази більше гідравлічного опору тарілки діаметром $D = 2$ м, за інших рівних умов. Це узгоджується з висновками авторів роботи [12] про існування масштабного ефекту в колонних апаратах.

У роботах [13, 14] були досліджені режими роботи, які виникають на тарілках провального типу. Встановлено існування трьох режимів роботи тарілок:

– режим однорідного барботажного шару;

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

У роботах робляться висновки, що перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного шару відбувається в точці бифуркації, коли існує принципова зміна структури барботажного шару. Цей перехід відбувається при висоті газорідного шару $H \approx 100$ мм для всіх досліджених тарілок. Максимальна ефективність на тарілках провального типу досягається при режимі рухомого газорідного шару.

У роботі [15] було запропоновано рівняння (1.9) для розрахунку точки бифуркації барботажного шару на тарілках провального типу.

$$\lg\left(\frac{Y}{T^{0,5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (1.9)$$

У рівняння (1.1) входить коефіцієнт T , який є відношенням суми периметрів всіх отворів плато тарілки до її діаметру [13]. Таким чином, параметр T є функцією таких геометричних параметрів тарілки провального типу, як її діаметр, вільний переріз і діаметр отворів плато тарілки. Це дає можливість за рівнянням [15] розраховувати вільний переріз тарілок провального типу по заданій швидкості газу, розрахованій на повний переріз колони, для різних діаметрів колони. Таким чином, можливе здійснення гідродинамічного моделювання тарілок провального типу з різними геометричними характеристиками.

За літературним оглядом можна зробити наступні висновки:

- в промисловості застосовуються тарілки провального типу різних діаметрів від 0,4 до 5,0 м ;
- в апаратах, забезпечених тарілками провального типу, існує масштабний ефект [12,13];
- існує три режими роботи тарілок провального типу. Перехід від режиму однорідного барботажного шару до режиму рухомого газорідного

шару відбувається в точці бифуркації, при цьому існує принципова зміна структури барботажного шару. Цей перехід відбувається при висоті газорідного шару $H \approx 100$ мм для всіх досліджених тарілок. Максимальна ефективність на тарілках провального типу досягається при режимі рухомого газорідного шару [13, 14];

– для розрахунку газорідного шару на тарілках провального типу в точці бифуркації запропоновано рівняння (1.9) [15], куди входить параметр T , який є відношенням суми периметрів всіх отворів плато тарілки до її діаметру [13].

Як приклад, для характеристики рівняння (1.9), в даній роботі пропонується гідродинамічне моделювання тарілок провального типу з метою їх установки у зміцнюючій частині колони основної ректифікації виробництва метанолу М–100.

Вихідні дані для розрахунку тарілок провального типу наступні:

- діаметр колони – $D = 2,4$ м;
- витрата дистилляту метанолу - $G_d = 100000$ т/рік;
- масова витрата рідини (флегми) – $G_p = 8,199$ кг/с;
- середня густина суміші у зміцнюючій частині колони – $\rho_p = 759,98$ кг/м³;
- середня динамічна в'язкість суміші в зміцнюючій частині колони при середній температурі – $\mu_p = 0,3453 \cdot 10^{-3}$ Па·с;
- динамічна в'язкість води при температурі 20°C – $\mu_v = 1,005 \cdot 10^{-3}$ Па·с;
- середня густина суміші пари метанолу в зміцнюючій частині колони – $\rho_n = 1,19$ кг/м³;
- швидкість пари, що розрахована на повний переріз колони – $w = 1,52$, м/с;
- масова витрата пари - $G_n = 8,175$ кг/с;
- діаметр отворів плато тарілки – $d_0 = 0,012$ м;
- щільність зрошування по рідині склала – $L = 8,5885$ м³/(м² год);
- f – вільний переріз тарілки, м²/м²;

– прискорення сили тяжіння – $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Рівняння (1.9) привели до виду рівняння (1.10)

$$Y/T^{0,5} = 1,188 \cdot 10^{-1,68 \cdot X} \quad (1.10)$$

Значення Y визначаємо за рівнянням (1.11)

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_s} \right)^{0,16} \quad (1.11)$$

Значення X визначаємо за рівнянням (1.12)

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p} \right)^{1/8} \quad (1.12)$$

Шукане значення вільного перерізу тарілки провального типу визначаємо методом послідовного наближення за рівняннями (1.10) – (1.12).

Задаємося рядом значень вільного перерізу тарілки провального типу і визначаємо величину $|\varepsilon|$ (таблиця 1.1), як різницю між лівою і правою частинами рівняння (1.2), узятую за абсолютною величиною.

Таблиця 1.1 - Значення f і $|\varepsilon|$, відповідно, для колони з діаметром $D = 2,4 \text{ м}$;

f	0,09	0,1	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18
$ \varepsilon $	0,211514	0,11535	0,04605	0,004302	0,07057	0,110573	0,13632

Далі будемо графік залежності $f = \varphi(|\varepsilon|)$ і визначаємо шуканий вільний переріз тарілки, рис. 1.8.

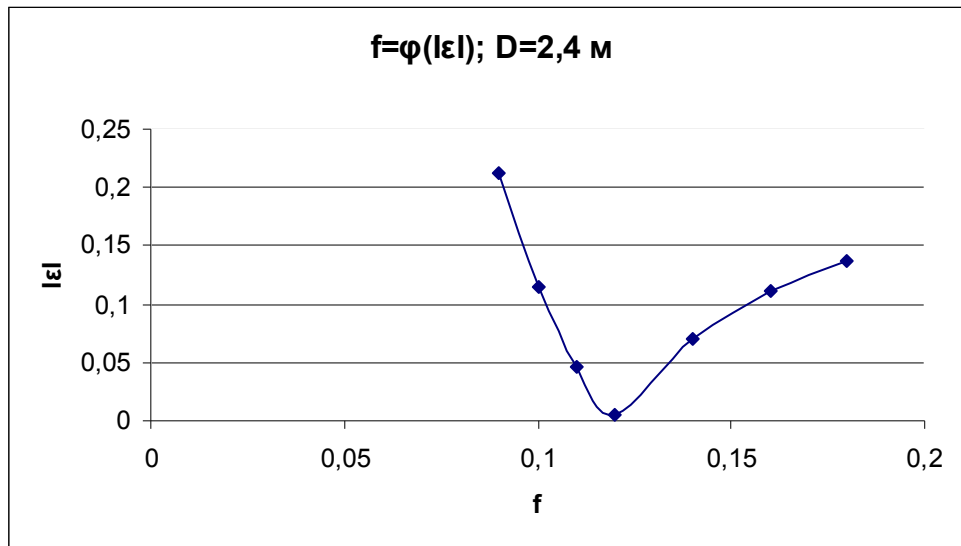


Рисунок 1.8 - Графік залежності величини $|\varepsilon|$ від f для колони діаметром $D = 2,4$ м

У результаті розрахунку для колони діаметром $D = 2,4$ м вибираємо вільний переріз тарілок провального типу, який дорівнює $f = 0,12$.

Далі проводимо гідродинамічне моделювання газорідного шару на тарілці провального типу в точці біфуркації, використовуючи колону з тарілкою провального типу діаметром $D = 0,057$ м.

Для цього задаємося швидкістю пари $w = 1,52$, м/с і щільністю зрошування $L = 8,5885$ м³/(м² год) в модельній колоні. Тоді масова витрата пари $G_{\text{п}} = 0,004613$ кг/с і масова витрата рідини (флегми) $G_{\text{р}} = 0,004625$ кг/с.

Задаємося рядом значень вільного перерізу тарілки і визначаємо величину $|\varepsilon|$, як різницю між лівою і правою частинами рівняння (1.2), узятую по абсолютній величині (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Значення f і $|\varepsilon|$, відповідно, для колони з діаметром $D = 0,057$ м;

f	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
$ \varepsilon $	0,5581	0,1634	0,003083	0,07548	0,119

Далі будуємо графік залежності $f = \varphi(|\varepsilon|)$ і визначаємо шуканий вільний переріз тарілки, що встановлена в колоні $D = 0,057$ м, рис. 1.9.

