

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

Т.А. Газука, О.В. Плуток

# ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Навчально-методичні рекомендації  
до виконання практичних робіт



Чернігів – 2025



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

Т.А. Газука, О.В. Плуток

# ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Навчально-методичні рекомендації  
до виконання практичних робіт

Чернігів – 2025

УДК 664(072)

П 84

Р е ц е н з е н т и :

доктор педагогічних наук, професор кафедри професійної освіти та безпеки життєдіяльності, директор ННІ професійної освіти та технологій Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, професор *Торубара Олексій Миколайович*;

кандидат технічних наук, професор кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка», професор *Кайдаш Михайло Дмитрович*.

П 84                    **Процеси та апарати харчових виробництв :**  
навчально-методичні рекомендації до виконання  
практичних робіт / укладачі: Т. А. Газука, О.В. Плутук.  
Чернігів: НУЧК, 2025. 72 с.

УДК 664(072)

Навчально-методичні рекомендації розроблено для студентів, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Професійна освіта (Харчові технології)» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. До навчально-методичного посібника входять рекомендовані практичні роботи у яких коротко розглядається фізична сутність та теоретичні основи гідромеханічних, механічних і теплових процесів харчових виробництв.

*Затверджено до друку вченою радою  
Інституту професійної освіти та технологій НУЧК  
імені Т. Г. Шевченка (протокол № 6 від 13.01.2025 р.).*

© Т. А. Газука, О.В. Плутук 2025



## ВСТУП

Навчальний посібник «Процеси та апарати харчових виробництв. Навчально-методичні рекомендації до виконання практичних робіт» розроблений на допомогу студентам, що навчаються за освітньою програмою «Професійна освіта (Харчові технології)». У посібнику представлені методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв».

У структурі методичних рекомендацій до кожної теми практичної роботи зазначена тема роботи її мета та завдання, наводяться теоретичні відомості, приклади типових задач, задачі для самостійного розв'язування, контрольні запитання, що забезпечує ґрунтовне оволодіння навчальним матеріалом.

Практичні роботи з дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв» відіграють надзвичайно важливу роль у підготовці викладачів з професійного навчання, оскільки забезпечують інтеграцію теоретичних знань з практичними навичками, необхідними для роботи у сфері харчової промисловості.

Зазначена структура методичних рекомендацій до виконання практичних робіт з курсу «Процеси та апарати харчових виробництв» сприяє засвоєнню студентами спеціальних теоретичних і практичних положень щодо технологічних процесів харчових виробництв та їх апаратного оформлення, формуванню базових уявлень про процеси та апарати харчових виробництв, які є загальними для всіх харчових технологій.

Виконання практичних робіт дозволяє продемонструвати студентам узагальнене теоретичне обґрунтування практичного використання технічних закономірностей роботи процесів та апаратів харчових виробництв. Усвідомлення студентами мети та послідовності розв'язування запропонованої задачі сприятиме розвитку логічного мислення, професійних умінь, без яких неможлива подальша професійна діяльність. Наявність контрольних запитань із кожної теми надає студентам змогу самостійного контролю рівня засвоєння навчального матеріалу.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

**Тема:** *Вивчення різних типів насосів для переміщення рідин*

**Мета:** засвоєння знань про об'ємні та динамічні насоси та їх робочі характеристики для різних типів рідин, оволодіння методикою розрахунку відцентрового насоса.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми різних типів насосів для переміщення рідин, презентації.

### Теоретичні відомості

Насоси використовують для переміщення рідин у трубопроводах і апаратах. Переміщення пов'язане з подоланням сил тертя, місцевих опорів, а також витратами енергії на піднімання рідини з нижчого на вищий рівень.

За видом робочої камери і сполученням її зі входом і виходом насоса розрізняють два основні класи насосів: ***об'ємні та динамічні***.

*В об'ємних* насосах рідина переміщується шляхом періодичної зміни об'єму камери, яка поперемінно з'єднується зі входом і виходом насоса. До об'ємних насосів відносяться: поршневі, мембранні, ротаційні та ін.

*В динамічних* насосах рідина переміщується під силовою дією на неї в камері, яка постійно сполучається з виходом і входом насоса. До них відносяться такі основні типи: відцентрові, осьові (пропелерні), роторні, гвинтові, вихрові, струменеві.

*Відцентрові насоси* найбільше використовують у промисловості та на підприємствах ресторанного господарства для перекачування мало-в'язких рідин. Це пояснюється їх високою продуктивністю, невеликими розмірами, можливістю безпосередньо приєднати до електродвигуна. Окрім того, відцентрові насоси прості за конструкцією, тому їх можна виготовляти з різноманітних матеріалів. Останній факт робить насоси цього типу незамінними під час перекачування харчових рідин (соків, молока, сиропів). Вони класифікуються за конструктивними ознаками, перепадом тисків та частотою обертання робочого колеса.

