

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ КЛАПАННИХ ТАРІЛОК

*Черевашко Д. І.¹, аспірант**<https://orcid.org/0000-0002-8147-2872>**Сухенко В. Ю.¹, д.т.н., проф., зав. кафедри,**<https://orcid.org/0000-0002-8325-3331>*¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-22>

Колонні барботажні масообмінні апарати знаходять широке застосування в хімічній, нафтопереробній і суміжній галузях промисловості для поділу або витягу компонентів із сумішей рідини (ректифікація) і газів (абсорбція). Зазначені способи поділу речовин відрізняються складністю теоретичного опису, що обумовлено взаємодією фаз, їх гідродинамічними, тепло й масообмінними характеристиками, а також конструктивними особливостями контактних пристроїв. На сьогоднішній день існуюче різноманіття теорій і підходів до опису процесів, що відбуваються в масообмінних апаратах, не дають точних рекомендацій і залежностей, а вимагають проведення й уточнення, з урахуванням конкретних конструктивних особливостей контактних пристроїв. Ця стаття містить результати теоретичних та експериментальних досліджень контактних пристроїв. Клапанні тарілки, що працюють в циклічному режимі є предметом дослідження даної статті. Розміри клапанів, їх масу, висоту підіймання та висоту зливних пристроїв вибирали із умов експлуатації колон, якими оснащені нафтопереробні підприємства. Для дослідження були сконструйовані і виготовлені тарілки діаметром 0,5 м, оснащені десятьма клапанами. Товщина полотна тарілки – 0,003 м, клапанів – 0,0015 м. приймальні та зливні пристрої – 0,0005 м. Маса звичайного клапана – 0,025 кг, а циклічного клапана – 0,032 кг. Розроблена експериментальна установка, дала змогу провести дослідження гідравлічних режимів роботи клапанних тарілок де характерною особливістю розроблений клапанних тарілок являється передача кінетичної енергії повітря (пари), що виходить із простору між горловиною та циліндричною поверхнею газового клапану, направлена до полотна тарілки та гідравлічний опір сухих тарілок який являється суттєвою гідравлічною характеристикою, так як від значення даної величини залежать умови, які необхідно створити в колоні. У результаті були отримані данні роботи клапанних тарілок у гідродинамічних, газорідинних режимах та визначено опір сухих клапанних тарілок.

Ключові слова: клапанна тарілка, гідродинаміка, опір, колона

INVESTIGATION OF HYDRODYNAMICS OF VALVE PLATES

Denys Cherevashko¹, Postgraduate,
<https://orcid.org/0000-0002-8147-2872>

Vladyslav Sukhenko¹, D-r of Science, Head of Department,
<https://orcid.org/0000-0002-8325-3331>

¹National University of Life and Environmental sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-22>

Column bubble mass exchangers are widely used in chemical, oil refining and related industries for separation or extraction of components from mixtures of liquid (rectification) and gases (absorption). These methods of separation of substances differ in the complexity of the theoretical description, due to the interaction of phases, their hydrodynamic, heat and mass transfer characteristics, as well as the design features of contact devices. To date, the existing variety of theories and approaches to the description of processes occurring in mass exchangers, do not give precise recommendations and dependencies, but require implementation and refinement, taking into account the specific design features of contact devices. This article contains the results of theoretical and experimental studies of contact devices. Valve plates operating in a cyclic mode are the subject of this article. The dimensions of the valves, their weight, lifting height and height of the drain devices were chosen from the operating conditions of the columns, which are equipped with refineries. For the study, 0.5 m diameter plates equipped with ten valves were designed and manufactured. The base of the plate, valves, receiving and draining devices were made of Article 3. The thickness of the plate is – 0.003 m, valves – 0.0015 m. receiving and draining devices – 0.0005 m. The weight of the usual valve is – 0.025 kg, and the cyclic valve is – 0.032 kg. The developed experimental installation made it possible to study the hydraulic modes of valve plates where a characteristic feature of the developed valve plates is the transfer of kinetic energy of air (steam) coming from the space between the neck and the cylindrical surface of the gas valve. is an essential hydraulic characteristic, as the value of this value depends on the conditions that must be created in the column. As a result, data on the operation of valve plates in hydrodynamic, gas-liquid modes were obtained and the resistance of dry valve plates was determined.