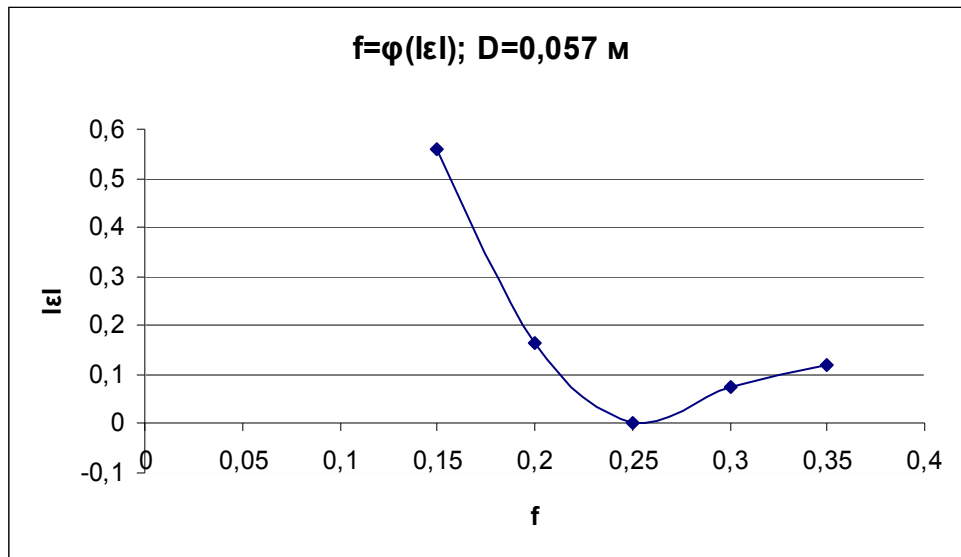


Рисунок 1.9 - Графік залежності величини $|\varepsilon|$ від f для колони діаметром $D = 0,057$ м

У результаті розрахунку, для колони діаметром $D = 0,057$ м вибираємо вільний переріз тарілок провального типу, який дорівнює $f = 0,25$.

Тоді, щоб змодельювати гідродинамічну обстановку в точці біфуркації на колоні діаметром $D = 2,4$ м з вільним перерізом $f = 0,12$, необхідно провести дослідження тарілки, встановленої в колоні $D = 0,057$ м, тільки вільний переріз тарілки взяти рівним $f = 0,25$.

Були проведені експерименти на модельній установці з колоною $D = 0,057$ м і вільним перерізом $f = 0,24$. Діаметр отворів в плато тарілки складав $d_0 = 0,0125$ м. Щільність зрошування складала $L = 8,35$ м³/(м² год). Вимірювали гідравлічний опір тарілки і висоту газорідного шару на тарілці провального типу залежно від швидкості газу в перерізі колони.

Графіки цих залежностей представлені на рис. 1.10 та рис. 1.11.

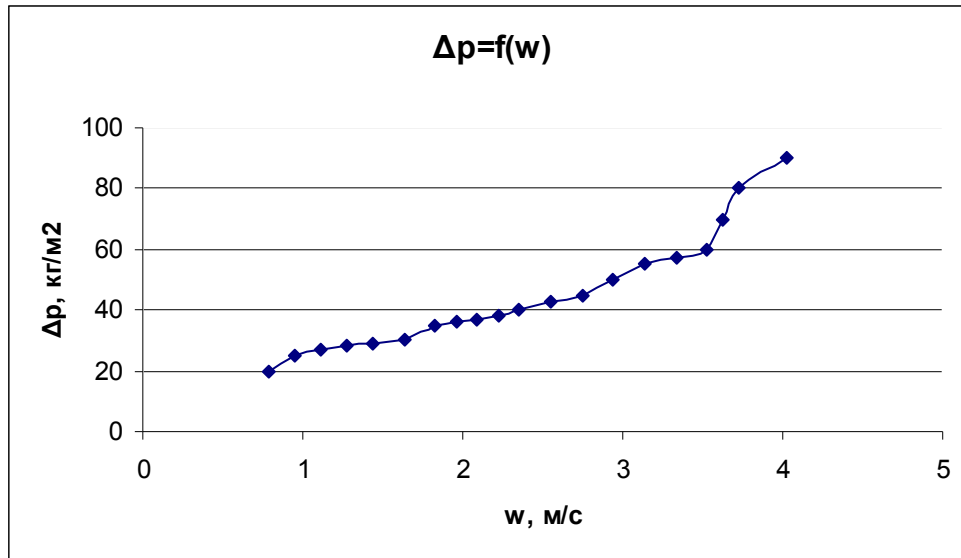


Рисунок 1.10 - Графік залежності величини Δp від w для колони діаметром $D = 0,057$ м

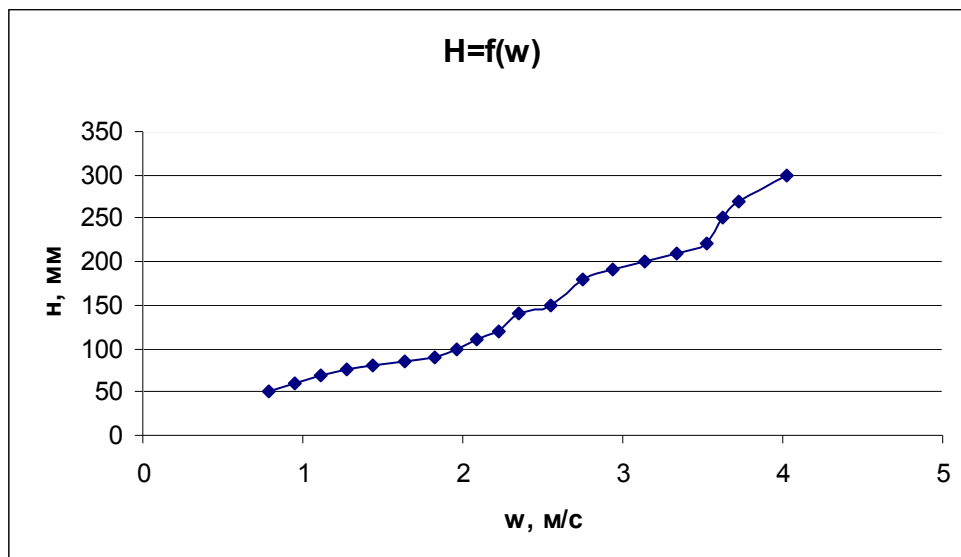


Рисунок 1.11 - Графік залежності величини H від w для колони діаметром $D = 0,057$ м

З графіка залежності $H = f(w)$, видно, що біфуркація в колонні $D = 0,057$ м, відбувається при швидкості повітря $w = 1,6$ м/с. Це близьке значення швидкості до розрахункової швидкості пари в точці біфуркації ($w = 1,52$, м/с) в колонні с діаметром $D = 2,4$ м і вільним перерізом $f = 0,12$.

Таким чином, за допомогою рівняння (1.2), можна здійснювати гідродинамічне моделювання газорідного шару на тарілках провального типу діаметром $D = 2,4$ м використовуючи експериментальні данні отримані на колонні діаметром $D = 0,057$ м.

1.2 Виробництво оцтової кислоти

Одне з провідних місць в хімічній промисловості займає виробництво оцтової кислоти.

Оцтова кислота грає дуже важливу роль в сучасній хімічній промисловості. Можна привести лише декілька органічних продуктів, які мали б в даний час ширше і різноманітніше застосування, ніж оцтова кислота. Вона застосовується в харчовій, целюлозно-паперовій, шкіряній, лакофарбній, фармацевтичній і інших галузях промисловості.

На ЗАТ «Об'єднання Азот» був побудований і введений в дію цех по виробництву оцтової кислоти з метанолу і окислу вуглецю потужністю 150 тисяч тонн на рік. Виробництво оснащено сучасними технологічним устаткуванням, автоматизовано із застосуванням ЕОМ.

Це виробництво відрізняється сучасними умовами праці, високими техніко-економічними показниками.

Введення нового великотоннажного виробництва обумовлене збільшенням попиту на оцтову кислоту, споживання якої щорічно зростає.