За створюваним перепадом, тиску відцентрові насоси розподіляються на:

- а) насоси низького тиску, які створюють до 20-25 м напору стовпа рідини;
- б) насоси середнього тиску з перепадом 25-60 м напору;
- в) насоси високого тиску, які здатні створювати тиск понад 60 м напору.

За розміщенням валу робочого колеса відцентрові насоси бувають *горизонтальні та вертикальні*. Залежно від частоти обертання робочого колеса насоси розподіляються на *тихохідні та швидкохідні*.

За кількістю робочих коліс насоси бувають *одноступеневі та багатоступеневі*. В багатоступеневих насосах рідина проходить послідовно через декілька робочих коліс, закріплених на одному валу. Перепади тисків, які створюються в кожному колесі, складаються, внаслідок чого значно збільшується загальний перепад тиску, створюваного насосом. Ці насоси відносяться до групи насосів середнього й високого тиску.

Відцентровий насос (рис. 1) складається з корпусу 1, що має спіралеподібний канал, у якому обертається робоче колесо 2, закріплене на валу 3. На робочому колесі закріплені лопаті, між якими розміщуються канали для проходження рідини. Подача рідини до насоса здійснюється через усмоктувальний патрубок 5, який з'єднаний з центральною частиною робочого колеса. Нагнітальний патрубок 4, розміщений тангенціально по відношенню до робочого колеса, використовується для відведення рідини з насоса.

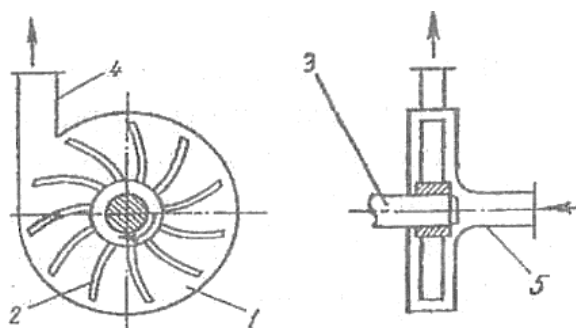


Рис. 1. Одноступеневий горизонтальний відцентровий насос

Відцентрові насоси працюють так. Під час обертання відцентрового колеса рідина через усмоктувальний патрубок поступає до каналу між лопатками. Під дією відцентрових сил рідина проходить по каналах робочого колеса і відкидається до його периферії, набуваючи при цьому кінетичної енергії. У спіралевидному каналі корпусу насоса кінетична енергія рідини перетворюється на енергію тиску, і рідина викидається в нагнітальний патрубок. Таким чином, рідина безперервно поступає до насоса, проходить через нього і виходить через нагнітальний патрубок.

Особливість відцентрового насоса полягає в тому, що для початку його роботи необхідно, щоб внутрішня порожнина корпусу з робочим колесом була заповнена рідиною. Тільки в цьому випадку під час запуску насоса виникне відцентрова сила, яка спричинить переміщення рідини і створить перепад тисків. Це досягається розміщенням насоса нижче від резервуара, з якого перекачується рідина, або заливанням насоса з проміжної ємності. На початку всмоктувального трубопроводу обов'язково ставиться зворотний приймальний клапан, який утримує стовп рідини у всмоктувальній трубі під час зупинки насоса.

Головні показники роботи насосів – подача (продуктивність), напір, потужність.

*Подачею, або продуктивністю*, насоса називається кількість рідини або газу, що переміщується насосом за одиницю часу.

Відрізняють об'ємну  $Q$  і масову  $G$  подачу насоса. Об'ємною подачею насоса називається об'єм рідини  $V$ , який подає насос за одиницю часу  $\tau$  (в  $\text{м}^3/\text{с}$ ):

$$Q = V / \tau \quad (1)$$

Масова подача – це маса рідини  $m$ , що переміщується насосом в одиницю часу  $\tau$  (в  $\text{кг}/\text{с}$ ):

$$G = m / \tau = \rho V / \tau = \rho Q \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