Key words: valve plate, hydrodynamics, resistance, column

Постановка проблеми. У зв'язку з укрупненням потужностей підприємств, що споруджуються, підвищенням вимог до надійності й ефективності дії окремих апаратів і агрегатів у цілому, а також з інтенсивним упровадженням засобів автоматизації й обчислювальної техніки перед дослідниками й конструкторами, що працюють в області створення тепломасообмінної апаратури для процесів абсорбції, ректифікації і дистиляції, постає задача – розробити конструкції тарілок, які забезпечують ефективну роботу апаратів у більш жорстких умовах інтенсивних виробництв. З'явилися десятки нових тарілок із різними конструкціями контактних пристроїв, які призначені як для рішення вузьких задач поділу якої не будь специфічної суміші, так і для широкого застосування, що задовольняють потреби багатьох галузей промисловості. Традиційні конструкції сітчастих, ковпачкових і клапанних тарілок також перетерпіли значні зміни, що сприяли істотному підвищенню питомих навантажень по парі та рідині й інтенсивності масообміну. Крім того, з'явився ряд принципово нових конструкцій контактних елементів тарілок, що дозволили в кілька разів, у порівнянні з традиційними, збільшити питомі навантаження по рідині й швидкості пари в перерізі апарата. Однак більшість нових конструкцій контактних елементів ще не вийшло зі стадії лабораторної та дослідно-промислової перевірки.

Значний інтерес представляють нові конструкції колон з клапанными тарілками. Таким чином, Дослідження гідродинаміки клапанних тарілок, визначення характеристик гідравлічних режимів руху потоків потребує подальшого вивчення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналогічні режими роботи клапанних тарілок встановили автори робіт [4,5,6,7]. В роботі М. В. Кочергін, при дослідженнях гідродинаміки клапанних тарілок, виділив тільки два режими роботи.

При швидкостях $\omega < 1,0$ м/с – барботажний, а при швидкостях повітря в колоні $\omega \geq 1,0$ м/с – струменево-краплинний режим [6].

Мета. Дослідити на холодному стенді гідродинамічні умови роботи колон з клапанными тарілками. В результаті досліджень гідродинаміки клапанних тарілок передбачалося визначити:

- гідравлічні режими руху потоків;
- гідравлічний опір тарілок.

Метою дослідження є вивчення процесу масопередачі на клапанних тарілках і розробка нової високоефективної клапанної тарілки.

Матеріали та методика дослідження. Дослідження по гідродинаміці клапанних тарілок проводили на системі повітря-вода.

Експерименти проводили при умовах сталих режимів, при яких встановлювали певні витрати по фазам.

Встановивши одну із досліджуваних тарілок в колону в середню частину, при різних швидкостях повітря вимірювали опір сухої тарілки. Швидкість повітря в вільному січені колони (ω , м/с) змінювали від мінімальної до максимальної з певним фіксованим кроком. Потім в колону подавали воду в приймальний пристрій верхньої тарілки. При фіксованих витратах рідини змінювали швидкість газу в колоні. І для кожного значення газорідинного навантаження вимірювали загальний (повний) опір тарілки. Датчики вимірювань тиску (22,23) встановлювали над і під досліджуваною тарілкою.

Швидкість повітря в січені колони змінювали в межах (0,2...2,2) м/с з кроком 0,4 м/с.

Щільність зрошування води змінювали в межах $(2,8...11,1) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ з кроком $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Встановив певний режим роботи тарілки, візуально визначали режим руху повітря водяної суміші, вимірювали загальний опір тарілки, виніс води з тарілки та висоту газорідинного шару.

Схема розроблених клапанних тарілок наведено на рисунку 1 [8].

Тарілка №1 представляє собою звичайну клапанну тарілку (ЗКТ), яка складається із полотна тарілки 1, газової горловини 3. По осі горловини встановлена направляюча трубка 4, по якій рухається стержень 6. До верхньої частини стержня жорстко кріпиться кришка 5. По периметру кришки розміщена циліндрична поверхня 2. В нижній частині стержня 6 передбачена гвинтова пара 7 для регулювання висоти підймання газового клапану.