До порівняно недавнього часу головним джерелом оцтової кислоти була лісохімічна промисловість. До лісохімічних методів відноситься отримання оцтової кислоти при термічному розкладанні деревини шляхом вилучення кислоти екстрагуванням з рідини, що є конденсатом, який утворюється з парогазів термічного розкладу деревини та складається з водного розчину великої кількості органічних речовин, з яких головними є оцтова кислота, метиловий спирт, метілацетат, ацетон і смоли. Також оцтова кислота може бути отримана як побічний продукт при гідролітичному розщеплюванні цієї деревини.

Можливо також отримання оцтової кислоти з деревно-оцтових порошоків. Деревно-оцтовий порошок є технічно забруднений продукт оцтовокальцієвої солі, отримуваний на заводах сухої перегонки деревини.

Процес отримання кислоти в цьому випадку заснований на здатності мінеральних кислот витіснити оцтову кислоту з оцтовокальцієвої солі.

В даний час оцтову кислоту отримують головним чином синтетично. Отримання оцтової кислоти здійснюється різними способами, деякі приведені нижче [18].

Отримання оцтової кислоти при окисленні пропана, бутану і гомологів C_5-C_7 .

При окисленні пропана C_3H_8 , бутана C_4H_{10} і їх сумішей, яке здійснюється в промисловому масштабі, отримують суміш кисневміщувальних з'єднань, що складається з ацетальдегіду, метилового спирту, формальдегіду, ацетату і органічних кислот.

Цю суміш розділяють, і ацетальдегід або окисляють в оцтову кислоту, або використовують для отримання інших продуктів.

Залежно від умов проведення процесу співвідношення продуктів буває різним.

На одному із заводів США при окисленні пропана в умовах температури $200-250^{\circ}C$ і тиску до $6,088$ МПа при деякому певному співвідношенні пропану і кисню отримують головним чином ацетальдегід, формальдегід і метанол.

На іншому заводі США як початковий продукт використовують пропанобутанову суміш. Окислення суміші проводиться повітрям під тиском $2,063-3,044$ МПа при температурі $300-350^{\circ}C$, зазвичай без застосування каталізатора. Отримані з'єднання, що вміщують кисень поглинаються водою, а залишкові пропан і бутан, звільнені в особливій установці від інертних газів, повертаються в процес. Водний конденсат піддають розгону. В результаті отримують ацетальдегід, ацетон, формальдегід, метанол і вищі спирти. Вихід окремих продуктів залежить від вмісту того або іншого вуглеводня в початковій суміші, режиму температури

і тиску, а також тривалості окислення. При підвищенні температури збільшуються вихід метанолу і формальдегіду. Підвищення тиску і зменшення часу дії кисню на вуглеводень, сприяє напряму течії реакції в інший бік. Це використовують для підвищення виходів ацетальдегіду або інших продуктів.

На новому заводі в США оцтову кислоту отримують каталітичним окисленням бутану, що міститься в природних нафтових газах (95% - C_4H_{10} , 2,5% - изо- C_4H_{10} , 2,5% вуглеводнів, що містять більш 4-х атомів вуглецю). Окислення проводиться повітрям при більш низькій температурі і високому тиску (рідинна фаза) і часі контакту більшому, ніж в звичайних процесах безпосереднього окислення вуглеводнів нижчої молекулярної маси. У продуктах окислення немає формальдегіду, але є вищі альдегіди, переважно ацетальдегід, який повертають в цикл для окислення до відповідних кислот. Суміш продуктів окислення після конденсації і охолодження розділяють із застосуванням методів дистиляції, екстрагування і абсорбція. При цьому оцтову кислоту виділяють із застосуванням дистиляції.

Згаданий завод в США проводить також переробку пропанобутанової суміші і виробляє близько 800 т льодяної оцтової кислоти в тиждень, що складає 40 тис. т в рік. Отриману оцтову кислоту випускають як товарний продукт або

переробляють в оцтовий альдегід і вінілацетат. Оцтовий альдегід отримують дегідратацією оцтової кислоти із застосуванням мідного каталізатора (CuO). На 1т ангідриду витрачають 1,25 т льодяної оцтової кислоти.

Окислення пропана і бутану з метою отримання оцтової кислоти або оцтової кислоти разом з іншими продуктами вивчається давно, тому велика відмінність має місце в переробці цих вуглеводнів і в розділенні продуктів окислення.

Рідиннофазне окислення Н-бутана (температура кипіння $0,5^{\circ}C$, температура плавлення $138,3^{\circ}C$) виявилось одним з найбільш перспективних

процесів в області окислення вуглеводнів, оскільки продукти, що утворюються при цьому, є найбільш цінними. Серед них оцтова кислота є основним продуктом, що значно спрощує її виділення.

При застосуванні оцтової кислоти, як розчинника з бутаном при температурах вище критичної, взаємно розчинність можлива в будь-яких співвідношеннях. В ході процесу разом з іншими продуктами утворюється деяка кількість води, яка обмежено змішується з бутаном, а це викликає зміну фазової рівноваги і полегшує розшарування системи і розділення продуктів реакції. Розчинник грає і іншу позитивну роль в процесі окислення - він проводить руйнування перекисів, що утворюються в ході процесу.

Експериментальні дані показали, що при температурах порядку 165-180°C и при тиску 5,006-7,949 МПа високе перетворення бутану (30-39%) поєднується з хорошим виходом оцтової кислоти (близько 100 г на 100 г бутану, що прореагував). У цих дослідах як каталізатор використовувався стеарат кобальту що вводився, в кількості 0,03 г на 100 г бутану.

Марганцевий каталізатор в порівнянні з кобальтовим каталізатором дає вищий вихід мурашиної кислоти. Наприклад, при використанні кобальтового каталізатора, зміст оцтової і мурашиної кислот в конденсаті складає відповідно 76 и 6%, а при використанні марганцевого – 62 и 23%.

Процес отримання оцтової кислоти окисленням Н-бутана вивчався і був розроблений в Інституті хімічної фізики АН СРСР. Запропоновані оптимальні умови для проведення реакції окислення в рідинній фазі для цього вуглеводня. Так при температурі 145°C і тиску 5,006 МПа (критична температура Н-бутана 152°C, критичний тиск 3,633 МПа) продуктами окислення є оцтова кислота і метилетилкетон, причому вихід оцтової кислоти досягає 80% відносно бутану, що прореагував.

В даний час цей метод використовується на Московському нафтопереробному заводі.

Вуглеводні з вищим вмістом вуглецю при окисленні дають більшу кількість кислот. Загальний вихід оцтової кислоти і мурашиною кислот

підвищується із збільшенням парціального тиску кисню. Під час окислення мають місце різні конкуруючі реакції. При окисленні н-гептана ($n\text{-C}_7\text{H}_{16}$) вихід оцтової кислоти без каталізатора досягає 50%, а з каталізатором – 70%.

В той же час вихід мурашиної кислоти складає відповідно 15 и 20% (мас).

При використанні фракції (легкого бензину) газоліну, що містить головним чином пентан C_5H_{12} , гексан C_6H_{14} и гептан C_7H_{17} з температурою кипіння 20-95°C, оптимальний робочий режим роботи реактора (для умов проведення реакції в рідинній фазі) повинен бути таким: температура 170-175°C, тиск 4,222 МПа. В цьому випадку продукти реакції містять кислоти $\text{C}_1\text{-C}_4$, серед яких 74,3% припадає на частку оцтової кислоти. Кислоти ці розділяють шляхом ректифікації. Вуглеводні, що не прореагували, повертаються на окислення.

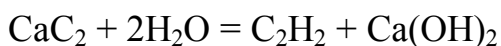
Синтез оцтової кислоти з ацетилену.

Зважаючи на високу реакційну здатність ацетилен є вельми важливим початковим матеріалом для синтезу цілого ряду органічних сполук, зокрема для синтезу оцтової кислоти.

Виробництво синтетичної оцтової кислоти з ацетилену отримало широкий розвиток і увійшло до промисловості важкого органічного синтезу. У деяких країнах головним споживачем ацетилену є виробництво оцтової кислоти.

У основі цього процесу лежить реакція гідратації ацетилену, який потім окисляють в оцтову кислоту.