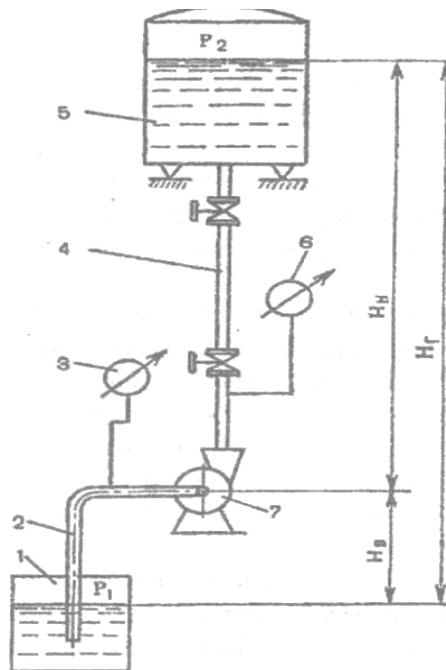


Рис. 2. Схема насосної установки

*Напором* насоса називається приріст питомої енергії, яку одержує рідина, яку подає насос. Для кращого розуміння цієї характеристики розглянемо принципову схему насосної установки (рис. 2), в якій рідину з нижнього резервуара 1 перекачує насос 7 до верхнього резервуара 5.

За цією схемою можна визначити важливі для характеристики насосів терміни: висоту всмоктування  $H_v$ , висоту нагнітання  $H_n$  і висоту геометричного підняття рідини  $H_g$ , яку часто називають повним напором, що створюється насосом.

Висота всмоктування – це висота від рівня рідини в нижньому резервуарі до осі насоса. Висота нагнітання – відстань по вертикалі від осі насоса до рівня рідини у верхньому резервуарі. Геометрична висота нагнітання – це відстань по вертикалі від рівня рідини в нижньому резервуарі до рівня рідини у верхньому резервуарі. Висота всмоктування  $H_v$  повинна бути такою, щоб забезпечити підняття рідини у всмоктувальному трубопроводі 2. У насосі треба створити таке розрідження, щоб



тиск збоку всмоктування  $p_v$  був менший за тиск  $p_1$ , на вільній поверхні забірного (нижнього) резервуара. Різниця тисків  $p_1 - p_v$  є рушійною силою, яка змушує рідину переміщуватися з резервуара до насоса.

Повний напір  $H$  (в м), який розвиває насос, визначається у відповідності до рівняння Бернуллі за формулою

$$H = ((p_2 - p_1) / \rho g) + H_z + h \quad (3)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  – тиск у просторах написання і всмоктування, відповідно, Па;  $\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $H_z$ , – геометрична висота піднімання рідини, м;  $h$  – напір, який витрачається на створення швидкості й подолання тертя та всіх місцевих опорів у всмоктувальній і нагнітальній лініях, м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падання. Формулу (3) використовують під час вибору насосів для технологічних установок.

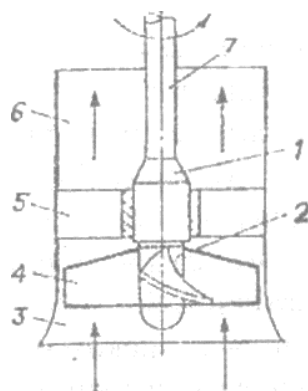


Рис. 3. Осевий насос

Осевий (пропелерний) насос (рис. 3) складається з робочого колеса 2 з лопатями 4, які закріплені на втулці 1 під кутами до осі втулки.

Під час обертання колеса від валу 7 лопаті переміщують рідину вздовж осі колеса зі всмоктувальної труби 3 до нагнітальної труби 6. Насос обладнаний направляючим апаратом 5, який слугує для усунення обертального руху рідини в нагнітальній трубі. Робота осевого насоса нагадує роботу гребного гвинта. Осеві насоси використовують для забезпечення циркуляції рідини у випарних апаратах. Вони використовуються також для переміщення великих об'ємів рідини (десятки кубічних метрів на секунду) з відносно невисокими напорами (3 – 25 м), тобто порівняно з відцентровими насосами вони мають значно більшу подачу, але менший напір. ККД осевих насосів досягає 0,9 і більше.

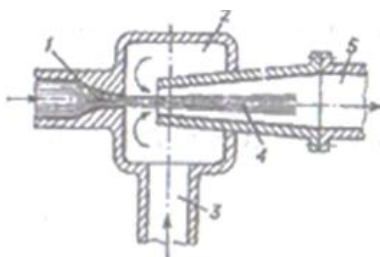


Рис. 4. Струминний насос

*Струминний насос* (рис. 4) працює за принципом використання кінетичної енергії робочої рідини для подавання рідини, яка перекачується. Ці насоси не мають частин, які рухаються, і дуже прості за конструкцією. Потік робочої рідини, проходячи через сопло 1, збільшує свою швидкість і, отже, кінетичну енергію. Збільшення динамічного (швидкісного) напору приводить до зменшення п'єзометричного (статичного) напору і, таким чином, тиску в камері 2, де утворюється вакуум. Під впливом вакууму рідина, яка підлягає перекачуванню, підсмоктується по трубі 3. Захоплюється струменем робочої рідини і, змішуючись із нею, поступає до дифузора 4, а потім до нагнітальної труби 5. В струминних насосах робочою рідиною може бути як нестислива, так і стислива рідина (газ або пара). Тому струминні насоси поділяють на водоструминні, газоструминні й пароструминні. Прикладами використання струминних насосів є сульфідодозувальний апарат для введення сірчистого ангідриду до виноматеріалів та плодово-ягідних напівфабрикатів, газові пальники, пароструминний інжектор у випарних установках.