Клапани на тарілці розміщені в три ряди в шаховому порядку.

Тарілка № 2 представляє собою звичайну клапанну тарілку з деякими конструктивними змінами. В полотні тарілки на відстані 5 мм від газової горловини виштампувані кільцеві отвори 8, через які, під час рідинного циклу, рідина перетікає із верхньої на суміжну нижню тарілку. До нижньої сторони стержня 6 кріпиться хрестовина 10, до якої кріпиться кільцевий рідинний клапан 9.

Клапани на тарілці № 2 розміщені в п'ять рядів, в шаховому порядку.

У тарілці № 1 передбачені приймальні та зливні пристрої і вона працює при стабільному газорідинному режимі. При подачі газу (пару) в колону підіймається кришка газового клапану і газ рухається між горловиною 3 та кільцевою поверхнею прискорюється і пронизує шар рідини, що знаходиться на тарілці. Напрямок руху швидкісного газу зверху до полотна тарілки. Потім газ повертається, втрачає частину

кінетичної енергії і рухається від полотна тарілки до поверхні рідини. Шар рідини на тарілці регулюється висотою переливної планки.

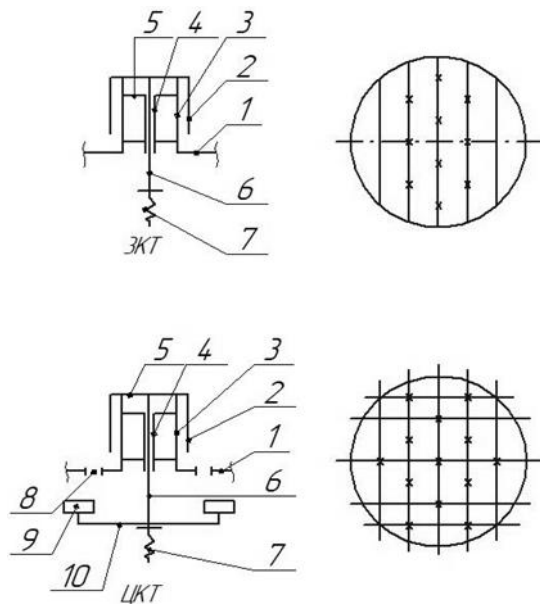


Рис. 1. Схема досліджуваних контактних пристроїв та їх розміщення на тарілці

У тарілці № 2. Зливання рідини з тарілки на тарілку під час рідинного періоду відбувається в момент відключення подачі газу, через кільцеві отвори.

Під час газового періоду, рідинний клапан закривається, відкривається газовий клапан і газ проходить крізь шар рідини.

Для дослідження були сконструйовані і виготовлені тарілки діаметром 0,5м, оснащені десятьма клапанами. Товщина полотна тарілки – 0,003 м, клапанів – 0,0015 м. приймальні та зливні пристрої – 0,0005 м. Маса звичайного клапана – 0,025 кг, а циклічного клапана – 0,032 кг.

Розміри клапанів, їх масу, висоту підймання та висоту зливних пристроїв вибирали із умов експлуатації колон, якими оснащені нафтопереробні підприємства та даних науково-технічної літератури [1, 2, 3].