Раніше ацетилен отримували майже виключно з карбїду кальцію. І в даний час карбїд кальцію в більшості країн, у тому числі і в країнах колишнього СНД є головним початковим матеріалом для отримання ацетилену.



Реакція карбіду з водою протікає при звичайній температурі з кількісним виходом ацетилену, концентрація якого в сирому газі складає біля 99%.

Для виробництва карбіду кальцію існують спеціальні заводи. Проте на багатьох хімічних заводах, на заводах синтетичного каучуку, а та заводах оцтової кислоти є карбідні цехи і цехи по отримання ацетилену.

Існуючий метод виробництва ацетилену з карбіду кальцію має недоліки, головною з яких є громіздкість устаткування і утруднення з використанням вапняного шламу-відходу, що накопичується у великих кількостях.

Тому до теперішнього часу у зв'язку з величезною потребою в ацетилені як початковій сировині для багатьох синтезів в багатьох країнах широко ведуться дослідницькі роботи по його отриманню з метану, етану, пропану і бутану, що містяться в природних і промислових нафтових газах, а також по виділенню ацетилену з вторинних газових сумішей. У цьому напрямі вже досягнуті успіхи.

Дослідницькі роботи ведуться так само по отриманню ацетилену з рідинних вуглеводнів (бензину, гасу, мазуту і тому подібне).

Найбільший інтерес викликає отримання ацетилену з природного газу. Зараз цей метод упроваджується в промисловість і інтенсивно удосконалюється. Описаний промисловий синтез ацетилену в електричному розряді (електрокрекінг), здійснюваний в США, Германії і інших країнах. Виключно висока швидкість процесу дозволяє досягти значної продуктивності у відносно невеликих апаратах.

Недоліком процесів отримання ацетилену з газової і нафтової сировини є мала концентрація ацетилену в газових сумішах (не більш 16%), що вимагає складної і дорогої операції виділення концентрованого ацетилену.

Отримання оцтової кислоти карбонілюванням метанолу.

Оцтову кислоту отримують карбонілюванням метанолу при температурі від 175 до 189°C, тиску от 2,7 до 2,9 МПа у присутності каталізатора процесу - комплексних з'єднань родію. Промотором каталізаторної системи є з'єднання йоду - йодистий метил і йодистий водень.

Як каталітична система в даному процесі використовується розчин наступного складу:

Масова частка тріодіда родію – (0,15-0,3)%

Масова частка йодистого метилу – (8-15)% (опт. не более 13%)

Масова частка йодистого водню – (3,5-8,5)% (опт. не менее 2,5%)

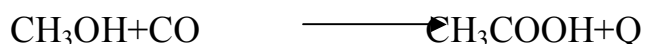
Масова частка оцтової кислоти – (60-71,9)%

Масова частка добавки – (0,15-0,9)%

Масова частка води – останнє

Як добавка застосовується діпроксамін марки Д-157-65М (поліоксисалкилендіамін або поліетіленамін).

Сумарне рівняння реакції карбонілювання метанолу може бути представлено в наступному вигляді:



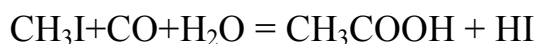
Процес карбонілювання метанолу описується наступними рівняннями реакцій:

1. $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_3\text{OOH} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HI} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{I}$
3. $\text{CH}_3\text{I} + \text{Rh комплекс (I)} = \text{Rh комплекс (II)}$
4. $\text{Rh комплекс (II)} + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{HI} + \text{Rh комплекс (I)}$

В процесі синтезу оцтової кислоти виділяться 2325 кДж (555 ккал) тепла на 1 кг оцтової кислоти.

У міру протікання реакцій, каталізатор проходить ряд перетворень у вигляді окисно-відновного циклу валентного стану від +1 до +3.

Сумарний стан реакцій (3) і (4) є підсумком реакційно-регенераційного процесу, властивого системі каталізатор-промотор:



З приведених реакцій найповільнішою є реакція (3), яка визначає швидкість реакції карбонілювання метанолу і отже навантаження по метанолу.

Теоретична швидкість реакції карбонілювання визначається по рівнянню:

$$T_e = 1795 * e^{-7830 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{443} \right)} * I^{1.05} * Rh^{0.99}$$

грам – моль CH_3OH /літр розчину в годину, де:

T- температура в °K;

I – молярна концентрація йоду, зміряна в холодній неаерірованій рідині, моль/літр.

Rh – молярна концентрація родію, визначена в холодній неаерірованій рідині, моль/літр

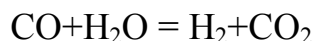
Підвищенню теоретичної швидкості сприяє:

1. підвищення температури в реакторі;
2. збільшення концентрації йоду;
3. збільшення концентрації родію;

Розрахункова робоча швидкість процесу прийнята рівною 65,5% від максимальної теоретичної швидкості подачі метанолу, тобто фактична швидкість реакції карбонілювання обмежена швидкістю подачі метанолу і рівна їй.

Відсоток від теоретичної швидкості розраховується як відношення фактичної швидкості до теоретичної.

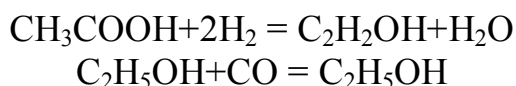
Разом з основною реакцією утворення оцтової кислоти (реакцій карбонілювання) протікає реакція конверсії окислу вуглецю:



У приведених реакціях, подібно до реакцій карбонілірування, є окисло-відновний цикл, в якому валентність родію змінюється від +1(I) до +3(II). Протіканню реакції конверсії CO сприяє наявність надлишку йодистого водню в системі.

Важливою стороною цього процесу є збільшення змісту інертів в системі синтезу (на 1 моль Co, утворюється 1 моль CO₂ і 1 моль H₂), що призводить до зниження парціального тиску CO у системі, а це, зрештою, може порушити стабільність каталізаторної системи і процесу синтезу.

Процес отримання оцтової кислоти методом карбонілірування метанолу характеризується високою селективністю. Основним побічним продуктом є пропіонова кислота. Етанол поступає в реактор як домішку метилового спирту, а також утворюється в процесі реакції гідрування оцтової кислоти:



Водень для реакції гідрування виходить по реакції конверсії CO.

Окрім пропіонової кислоти в процесі утворюються інші легкокиплячі домішки, такі як мурашина кислота, ацетальдегід, діметіловий ефір і так далі, а також насичені вуглеводні.

Для очищення оцтової кислоти від домішок пропіонової кислоти, продуктів корозії і йодистого водню застосовується колона ректифікації. Позитивною якістю тарілчастої колони ректифікації є простота конструкції.

Колона являється суцільнозварним апаратом що складається з корпусу, що має форму циліндра, до якого приварені еліптичні днища. У середині колони на відстані 600 мм один від одного приварено опорні балки до яких кріпляться тарілки провального типу. Тарілки є розбірними, що дозволяє їх вмонтовувати і демонтувати під час ремонту. Для ремонту апарату в нім передбачені люки.

Також для підйому і спуску обслуговуючого і ремонтного персоналу апарат обладнаний обслуговуючими металоконструкціями (майданчики, сходи). Для подачі початкових продуктів в апарат а також для виводу з нього готового продукту на колоні встановлюють арматуру і трубопровідне обв'язування. Досягнення збереження необхідної температури в колоні досягається нанесенням на її корпус теплоізоляції. Колона встановлюється в конічну опору, яка у свою чергу встановлена на фундаменті і прикріплена до нього фундаментними болтами. На корпусі апарату є штуцера для установки термодар, манометрів і інших засобів контролю над процесом.

1.3. Ректифікація суміші оцтова – пропіонова кислоти

Оскільки даний процес ректифікації безперервний, то початкова суміш (оцтова і пропіонова кислоти) подається в середню частину колони в підігрітому стані. У верхню частину колони подається флегма, що є чистою оцтовою кислотою. При зіткненні пари, що піднімається, із стікаючою рідиною відбувається часткова конденсація пари початкової суміші і часткове випаровування рідини (оцтової кислоти). При цьому з пари конденсується переважно висококиплячий компонент (пропіонова кислота), а з рідини випарується переважно низькокиплячий компонент (оцтова кислота). Таким чином, стікаюча рідина збагачується висококиплячим компонентом (пропіоновою кислотою), а пари, що піднімаються, збагачуються низькокиплячим компонентом (оцтовою кислотою) в результаті чого пари, що виходять з апарату, представляють собою майже чисту оцтову кислоту. Ці пари надходять в конденсатор (дефлегматор), де і конденсуються. Частина конденсату, що повертається на зрошування апарату, називається флегмою, друга частина відводиться як дистилат (готовий продукт). Стікаюча рідина потрапляє в кип'ятильник (куб), де утворюються пари, що піднімаються вгору по колоні, залишок безперервно відводиться з куба.