*Об'ємні гідравлічні машини* – поршневі, роторні, мембранні, шестеренні, гвинтові, пластинчасті насоси – працюють за принципом витіснення рідини з робочої камери робочими органами, які рухаються.

*Поршневі насоси* різноманітні за своїми конструктивними особливостями і галузями призначення. За видом поршня насоси бувають поршневі та плунжерні, за їх кількістю – одно- і багатопоршневі. За розміщенням циліндрів – горизонтальні та вертикальні.

За принципом дії – простої та подвійної дії, а за тиском – низького і високого тиску. Цінною перевагою поршневих насосів є незалежність їхньої продуктивності від розвинутого напору, тобто можливість подавати невелику кількість рідини під високим тиском.

Поршневі (плунжерні) насоси використовуються для подавання рідких харчових продуктів на розприскування в установках для сушіння, в гомогенізаторах, гідравлічних пресах тощо. Поршневі насоси – найпоширеніша група насосів у виноробній промисловості.

Поршневий насос складається з двох основних частин: гідравлічної і привідної. Гідравлічна частина насоса призначена для переміщення рідини з області низького тиску до області високого тиску. Привідна частина передає гідравлічній частині енергію від двигуна.

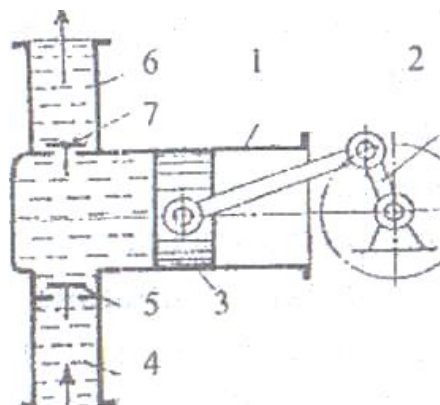


Рис. 5. Поршневий насос

На рис. 5 наведено схему гідравлічної частини поршневого насоса простої дії. Поршневий насос простої дії складається з циліндра 1, поршня 3, кривошипно-шатунного механізму 2, всмоктувальної труби 4 з клапаном 5 і нагнітальної труби 6 з клапаном 7. Під час руху поршня 3 вправо в циліндрі 1 створюється розрідження, внаслідок чого всмоктувальний клапан 5 піднімається, і рідина входить до робочої порожнини циліндра.

Під час руху поршня в зворотному напрямку клапан 5 опускається і припиняє надходження рідини в насос, але в цей час відкривається нагнітальний клапан 7, і рідина з циліндра витісняється в нагнітальний трубопровід 6. Теоретична продуктивність поршневого насоса простої дії  $Q_m$  (м<sup>3</sup>/с) визначається формулою:

$$Q_m = Snl = ((\pi D^2) / 4)nl \quad (4)$$

де  $S$  – площа перерізу поршня (або плунжера), м<sup>2</sup>;  $l$  – довжина ходу поршня (або плунжера), м;  $n$  – частота обертання кривошипно-шатунного механізму або кількість подвійних ходів за секунду, 1/с;  $D$  – діаметр циліндра (або поршня), м.

*Роторні насоси* використовуються для перекачування в'язких рідин, наприклад таких, як згущене молоко, олія, жир, паста, патока. Вони поділяються на шестеренні та шибєрні. У свою чергу, шестеренні насоси поділяються на насоси з внутрішнім і зовнішнім зчепленням.

Принцип дії шестеренного насоса із зовнішнім зчепленням (рис. 6) полягає в тому, що рідина захоплюється двома зубчастими шестернями 2, які обертаються в різні боки в нерухомому корпусі 4. В'язка рідина подає в корпус через штуцер 1 і переміщується до нагнітального патрубку 3. Тут на вході зубців у зчеплення рідина витискується із міжзубцевих порожнин. До електродвигуна приєднується тільки одна шестерня, яка, в свою чергу, передає обертальний рух другій шестерні за рахунок зачіплювання.