Опис експериментальної установки

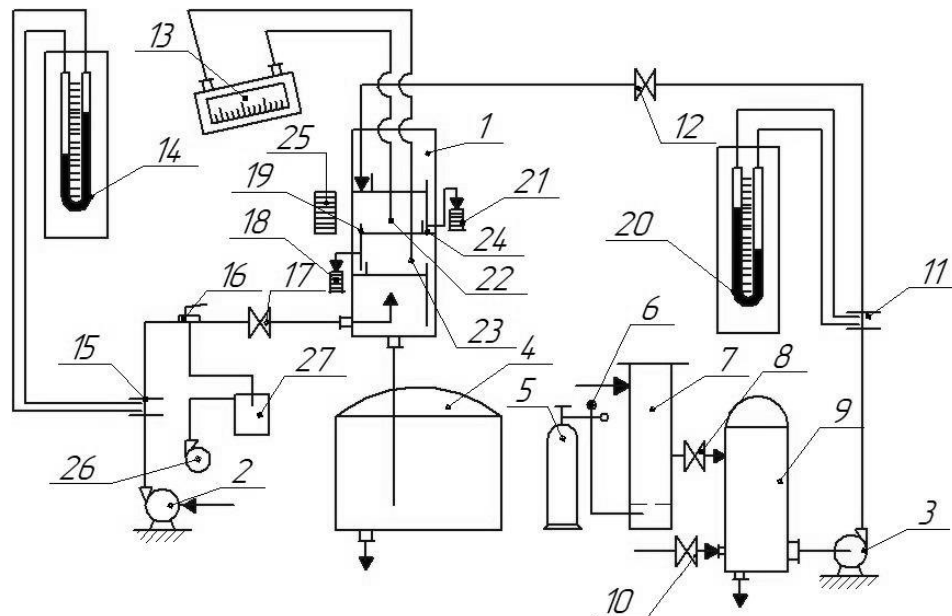


Рис. 2. Схема експериментальної установки

Для дослідження гідродинаміки клапанних тарілок була виготовлена експериментальна установка рисунок 2. Установка складалася із колони діаметром 0,5 м. Колона збиралася із окремих царг, виготовлених із органічного скла. Відстань між тарілками 0,3 м. При дослідження встановлювали три тарілки. Досліджували середню тарілку, а верхня і нижня тарілки служили розподільниками по рідкій і газовій фазах.

Лабораторна установка була оснащена одноступеневою повітродувкою ТВ-150-1.22, яка за допомогою повітропроводів була з'єднана з колоною. Втрати повітря вимірювали за допомогою діафрагми 15 та диференціального манометра 14.

Дослідження проводили на системі повітря-вода. Втрати повітря регулювали засувкою 17. Відпрацьоване повітря направлялося в атмосферу.

Для подачі води в колону установки використовували відцентровий насос 4К-6 3. Втрати води вимірювали діафрагмою 11 і ртутним диференціальним манометром ДТ-50 20. Кількість води, що подається в колону, регулювали за допомогою вентилів 12. Вода з верхньої на нижню тарілку поступала через зливні стакани 19. Відпрацьована вода із колони направлялася в резервуар 4, який був з'єднаний з каналізацією. В установці був встановлений накопичувальний резервуар 9 для води.

Значення вимірювальних величин поступала на прибори за допомогою імпульсних трубок.

Гідравлічні опори тарілок вимірювали мікроманометром МН 1.

Висота газорідного шару на тарілці фіксувалася за допомогою мірної лінійки 25.

Температура рідини і повітря, що поступали на тарілку і які відводилися із колони вимірювали спиртовим термометром.

Гідравлічні режими роботи клапанних тарілок. Характерною особливістю розроблений клапанних тарілок являється передачі кінетичної енергії повітря (пари), що виходить із простору між горловиною та циліндричною поверхнею газового клапану, направлена до полотна тарілки. При цьому витрачається частина кінетичної енергії на удар потоку повітря в рідину та втрати на проходження його крізь шар рідини та зміну напрямку руху. Ослаблений повітряний потік рухається в напрямку від полотна тарілки до поверхні рідинного шару [11].

В залежності від газорідного навантаження на клапанних тарілках реалізуються різні гідродинамічні режими: барботажний, перехідний та струменевий. Швидкість повітря, яка визначає відповідний режим роботи тарілок при зміні рідинного навантаження від $2,8 \cdot 10^{-3}$ до $11,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ коливається в наступних межах:

1. Барботажний режим $\omega = (0,2 \dots 1,0) \text{ м/с}$.
2. Перехідний режим $\omega = (1,0 \dots 1,4) \text{ м/с}$.
3. Струменевий режим $\omega = (1,4 \dots 2,2) \text{ м/с}$.

При барботажному режимі повітря, проходить через шар рідини періодично у вигляді бульбашок. Межі даного режиму залежить від ваги рухомих частин клапана та рідинного навантаження. Рідина рухається в сталому зливу хвилеподібно.