Матеріальний баланс

Вихідні дані

Концентрація оцтової кислоти:

у початковій суміші	- $a_F = 99,75\%$ (мас.),
у дистилляті	- $a_P = 99,92\%$ (мас.),
у кубовому залишку	- $a_W = 83,57\%$ (мас.).

Температура:

води, що охолоджує	- $10\text{ }^\circ\text{C}$,
дистилляту після холодильника	- $70\text{ }^\circ\text{C}$,
кубового залишку після холодильника	- $80\text{ }^\circ\text{C}$,

Тиск насиченої водяної пари - 6 кгс/см^2 ,

Коефіцієнт надлишку флегми - 1,5.

Початкова суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

Компонент А - оцтова кислота

Компонент В - пропіонова кислота

Розрахунок колони ректифікації зводиться до визначення її основних геометричних розмірів - діаметру і висоти.

Обидва параметри значною мірою визначаються гідродинамічним режимом роботи колони, який, у свою чергу, залежить від швидкостей і фізичних властивостей фаз.

Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в молярних по формулі:

$$X = \frac{\frac{a}{M_A}}{\frac{a}{M_A} + \frac{1-a}{M_B}},$$

де X – концентрація низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мол. долі;

α – вміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас. долі;

M_A, M_B – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Молярні маси: оцтова кислота (компонент А) - 60 кг/кмоль.

пропіонова кислота (компонент В) - 74 кг/кмоль.

Тоді концентрація початкової суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,9975}{60}}{\frac{0,9975}{60} + \frac{1-0,9975}{74}} = 0,9965$$

дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,9992}{60}}{\frac{0,9992}{60} + \frac{1-0,9992}{74}} = 0,9994;$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{\alpha_W}{M_A}}{\frac{\alpha_W}{M_A} + \frac{1-\alpha_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,8357}{60}}{\frac{0,8357}{60} + \frac{1-0,8357}{74}} = 0,8625.$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графоаналітичним способом.

Таблиця 1.3 – Рівноважні концентрації для суміші оцтова кислота - пропіонова кислота

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
у рідині (x)	у парі (y)	
1	2	3
0	0,0	140,8
10	15	137,4
20	27,5	134,5

Продовження табл. 1.3

1	2	3
30	38,5	132
40	49,7	129,5
50	59,4	127,3
60	69,3	125
70	78,8	123,9
80	87,6	120,9
90	95	119,2
100	100,0	118,1

$$R_{\min} = 0,584$$

Дійсне флегмове число буде рівне:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 1,5 \cdot 0,584 = 0,876.$$

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

Рідинна фаза:

Середня молярна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^n = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,8625 + 0,9965}{2} = 0,93.$$

Середня молярна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^6 = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,9965 + 0,9994}{2} = 0,998.$$

Середня молярна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^6}{2} = \frac{0,93 + 0,998}{2} = 0,964.$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B} = \frac{0,964 \cdot 60}{0,964 \cdot 60 + (1 - 0,964) \cdot 74} = 0,956$$

Середня температура в нижній частині колоні:

$$t_{xcp}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{119,94 + 118,18}{2} = 119,06^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колоні:

$$t_{xcp}^6 = \frac{t_{XF} + t_{XP}}{2} = \frac{118,18 + 118,11}{2} = 118,15^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{Xcp} = \frac{t_{xcp}^H + t_{xcp}^6}{2} = \frac{119,06 + 118,15}{2} = 118,6^\circ\text{C}.$$

Значення t_{XW} , t_{XF} , t_{XP} узяті з діаграми $t - x$, y .

Середня молярна маса

$$M_{x\text{cp}} = M_A \cdot X_{\text{cp}} + M_B \cdot (1 - X_{\text{cp}}),$$

$$M_{x\text{cp}} = 60 \cdot 0,964 + 74 \cdot (1 - 0,964) = 60,504 \text{ кг/кмоль.}$$

Середня густина визначається по формулі:

$$\rho_{x\text{cp}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_{\text{cp}} + \rho_A (1 - \alpha_{\text{cp}})},$$

де ρ_A и ρ_B – густина компонентів А і В при температурі $t_{x\text{cp}}$.

$$\rho_A = 938 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{x\text{cp}} = 118,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_B = 895 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{x\text{cp}} = \frac{938 \cdot 895}{895 \cdot 0,956 + 938(1 - 0,956)} = 936 \text{ кг/м}^3.$$

Середню в'язкість розраховуємо по рівнянню:

$$\lg \mu_{x\text{cp}} = X_{\text{cp}} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{\text{cp}}) \cdot \lg \mu_B$$

де μ_A и μ_B – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А и В, Па·с.

$$\mu_A = 0,367 \text{ мПа} \cdot \text{с при } t_{\text{cp}} = 118,6 \text{ }^\circ\text{C} [2, \text{ с.79, Додаток Б}];$$

$$\mu_B = 0,312 \text{ мПа} \cdot \text{с.}$$

$$\lg \mu_{x\text{cp}} = 0,964 \cdot \lg 0,367 + (1 - 0,964) \cdot \lg 0,312 = -0,438$$

$$\mu_{x\text{cp}} = 0,438 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,438 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Парова фаза:

Середня молярна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^n = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,9222 + 0,9982}{2} = 0,96$$

Середня молярна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^e = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,9982 + 0,9997}{2} = 0,999,$$

Середня молярна концентрація по колоні:

$$Y_{cp} = \frac{y_{cp}^n + y_{cp}^e}{2} = \frac{0,96 + 0,999}{2} = 0,9795$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^n = 118,2^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^e = 118^\circ\text{C}.$$

Температури $t_{y_{cp}}^n$, $t_{y_{cp}}^e$ знайдені з діаграми $t - x$, y .

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{cp}} = \frac{t_{y_{cp}}^n + t_{y_{cp}}^e}{2} = \frac{118,2 + 118}{2} = 118,1^\circ\text{C}.$$

Середня молярна маса

$$M_{y_{cp}} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}) = 60 \cdot 0,9795 + 74 \cdot (1 - 0,9795) = \\ = 60,287 \text{ кг/кмоль.}$$

Середня густина:

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{M_{y_{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T},$$

де $T = 273 + t_{y_{cp}}$;

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{60,287}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 118,1)} = 1,819 \text{ кг/м}^3.$$

Мета роботи: проведення гідродинамічного моделювання тарілок провального типу, які розташовані в колоні ректифікації суміші оцтова кислота – пропіонова кислота.