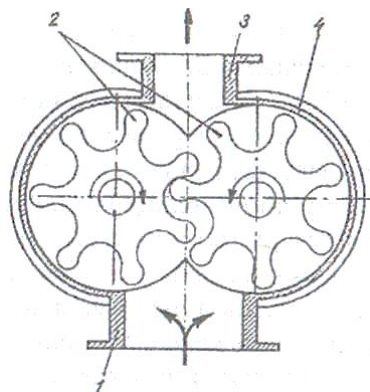
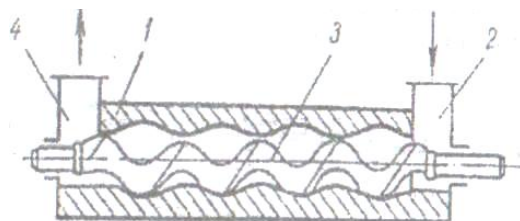


Рис. 6. Шестеренний насос

Шестеренний насос простий за конструкцією, в ньому немає клапанів, він безпосередньо приєднується до двигуна і забезпечує велику висоту напору.

Він також компактний, швидкохідний і з досить великою кількістю зубців на шестернях, забезпечує рівномірне подавання продукту. Продуктивність (подача) шестеренного насоса визначається частотою обертання шестерень.

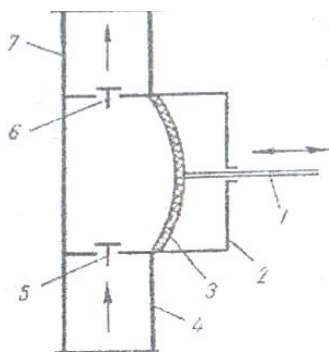
*Гвинтові насоси* використовуються для перекачування високов'язких систем, таких як сир, вершкове масло, фарш. При цьому структура продукту, що транспортується, зачищається мало пошкодженою. Гвинтові насоси дають змогу створювати високі тиски. У промисловості найбільше розповсюджені гвинтові насоси з трьома гвинтами.



*Рис. 7. Гвинтовий насос*

Рідина, що поступає в заглиблення гвинтової нарізки (рис. 7) збоку корпусу 1, під час повороту гвинта 3 герметично відтинається від всмоктувальної камери 2 і потім переміщується каналом нарізки вздовж осі гвинта до напірної камери 4. З постійною частотою обертання гвинта подача насоса строго постійна. Під час переміщення крупношматкових продуктів вони розклинаються між гвинтом та стінками корпусу і рухаються як гайка гвинтовою направляючою. ККД гвинтових насосів становить 0,8 – 0,9, тиск нагнітання до 20 МПа. частота обертання – до 10 000 об/хв.

*Мембранні (діафрагменні) насоси* (рис. 8) використовують для перекачування пластично-в'язких продуктів і технологічних агресивних середовищ (сирний згусток, бульйони, фарші).



*Рис. 8 Мембранний насос*

Принцип дії мембранного насоса подібний до поршневого з тією різницею, що поршень від продукту відокремлено мембраною (діафрагмою), виготовленою із харчової гуми.

Мембрана 3, яка знаходиться в корпусі 2, прикріплена до штока 1 і може здійснювати коливальні рухи. Під час ходу штока вправо мембрана 3 вигинається і створює в камері насоса вакуум, завдяки якому через всмоктувальний клапан 5 із патрубку 4 поступає рідина. При зворотному ході штока 1 мембрана 3 давить на рідину й витискує її через нагнітальний клапан 6 у патрубок 7. Суттєвий недолік мембранних насосів це знос еластичної мембрани внаслідок її розтягування.

## Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

### Порівняння різних типів насосів

№	Насос	Схематичне зображення
1	Одноступінчастий горизонтальний відцентровий насос	
2	Осьовий насос	
3	Струминний насос	
4	Поршневий насос	
5	Шестеренний насос	
6	Гвинтовий насос	
7	Мембранний насос	

3. Розрахувати і підібрати відцентровий насос для подачі 18 м<sup>3</sup>/год (0,005 м<sup>3</sup>/с) води за температури 20 °С із відкритої посудини в апарат, який працює під надлишковим тиском 0,1 МПа.

*Вихідні дані:* геометрична висота підняття води 15 м; довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 20 м; на лінії всмоктування встановлено один нормальний вентиль, на лінії нагнітання – один нормальний вентиль, а також два коліна під кутом 90°.

*Вибір діаметра трубопроводу.* Швидкість руху води у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах становить 1,5 м/с. Тоді діаметр трубопроводу за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \omega}},$$

де  $Q$  – об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  – швидкість, м/с;  $F$  – площа поперечного перерізу потоку, м;  $d$  – діаметр, м.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,065 \text{ м.}$$

Вибираємо сталеву трубу діаметром 76 x 4 мм.  
Уточнюємо швидкість руху води:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,068^2} = 1,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначення втрат на тертя і місцеві опори. Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{1,4 \cdot 0,068 \cdot 998}{1,01 \cdot 10^{-3}} = 94100,$$

тобто *режим руху турбулентний*.