Газовий клапан періодично підіймається та опускається на поверхню горловини.

З підвищенням швидкості повітря в колоні $\omega \geq 1,0 \text{ м/с}$ тарілка працює в новому гідродинамічному режимі. При цьому газовий клапан знаходиться в підвішеному стані і не торкається поверхні горловини. Швидкість входження потоку повітря в рідину змінюється. Режим характеризується нестійкістю.

Основним робочим режимом клапанних тарілок являється струменевий, який характеризується значною турбулізацією рідинного потоку та диспергування рідкої фази. Значна частина рідини, біля клапанів, знаходиться в підвішеному стані в міжтарілчатому просторі. Швидкість руху газорідної суміші збільшується.

Гідравлічний опір сухих тарілок. Гідравлічний опір тарілок являється суттєвою гідравлічною характеристикою, так як від значення даної величини залежать умови, які необхідно створити в колоні.

В таблиці 1 додатків наведені експериментальні дані гідравлічного опору сухих (не зрошувальних) тарілок.

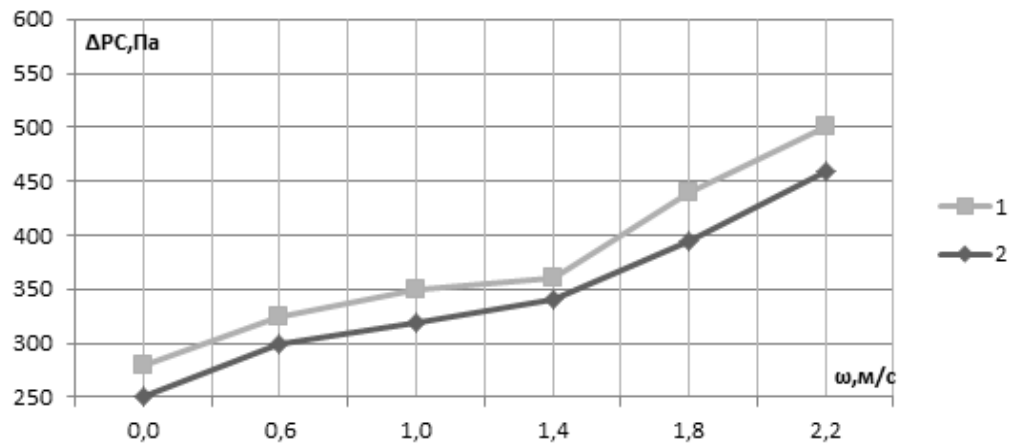
Гідравлічний опір сухої клапанної тарілки складається із наступних складових:

1. опір на підняття рухомих елементів клапанів;
2. опір для проходження газу по каналах клапана;
3. опір для входження газового потоку в горловину клапана;
4. опір проходження газового потоку крізь шар рідини;

Опір а підняття рухомих елементів клапанів залежить від їх маси і не залежить від втрат газової фази.

Інші складові опору сухої тарілки залежить від швидкості газу в колоні та живого січення газових клапанів.

На рисунку 3 зображена залежність опору сухих клапанних тарілок від зміни швидкості повітря в колоні.



**Рис. 3. Залежність опору сухих тарілок від зміни швидкості в колоні:
D=0,5 м; 1 – звичайна клапанна тарілка; 2- циклічна клапанна тарілка**

По вигляду кривих чітко проглядається три гідродинамічні режими: барабанний, перехідний та струменевий. Характерною особливістю барботажного режиму являється повільне збільшення опору сухої тарілки від підвищення швидкості газу в колоні. Перехідний режим характеризується постійним значенням опору сухої тарілки від підвищення швидкості газу а колоні в межах (1,0÷1,4)м/с.

Струменевий режим визначається стрімким зростанням опору сухої тарілки від зростання швидкості газу в колоні в межах (1,4÷2,2)м/с.