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

Визначаємо вільний переріз тарілок провального типу в колонні

$$D = 2 \text{ м}$$

Розрахунок проводиться за формулами (2.1)-(2.3)

$$\lg\left(\frac{Y}{T^{0,5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.1)$$

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_p}\right)^{1/8} \quad (2.2)$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g}\right)^{0,16}, \quad (2.3)$$

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

$$G_{\text{рід}} = 7,352 \text{ кг/с.}$$

$$G_{\text{п}} = 7,294 \text{ кг/с}$$

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

G_{f} – 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;

$\mu_{\text{г}}$ – 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;

Π – периметр отворів, м

T – коефіцієнт

Визначаємо щільність зрошення, м³/(м² год);

$$L = 11,27 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$$

Визначаємо розрахункові параметри

За рівнянням (2.4) розраховується перша інтеграція при $f = 0,09$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.4)$$

де Y розраховується за формулою

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_g} \right)^{0,16}, \quad (2.5)$$

де w – рекомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,14 \text{ м/с}$$

ρ_p – питома вага рідини, кг/м³;

$$\rho_p = 747,62 \text{ кг/м}^3;$$

ρ_z – питома вага газу (пари), кг/м³;

$$\rho_z = 2,876 \text{ кг/м}^3;$$

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, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$$\mu_p= 0,442 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

μ_6 – в'язкість води при, 20° , $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$$\mu_6= 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,09^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 1363 * 0,00385 * 0,877 = 4,6$$

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_6} \right)^{0,16}$$

T – коефіцієнт, який розраховується за формулою

$$T = \frac{\sum \Pi}{D} \quad (2.6)$$

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м},$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,09 \cdot 3,14 = 0,2826 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0} \tag{2.7}$$

$$n = \frac{0,2826}{0,000113} = 2501$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 2501 = 94,288$$

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} = \frac{90,259}{2} = 47,144$$

За рівнянням (2.8) розраховуємо x

$$X = \left(\frac{G_\phi}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_z}{\rho_p} \right)^{1/8} \tag{2.8}$$

$$X = \left(\frac{7,352}{7,294} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,5$$

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

$$\text{Lg}(4,6/47,144^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$-0,174 = -0,7649$$

$$\varepsilon = 0,591$$

За рівнянням (2.9) розраховується друга інтеграція при $f=0,1$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.9)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,1^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 1104 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 3,728$$

T – коефіцієнт, який розраховується за формулою

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D}, \quad (2.10)$$

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n,$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f, \quad (2.11)$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,1 \cdot 3,14 = 0,314 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

$$S'_0 = \pi \cdot R^2 \quad (2.12)$$

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0} \quad (2.13)$$

$$n = \frac{0,314}{0,000113} = 2779$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 2779 = 104,76$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{104,76}{2} = 52,38$$

$$\text{Lg}(3,728/52,38^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$-0,2881 = -0,5$$

$$\varepsilon = 0,2119$$

За рівнянням (2.14) розраховується третя інтеграція при f=0,12

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.14)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,12^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 766,65 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 2,589$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} \quad (2.15)$$

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,12 \cdot 3,14 = 0,3768 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0} \quad (2.16)$$

$$n = \frac{0,3768}{0,000113} = 3335$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 3335 = 125,7$$

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} = \frac{125,7}{2} = 62,86$$

$$\text{Lg}(2,589/62,86^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$-0,4861 = -0,5$$

$$\varepsilon = 0,0139$$

За рівнянням (2.17) розраховується четверта інтеграція при $f=0,14$

$$\text{Lg}(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.17)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,14^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 563,25 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 1,9018$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} \quad (2.18)$$

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,14 \cdot 3,14 = 0,4396 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,4396}{0,000113} = 3890$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 3890 = 146,7$$

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} = \frac{146,7}{2} = 73,33$$

$$\text{Lg} (1,9018/73,33^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$- 0,6535 = - 0,5$$

$$\varepsilon = 0,1535$$

За рівнянням ((2.19)) розраховується п'ята інтеграція при $f=0,16$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.19)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,16^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 431,24 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 1,4561$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} \quad (2.20)$$

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

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,16 \cdot 3,14 = 0,5024 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,5024}{0,000113} = 4446$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 4446 = 167,6$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{167,6}{2} = 83,81$$

$$\text{Lg}(1,4561/83,81^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$- 0,7985 = - 0,5$$

$$\varepsilon = 0,2985$$

За рівнянням (2.21) розраховується шоста інтеграція при $f=0,18$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.21)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,18^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 340,73 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 1,1505$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} \quad (2.22)$$

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

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,18 \cdot 3,14 = 0,5652 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,5652}{0,000113} = 5002$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 5002 = 188,6$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{188,6}{2} = 94,3$$

$$\text{Lg}(1,1505/94,3^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$- 0,9264 = - 0,5$$

$$\varepsilon = 0,4264$$

За рівнянням (2.23) розраховується сьома інтеграція при $f=0,2$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (2.23)$$

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,2^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 275,99 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,9319$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

$$S_0 = 0,2 \cdot 3,14 = 0,628 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,628}{0,000113} = 5558$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 5558 = 209,5$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{209,5}{2} = 104,8$$

$$\text{Lg} (0,9319/104,8^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,5$$

$$- 1,0407 = - 0,5$$

$$\varepsilon = 0,5407.$$

Таблиця 2.1 - Залежність величин ε від вільного перерізу f

f	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
ε	0,591	0,2119	0,0139	0,1535	0,2985	0,4264	0,5407

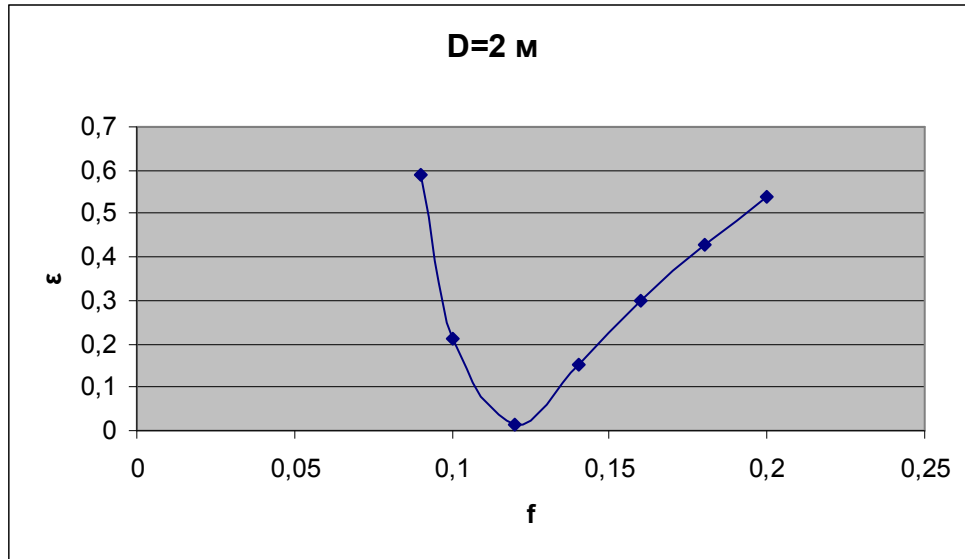


Рисунок 2.1 - Графік залежності ϵ від вільного перерізу f
в колонні діаметром $D = 2$ м

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

м

Приймаємо діаметр колони $D = 0,057$ м. та рекомендовану швидкість пари у колоні $w = 1,14$ м/с

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

тоді

$$V = w \cdot 785 \cdot D^2 = 1,14 \cdot 0,785 \cdot 0,057^2 = 0,0029075 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_n = V \cdot \rho_n$$

$$G_n = 0,0029075 \cdot 2,876 = 0,008362 \text{ кг/с}$$

Приймаємо щільність зрошування

$$L = 11,27 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{год});$$

тоді кількість рідини в модельній колоні

$$G_p = L \cdot S$$

$$G_p = 11,27 \cdot 0,00255 = 0,02874 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 747,62 = 21,486 \text{ кг/год} / 3600 = 0,005968 \text{ кг/с}.$$

За рівнянням (3.1) розраховується перша інтеграція при $f = 0,2$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.1)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

$$G_n = 0,0029075 \cdot 2,876 = 0,008362 \text{ кг/с}$$

$$\rho_{\text{п}} = 2,876 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{ж}} = 747,62 \text{ кг/м}^3;$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,2^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 275,99 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,9319$$

де w – декомендована швидкість пари у колоні

$$w = 1,14 \text{ м/с}$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} \quad (3.2)$$

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де S – площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,2 \cdot 0,00255 = 0,0005101 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

$$n = \frac{S_0}{S'_0} 0,0005101 \quad (3.3)$$

$$n = \frac{0,0005101}{0,000113} = 4,514$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 4,514 = 0,1702$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,1702}{0,057} = 2,986$$

$$\text{Lg} (0,9319/2,986^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,2681 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,4213$$

За рівнянням (3.4) розраховується друга інтеграція при $f = 0,24$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.4)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,24^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 191,66 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,6471$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

$$T = \frac{\Sigma \Pi}{D} \quad (3.5)$$

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,24 \cdot 0,00255 = 0,000612 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000612}{0,000113} = 5,416$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 5,416 = 0,20418$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,20418}{0,057} = 3,582$$

$$\text{Lg}(0,6471/3,582^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,4661 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,2233$$