Абсолютна шорсткість стінок труб  $\Delta = 0,2$  мм. Тоді відносна жорсткість  $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,2}{68} = 0,00294$ .

Після цього знаходимо  $\frac{20}{\Delta} = 6800$  і  $\frac{500}{\Delta} = 170000$ .

Отже,  $6800 < Re < 170\,000$ , тому розрахунок здійснюємо за формулою:

$$\lambda = 0,11 \left( \Delta + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,027.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів.

Для всмоктувальної лінії:

– вхід у трубу (з гострими краями):  $\xi = 0,5$ ;

– нормальний вентиль: для  $d = 40$  мм  $\xi = 4,9$ ; для  $d = 80$  мм  $\xi = 4,0$ .

Інтерполяцією для  $d = 68$  мм знаходимо  $\xi = 4,3$ .

Тоді  $\sum \xi_{ec} = 0,5 + 4,3 = 4,8$ .

Для нагнітальної лінії: вихід із труби:  $\xi = 1$ ; нормальний вентиль:  $\xi = 4,3$ ; коліно під кутом  $90^\circ$ :  $\xi = 1,1$ .

Тоді  $\sum \xi = 1 + 4,3 + 2 \cdot 1,1 = 7,5$ .

Визначаємо втрату напору за формулою  $h = \left( \lambda \frac{l}{d_e} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2g}$  (5), де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору (коефіцієнт тертя);  $l$  – довжина трубопроводу, м;  $d_e$  – еквівалентний діаметр трубопроводу, м;  $\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

У трубопроводі: всмоктувальному за формулою (5)  $h_e = 0,6$  м; нагнітальному  $h_n = 1,54$  м

Загальні втрати напору  $h_3 = h_e + h_n = 0,6 + 1,54 = 2,14$  м.

*Вибір насоса.* Визначаємо напір насоса за формулою:

$$H = H_r \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + h_b,$$

де  $H_r$  – геометрична висота підняття рідини, м;  $p_1$  – тиск у резервуарі чи апараті, з якого перекачується рідина, Па;  $p_2$  – тиск у резервуарі (апараті),

в який подається рідина, Па;  $h_e$  – втрати напору у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах, м.

$$H = 15 + \frac{0,1 \cdot 10^6}{998 \cdot 9,81} + 2,14 = 27,4 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса (кВт) розраховуємо за формулою:

$$N_k = \frac{Q \rho g H}{1000}$$

де  $Q$  – об’ємна витрата,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho$  – густина  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $H$  – напір насоса, м.

$$N_k = \frac{0,005 \cdot 998 \cdot 9,81 \cdot 27,4}{1000} = 1,34 \text{ кВт.}$$

Для відцентрових насосів малої і середньої подачі  $\eta_p = 1$  і  $\eta_n = 0,6$ . Тоді потужність на валу двигуна обчислюємо за формулою

$$N = \frac{N_k}{\eta_n \eta_p},$$

де:  $\eta_p$  і  $\eta_n$  коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса.

$$N = \frac{1,34}{0,6 \cdot 1} = 2,23 \text{ кВт.}$$

Визначаємо потужність електродвигуна за формулою

$$N_{дв} = \frac{N_n}{\eta_{дв}},$$

де  $\eta_{дв}$  – ККД електродвигуна, який залежить від нормальної потужності  $N_n$ , при  $\eta_{дв} = 0,8$

$$N_{дв} = \frac{2,23}{0,8} = 2,79 \text{ кВт.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу потужності  $\beta = 1,35$  за формулою:

$$N_{уст} = \beta N_{дв},$$

установлюємо двигун потужністю:

$$N_{уст} = 2,79 \cdot 1,35 = 3,77 \text{ кВт.}$$

Відцентровий насос марки К 20/30 має подачу  $20 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір 30 м, ККД 0,62.

Насос обладнаний електродвигуном потужністю 4,0 кВт, частота обертання вала  $n = 2900 \text{ об}/\text{хв} = 48,3 \text{ с}^{-1}$ .

Визначення допустимої висоти всмоктування. Щоб запобігти кавітації у відцентрових насосах, за формулою визначаємо запас напору

$$h_3 = 0,3(Qn^2)^{\frac{2}{3}},$$

$$h_3 = 0,3(0,005 \cdot 48,3^2)^{\frac{2}{3}} = 1,56 \text{ м},$$

при  $20^\circ\text{C}$   $p_t = 2,34 \cdot 10^3$  Па. Атмосферний тиск  $p_a = 10^5$  Па, а діаметр всмоктувального патрубку дорівнює діаметру трубопроводу.