Циклічна клапанна тарілка (№2) має опір сухої тарілки менший ніж звичайна клапанна тарілка (№1). Даний факт пов'язаний з проходженням газової фази крізь відкриті отвори для зливання рідини при роботі тарілки в барботажному і перехідному режимах. Для струменевого режиму вплив на величини опору сухих клапанних тарілок чинить вага рухомої клапанної системи [8].

Обробка експериментальних даних опору сухих клапанних тарілок проводили для двох режимів: барботажного та сумісно для перехідного і струменевого [9,10].

Функціональна залежність опору сухих клапанних тарілок від зміни швидкості газу в колоні має вигляд

$$\Delta P_c = a \cdot \omega^b \quad (1)$$

де a, b - експериментальні коефіцієнти, що залежать від режиму роботи клапанної тарілки та її будови.

Значення експериментальних коефіцієнтів наведено в таблиці 1.

Значення експериментальних коефіцієнтів “ a ” і “ b ”

Таблиця 1

Значення експериментальних коефіцієнтів

Режим роботи тарілки	Значення експериментальних коефіцієнтів			
	a	b	a	b
	Звичайна клапанна тарілка №1		Циклічна клапанна тарілка №2	
Барботажний	351	0,21	321	0,21
Перехідний і струменевий	351	0,42	321	0,42

Для тарілок №1 і №2 значення показників ступеня не змінюються: для барботажного режиму $b = 0,21$; для перехідного та струменевого – $0,42$. Значення коефіцієнту “ a ” змінне для типу тарілок: для тарілки №1 $a = 351$, а для тарілки №2 $a = 321$.

Із гідродинаміки відомо

$$\Delta P_c = \xi \frac{\rho_g W_0^2}{2} \quad (2)$$

де ξ -коефіцієнт гідравлічного опору сухої тарілки; ρ_g -густина газової фази, кг/м^3 ; W_0 - швидкість газу в каналах клапану, м/с .

Розрахунок коефіцієнту гідравлічного опору досліджуваних тарілок проводили графічним методом. Зображення опору сухої тарілки від зміни швидкості в каналах клапана в логарифмічній системі координат, то відрізок відсічений прямою на осі координат, являється величиною ξ [12].

На рисунку 4 зображено залежність опору сухих тарілок від швидкості витоку газу з газового каналу. Коефіцієнт гідравлічного опору сухих клапанних тарілок залежить від багатьох конструктивних параметрів: діаметру горловини для проходження газової фази, висоти підймання клапану, каналу для прискорення газової фази, товщини металу для виготовлення елементів клапану. Дослідженнями не вирішувалось завдання опису впливу вказаних параметрів на значення ξ .

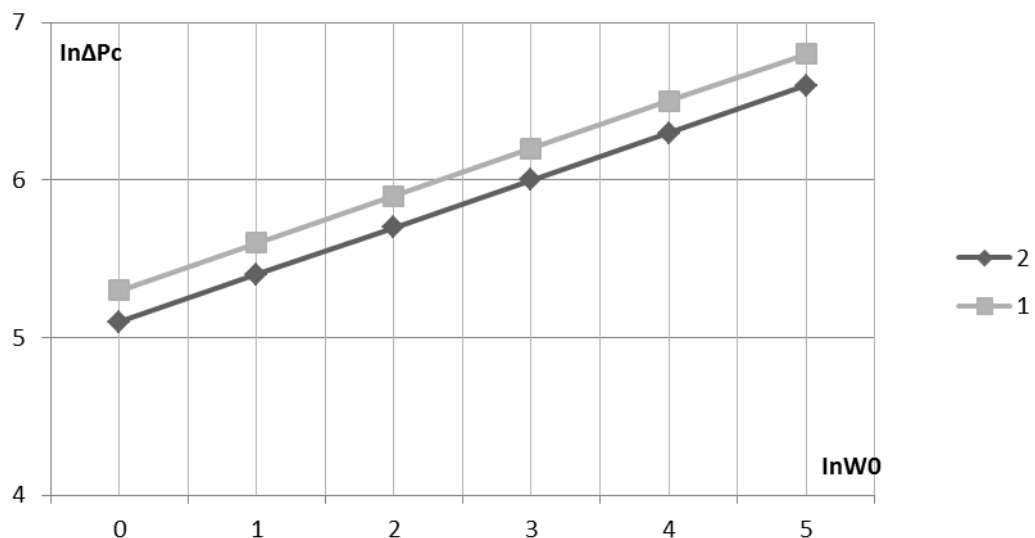


Рис. 4. Залежність опору сухих тарілок від зміни витоку газу з клапану:
D=0,5 м: 1-ЗКТ; 2-ЦКТ.