За рівнянням (3.7) розраховується третя інтеграція при $f = 0,26$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.7)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,26^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 163,31 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,5514$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,26 \cdot 0,00255 = 0,000663 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000663}{0,000113} = 5,8673$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 5,8673 = 0,2212$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,2212}{0,057} = 3,8806$$

$$\text{Lg} (0,5514/3,8806^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,553 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,1364$$

За рівнянням (3.8) розраховується четверта інтеграція при $f = 0,28$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.8)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,28^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 140,81 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,47540,5514$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,28 \cdot 0,00255 = 0,000714 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000714}{0,000113} = 6,3186$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 6,3186 = 0,2382$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,2382}{0,057} = 4,1791$$

$$\text{Lg}(0,4754/4,1791^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,63345 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,05595$$

За рівнянням (3.9) розраховується п'ята інтеграція при $f = 0,3$

$$\text{Lg}(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.9)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,3^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 122,66 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,4142$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м^2

де – S площа колони, м^2

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,3 \cdot 0,00255 = 0,000765 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000765}{0,000113} = 6,77$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 6,77 = 0,2552$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,2552}{0,057} = 4,4776$$

$$\text{Lg}(0,4142/4,4776^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,7083 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,0189$$

За рівнянням (3.10) розраховується шоста інтеграція при $f = 0,32$

$$\text{Lg}(Y/T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.10)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,32^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 107,81 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,364$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,32 \cdot 0,00255 = 0,000816 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м^2

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000816}{0,000113} = 7,22$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 7,22 = 0,2722$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,2722}{0,057} = 4,776$$

$$\text{Lg} (0,364/4,776^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,7083 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,08904$$

За рівнянням (3.11) розраховується сьома інтеграція при $f = 0,34$

$$Lg(Y / T^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot X \quad (3.11)$$

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

$$X = \left(\frac{0,005782}{0,008362} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{2,876}{747,62} \right)^{1/8} = 0,9119 \cdot 0,499 = 0,455$$

де Y – комплекс нанесений на осі ординат

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

$$Y = \frac{1,14^2}{9,81 \cdot 0,012 \cdot 0,34^2} \cdot \frac{2,876}{747,62} \cdot \left(\frac{0,442 \cdot 10^{-3}}{1,005 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,16} = 95,5 \cdot 0,00385 \cdot 0,877 = 0,3225$$

Розраховуємо коефіцієнт T за формулою

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

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

$$\Sigma \Pi = \Pi \cdot n$$

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

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

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

де Π – периметр отворів, м

$$\Pi = \pi \cdot d_0$$

$$\Pi = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м,}$$

Розраховуємо площу всіх отворів, м²

$$S_0 = S \cdot f$$

де – S площа колони, м²

$$S = 0,785 \cdot D^2$$

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

$$S_0 = 0,34 \cdot 0,00255 = 0,000867 \text{ м}^2$$

Розраховуємо площу одного отвору, м²

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

$$S'_0 = 3,14 \cdot 0,006^2 = 0,000113 \text{ м}^2$$

Розраховуємо кількість отворів на тарілці, шт.

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

$$n = \frac{0,000867}{0,000113} = 7,67$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n$$

$$\Sigma\Pi = \Pi \cdot n = 0,0377 \cdot 7,67 = 0,2893$$

$$T = \frac{\Sigma\Pi}{D} = \frac{0,2893}{0,057} = 5,0747$$

$$\text{Lg} (0,364/5,0747^{0,5}) = 0,0751 - 1,68 \cdot 0,45$$

$$- 0,7916 = - 0,6894$$

$$\varepsilon = 0,1022$$

Таблиця 2.2 - Залежність величин ε від вільного перерізу f

f	0,2	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,34
ε	0,4213	0,2233	0,1364	0,05595	0,0189	0,08904	0,1022

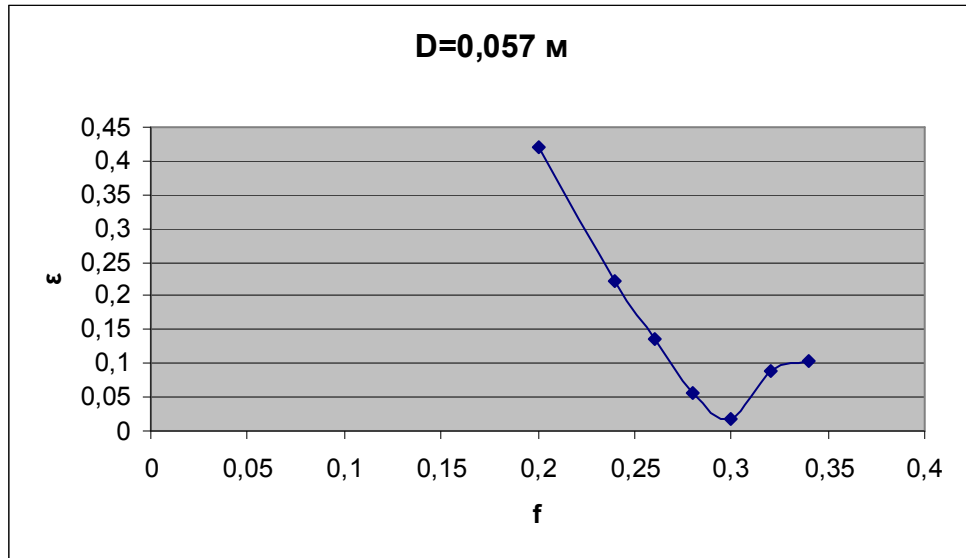


Рисунок 2.2 - Графік залежності ε від вільного перерізу f
в колонні діаметром $D = 0,057$ м

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

Схема експериментальної установки представлена на рис.4.1.

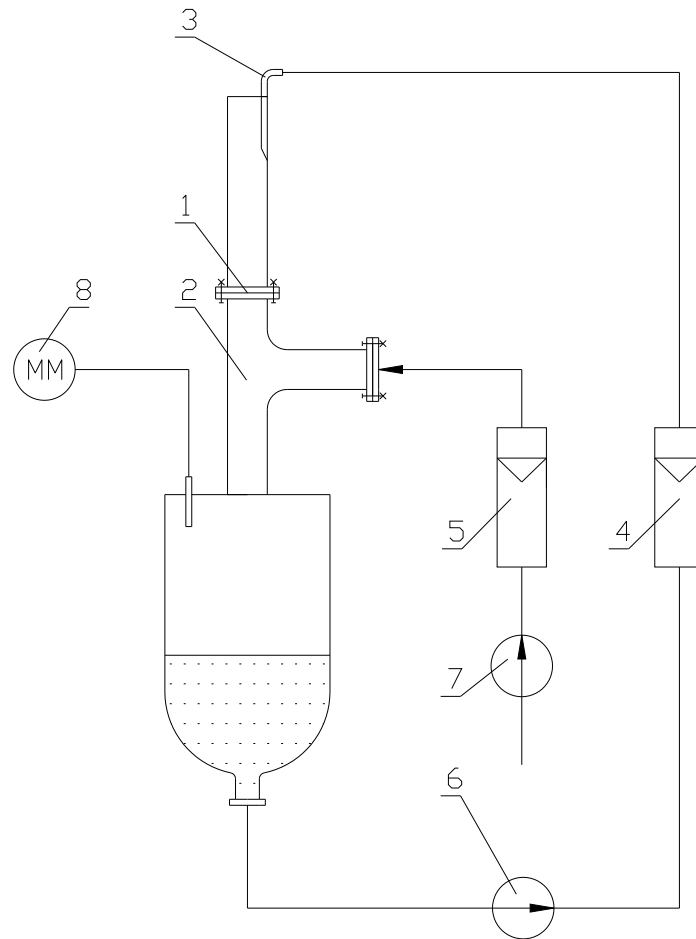


Рисунок 4.1 - Схема експериментальної установки.

1 – тарілка провального типу; 2 – колона; 3 – зрошувач; 4 – ротаметр для вимірювання витрати води; 5 – ротаметр для вимірювання витрати повітря; 6 – насос; 7 – газодувка; 8 – мікроманометр.