Тоді за формулою

$$H_{\text{вс}} \leq \frac{p_a}{\rho g} - \left( \frac{p_t}{\rho g} + \frac{\omega_{\text{вс}}^2}{2} + h_{\text{вс}} + h_3 \right),$$

де  $p_a$  – атмосферний тиск;  $p_t$  – тиск насиченої пари перекачуваної рідини за робочої температури;  $\omega_{\text{вс}}$  – швидкість рідини у всмоктувальному трубопроводі;  $h_{\text{вс}}$  – втрата напору у всмоктувальному трубопроводі;  $h_3$  – запас напору, необхідний для запобігання кавітації у відцентрових насосах або відриву поршня від рідини в поршневих насосах.

Обчислюємо

$$H_{\text{вс}} \leq \frac{10^5}{998 \cdot 9,81} - \left( \frac{2,34 \cdot 10^3}{998 \cdot 9,81} + \frac{1,4^2}{2 \cdot 9,81} + 0,6 + 1,56 \right) = 7,7 \text{ м}.$$

Отже, відцентровий насос можна встановити на висоті до 7,7 м над рівнем води в посудині.

4. Знайти відповіді на такі питання:

1. Підходи до класифікації різних типів насосів?
2. Як працює відцентровий насос?
3. Де використовуються осьові насоси?
4. За яким принципом працює струминний насос?
5. Призначення поршневих насосів. Як визначається їх продуктивність?
6. Для перекачування яких рідин доцільно застосовувати роторні насоси?
7. Як працює шестеренний насос із зовнішнім зчепленням?
8. Принцип дії гвинтових насосів.
9. Для перекачування яких рідин доцільно застосовувати мембранні насоси?
10. Принцип дії мембранного насоса.
11. Як визначається повний напір, що розвивається насосом?





## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

**Тема:** *Вивчення основних типів мішалок та способів перемішування*

**Мета:** засвоєння знань про процес перемішування та вивчення різних способів перемішування.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми різних типів мішалок, презентації.

### Теоретичні відомості

*Перемішуванням* називається процес взаємного переміщення частинок однієї речовини в іншій з метою їх рівномірного розподілу в усьому об'ємі, який перемішується. Перемішування може бути *вільним або вимушеним*. Вільне перемішування може відбуватися внаслідок молекулярної дифузії, різниці густин або температур у різних шарах рідини або під впливом кількох цих факторів одночасно. Під час молекулярної дифузії речовина переміщується в тому напрямку, де концентрація її менша, і в такий спосіб вирівнюватиметься концентрація в усьому об'ємі.

Молекулярна дифузія – це дуже повільний процес перемішування, тому на практиці, застосовують вимушене перемішування. Воно відбувається за рахунок підведення зовні механічної енергії. У харчовій промисловості та ресторанному господарстві перемішування матеріалів застосовується з метою:

- одержання гомогенних (однорідних) розчинів, суспензій, емульсій і т. ін.;
- рівномірного розподілу однієї фази в іншій;
- підтримання дисперсної фази в завислому стані;
- збільшення швидкості хімічних, теплових і масообмінних процесів;
- проведення фізико-хімічних процесів, наприклад процесів сатурації, кристалізації;
- підігрівання рідкої системи за випадку подавання в неї гострої пари.

Приклади перемішування в ресторанному господарстві: заміс тіста, перемішування і збивання кондитерських мас (кремів, вершків, яєць, начинок і т. ін.), фаршу, сиру, вінегрету і салату, картопляного пюре і т. ін.

Яке цільове призначення не мав би процес перемішування, загальні закономірності його здійснення однакові. Перемішування здійснюється або в спеціальних апаратах, які називаються змішувачами, або безпосередньо в апаратах, де відбуваються масообмінні, теплообмінні, біохімічні, хімічні та

інші процеси. Такі апарати мають відповідні пристрої для перемішування – мішалки.

Як було вище зазначено вимушене перемішування відбувається за рахунок підведення механічної енергії. Ця енергія витрачається на подолання сил тертя і сил взаємодії між молекулами й частинками середовищ які перемішуються. Механічна енергія до таких середовищ може підводитися різними способами, тому існує декілька *способів перемішування*: механічне, пневматичне, циркуляційне та перемішування в потоці за допомогою нерухомих вставок (потокове перемішування). Найважливішими характеристиками перемішувальних пристроїв є їх ефективність та інтенсивність дії, а також витрата енергії на проведення процесу. Ефективність перемішування характеризується ступенем рівномірності розподілу одного (ключового) компонента в суміші, а інтенсивність – часом досягнення заданого технологічного результату.