Дослідженнями встановлено значення коефіцієнта гідравлічного опору для клапанних тарілок: для ЗКТ $\xi = 53$; для ЦКТ $\xi = 5,1$.

Висновки.

1. Встановлено, що клапанні тарілки працюють в наступних гідродинамічних режимах: барботажний ($0,4 \leq \omega \leq 1,0$) м/с ; перехідний; ($1,0 \leq \omega \leq 1,2$) м/с ; струменевий ($1,2 \leq \omega \leq 2,2$) м/с .
2. Визначаємо, що клапанні тарілки працюють в діапазоні газорідних навантажень: по газу ($0,4 \leq \omega \leq 2,2$) м/с ; по рідині ($0,0028 \leq L \leq 0,0111$) $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
3. Визначено опір сухих клапанних тарілок. Циклічна клапанна тарілка має опір сухої тарілки менший ніж звичайна клапанна тарілка;
4. Коефіцієнт гідравлічного опору: ЦКТ- $\xi_2=5,1$; ЗКТ- $\xi_1=5,3$.

Бібліографія

1. Черевашко Д. І., Сухенко В. Ю. Проблеми інтенсифікації процесу дистиляції при використанні контактних пристроїв. Збірник наукових праць «Новітні технології». 2019 р. Випуск 1(8), с.136-141.
2. Черевашко Д. І., Сухенко В. Ю. Роль пива в сучасній ієрархії слабоалкогольних напоїв. Збірник наукових праць «Новітні технології». 2019 р. Випуск 2(9), с.104-108.
3. Черевашко Д. І., Корець Л. І., Сухенко В. Ю. Аналізування стандартних показників і розроблення бальної та рейтингової оцінки якості пива. Науково-технічний журнал «Стандартизація, сертифікація, якість». 2020 р. Випуск №1 (119), с. 30-36.
4. Малезик И. Ф., Стабников В. Н. Гидравлическое сопротивление клапанных тарелок. Известие ВУЗов «Пищевая технология». 1962 г. Випуск № 2. с.114-119.
5. Аэров М.Э., Быстров Т.А. Изучение гидравлики и массопередачи на клапанных тарелках без переливных устройств. Химия и технология топлив и масел. 1969 г. Випуск №1. с. 37-41.
6. Кочергин Н. В., Касаткиев А. Г., Дытнерский Ю. И. Исследование гидравлики и массообмена на клапанных тарелках. Труды по химии и химической технологии. 1961 г. Випуск № 10. с.860-865.
7. Малешик И. Р. Клапанные тарелки ректификационных и абсорбционных аппаратов. Моногр. М.:ЦНИИТЭИ Пищепром, 1971 г. 33 с.
8. Броунштейн Б. И. Гидродинамика массообмен и теплообмен в димферных системах. Моногр. Л.: Химия., 1977 г. 280 с.
9. Васькін Р. А. Дослідження Гідродинаміки та масопередач на клапанній тарілці зі сферичними клапанами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Суми. 2005 р.
10. Українець А. І., Шиян П. Л., Булій Ю. В., Куц А. М. Інноваційна технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз. Наукові праці НУХТ 2017. Том 23, №5, Частина 2, с. 55-62.
11. Матухина О. В., Мерзляков С. А., Усачев А. П. Определение положения контрольных тарелок в ректификационных колоннах. Вестник технологического университета НХТИ КНУТУ. 2019. Т.22, №11 с. 132-136.
12. Панасюк С. Г., Калахан О. В. Аналіз процесу роботи тарілок ректифікаційних колон. Збірник наукових статей ЛНТУ «Сільськогосподарські машини». 2017 р., Випуск 36, с. 124-130.