В колону 2 встановлюється тарілка провального типу 1. З кубової частини колони за допомогою насоса 6 вода подається через ротаметр 4 у верхню частину колони через зрошувач 3. Повітря за допомогою насоса 7 через ротаметр 5 подається в колону в місце, що розташовується нижче тарілки для забезпечення протитоку повітря і води для утворення барботажного шару на тарілці.

Вимірюємо гідравлічний тиск за допомогою мікроманометра 8. Для запобігання пульсацій гідравлічного тиску мікроманометр встановлюється в кубовій частині тарілки.

5. Експериментальні дослідження

Графіки експериментальних досліджень наведено на рис.5.1-5.2.

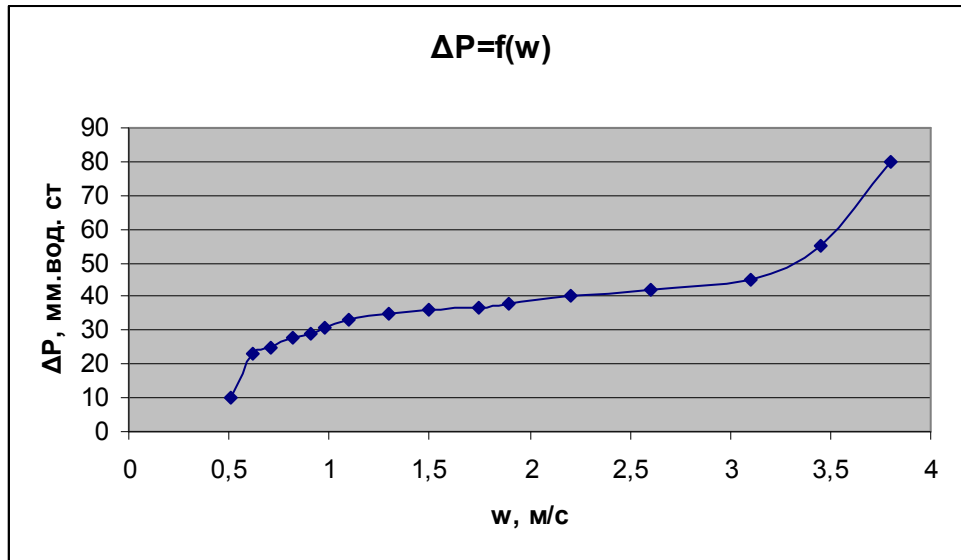


Рисунок 5.1 - Графік функції гідравлічного опору тарілки провального типу від w м/с для колони $D = 0,057$ м, вільний переріз $f = 0,3$.

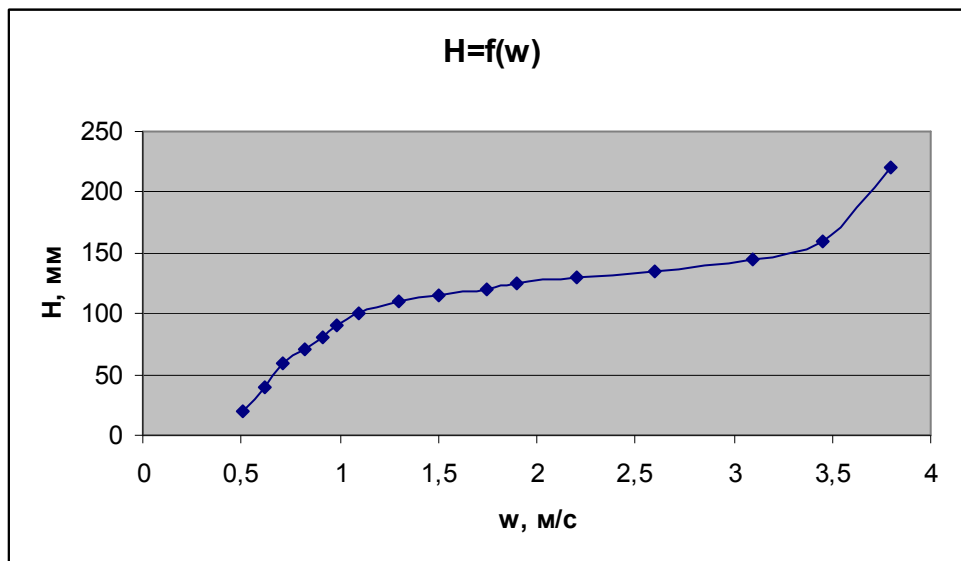


Рисунок 5.2 - Графік функції висоти газорідного шару тарілки провального типу від w м/с для колони $D = 0,057$ м, вільний переріз $f = 0,3$.

6. 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 електроустаткування 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 дрiт;

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

4.1. вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 В, що використовуються;

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

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

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

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

4.6. привести в порядок робоче місце;

4.7. здати ключі від лабораторії на вахту.

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

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

- ураження електричним струмом;
- займання горючих матеріалів.

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

- негайно знеструмити все електроустаткування загальним автоматичним вимикачем;

- негайно евакуювати в безпечне місце людей; повідомити про пожежу по тел.01; 4-34-17 в пожежну команду;

- розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;

- негайно повідомити про те, що відбулося безпосереднього керівника;

- гасити електроустаткування вуглекислотними вогнегасниками /ВВу/, порошковими /ВП/ або сухим піском; гасити електроустаткування і дроти водою забороняється.

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

Висновки

Розглянуто у літературному огляді роботу та застосування тарілок провального типу.

Розглянуто гідродинамічне моделювання тарілок провального типу та їх розрахунок.

Для суміші оцтова – пропіонова кислоти розраховані тарілки провального типу, які розташовані в колонні діаметром $D = 2$ м. Розрахунковий переріз тарілок склав $f = 0,12$.

Для гідродинамічного моделювання були розраховані тарілки провального типу діаметром $D = 0,057$ м та вільним перерізом $f = 0,3$.

Були проведені дослід на установці с діаметром $D = 0,057$ м з тарілкою провального типу, у якої вільний переріз складав $f = 0,3$.

Слід очікувати, що гідравлічний опір та висота гідродинамічного шару в колонні з діаметром $D = 2$ м та вільним перерізом $f = 0,12$, будуть близькі до цих параметрів на тарілці з діаметром $D = 0,057$ м та вільним перерізом $f = 0,3$.

Література

1. Зайцев И. Д. Производство соды / Зайцев И. Д. Ткач Г. А., Строев Н.Д.; М.: Химия, 1986. 312 с.
2. 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.
3. 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.
4. Касаткин А. Г., Дитнерский Ю. И., Умаров С. У. К расчету колонн с провальными тарелками – Хим. пром., 1958, №3 с. 38 – 45.
5. Тарат Э. Я., Вальберг А. Ю. О гидравлическом сопротивлении «провальных» решеток при пенном режиме – ЖПХ, 1970, т. 43, №8, с.1706 – 1711.
6. 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.
7. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов – М. Химия, 1972, 200 с.
8. Стабников В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности : обзор / Стабников В. Н., Штромило М. И. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1971. - 20 с.
9. 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.
10. Колтунова Л. Н. Пути интенсификации процесса ректификации. Опыт промышленного применения решетчатых тарелок и методика их

расчета / Колтунова Л. Н., Позин Л. С., Быстрова Т. А. - М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1977. - 84 с.

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 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.

13. 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.

14 Тараненко Г. В. Гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу – Харчова промисловість. Науковий журнал №13 К. НУХТ, 2012 р. С 90-92.

15. Taranenko G. V. Calculation of the lower operating limit dual-flow plates with different geometrical characteristics – «ScienceRise». Науковий журнал №3/2(8)2015 НВП ПП «Технологічний центр», м. Харків, С. 67-73, DOI: 10.15587/2313-8416.2015.39195

16. Тараненко Г. В. Гидродинамическое моделирование режимов работы тарелок провального типа, установленных в колоннах различного диаметра [Текст] / Г. В. Тараненко // Науковий журнал ScienceRise. – № 6 (35)2017. – С. 34–38. doi: 10.15587/2313-8416.2017.103535.

17. Фролов Г. М., Шабуров М. А. Производство уксусной кислоты. Издание третье переработанное. – М. Лесная промышленность, 1978.

18. Справочник химика 21, chem.21 info.