References

1. Cherevashko D., Sukhenko V. (2019). Problemi intensifikatsii protsesu distilyatsii pri vikoristanni kontaktnikh pristroiv [Problems of intensification of the distillation process when using contact devices]. Zbirnik naukovikh prats «Novitni tekhnologii» [Collection of scientific works "Latest technologies"]. Issue 1(8), p. 136-141. [in Ukrainian].
2. Cherevashko D., Sukhenko V. (2019). Rol piva v suchasniy ierarkhii slaboalkogolnikh napoiv [The role of beer in the modern hierarchy of soft drinks]. Zbirnik naukovikh prats «Novitni tekhnologii». [Collection of scientific works "Latest technologies"]. Issue 2 (9), p. 104-108. [in Ukrainian].
3. Cherevashko D., Korets L., Sukhenko V. (2020). Analizuvannya standartnikh pokaznikov i rozroblennya balnoï ta reytingovoï otsinki yakosti piva [Analysis of standard indicators, developmet of a score and rating assessment of beer quality]. Naukovo-tekhichniy zhurnal «Standartizatsiya, sertifikatsiya, yakist» [Scientific and technical journal "Standardization, certification, quality"]. Issue №1 (119), p. 30-36. [in Ukrainian].
4. Malezhik I. (1962). Gidravlichesкое soprotivlenie klapannykh tarelok [Hydraulic resistance of valve discs]. Izvestie VUZov «Pishchevaya tekhnologiya» [News of the universities «Food technology»]. Issue №2. P.114-119. [in Russian].

5. Aerov M. (1969). Izuchenie gidravliki i massoperedachi na klapannykh tarelkakh bez perelivnykh ustroystv [Study of hydraulics and mass transfer on valve trays without overflow devices]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel [Chemistry and technology of fuels and oils]. Issue №1. P. 37-41. [in Russian].

6. Kochergin N., Kasatkin A., Dytnersky Yu. (1961). Issledovanie gidravliki i massoobmena na klapannykh tarelkakh. [Study of hydraulics and mass transfer on valve discs]. Trudy po khimii i khimicheskoy tekhnologii [Works on chemistry and chemical technology]. Issue №10. P.860-865. [in Russian].

7. Maleshik I. (1971) Klapannye tarelki rektifikatsionnykh i absorbtionnykh apparatov [Valve trays of rectification and absorption apparatuses]. Monogr. M.: TsNIITEI Pishcheprom. 33 p. [in Russian].

8. Brounshteyn B. (1977). Gidrodinamika massoobmen i teploobmen v dimfernykh sistemakh [Hydrodynamics of mass and heat transfer in dimfer systems]. Monogr. L.: Khimiya. 280 p. [in Russian].

9. Vaskin R. (2005). Doslidzhennya Gidrodinamiki ta maso peredach na klapanniy tarilti zi sferichnimi klapanami [Research of Hydrodynamics and mass of transfers on a valve plate with spherical valves]. Disertatsiya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tekhnichnikh nauk [Dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences]. Sumy. [in Ukrainian].

10. Ukrainets A., Shiyan P., Buliy Y., Kuts A. (2017). Innovatsiyna tekhnologiya rektifikatsii v rezhimi rozdilnogo rukhu faz [Innovation technology of rectification in the fashion phase mode movement]. Naukovi pratsi NUKhT [Scientific Works of NUFT]. Volume 23, Issue 5, Part 2, p. 55-62. [in Ukrainian].

11. Matukhina O., Merzlyakov S., Usachev A. (2019). Opredelenie Polozheniya kontrolnykh tarelok v rektifikatsionnykh kolonnakh [Detecting the positions of control trays in fractionating columns]. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta NKhTI KNITU [Bulletin of Technological University NHTI KNITU]. V. 22, № 11, p. 132-136. [in Russian].

12. Panasyuk S., Kalakhan O. (2017). Analiz protsesu roboti tarilok rektifikatsiynikh kolon [Analysis of the process of operation of plates of distillation columns]. Zbirnik naukovikh statey LNTU «Silskogospodarski mashini» [Collection of scientific articles of LNTU "Agricultural Machinery"]. Issue 36, p. 124-130. [in Ukrainian].