*Механічне перемішування* застосовується майже виключно для перемішування краплинних рідин. Воно здійснюється мішалками різних конструкцій, із яких найширше використовуються лопатеві, пропелерні та турбінні. У особливих випадках використовуються спеціальні типи мішалок – якірні, гвинтові, шнекові, рамні, дискові, вібраційні та ін. Вал мішалки може бути встановлений в апараті вертикально, горизонтально або з нахилом. За частотою обертання робочого органу перемішувальні пристрої поділяються тихо- і швидкохідні.

*Лопатеві мішалки* (рис. 1, а) використовують для перемішування рідин з помірною в'язкістю. Вони мають одну або декілька плоских вертикальних пластин 1, закріплених на вертикальному валу. Такі лопаті надають рідині в основному обертальний рух. Щоб забезпечити переміщення рідини у вертикальному напрямку, установлюють також нахилені лопаті під кутом до горизонту від  $45^\circ$  до  $60^\circ$ . Діаметр лопатей  $d = (0,6 - 0,7) D$ , де  $D$  – діаметр корпусу апарата.

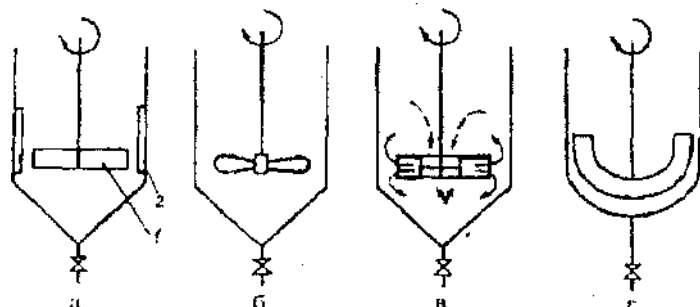


Рис. 1. Основні типи мішалок

Колова швидкість на кінцях лопатей не перевищує 5 м/с. Частота обертання лопатевих мішалок зазвичай 20-30 об/хв. Оскільки на поверхні рідини під час обертання мішалки можуть утворюватися лійки (воронки),

що погіршує умови перемішування контактуючих фаз, до стінок корпусу закріплюють вертикальні відбиваючі перегородки 2 шириною  $b = 0,1 D$ .

*Пропелерні мішалки* (рис. 1, б) виготовляють з двома або трьома лопатями (пропелерами). Лопаті цих мішалок зігнуто по профілю пропелера, тобто зі зміною кута нахилу по їх довжині (від  $0^\circ$  до  $90^\circ$  на кінці). Завдяки цьому частинки рідини відштовхуються гвинтом у багатьох напрямках, що забезпечує добре перемішування. Діаметр пропелера  $d = (0,25 - 0,3) D$ , частота обертання 150-1000 об/хв. Щоб надати осьового напрямку потоку рідини, створюваному пропелером, його часто розміщують у дифузорі – короткому циліндрі з розтрубом.

*Турбінні мішалки* (рис. 1, в) забезпечують добре перемішування в'язких рідин і суспензій. Робочим органом турбінних мішалок є турбінне колесо діаметром  $d = (0,25-0,3) D$ , що обертається на вертикальній осі. Принцип дії аналогічний роботі колеса відцентрового насоса. Рідина входить у колесо по осі крізь центральний отвір і, діставши прискорення від лопатей, викидається з колеса в радіальному напрямку. Іноді обертове колесо встановлюють усередині нерухомого напрямного колеса з лопатями. Цим досягають плавної зміни напрямку потоку рідини та зменшують гідравлічні витрати. Для кращого перемішування на вал мішалки насаджують дві турбінки. Частота обертання турбінних мішалок становить 200-2000 об/хв.

*Якірна мішалка* (рис. 1, г) використовується для перемішування густих і в'язких рідинних середовищ. Лопаті цієї мішалки зігнуті за формою стінки і дна апарата. Обертаючись із частотою 50-60 об/хв. на відстані 5-8 мм від стінки така лопать очищує стінки апарата від маси, що на них налипла.

У дискових, рамних (подібних до якірних) і гвинтових (шнекових) мішалках робочим органом є відповідно диск, рамка і гвинт (шнек), які обертаються на осі.

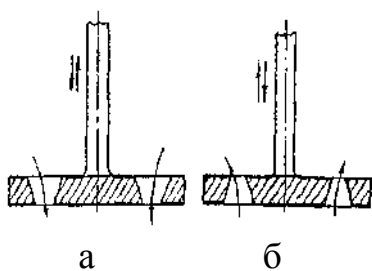


Рис. 2. Робочий диск вібраційних мішалок

У *вібраційних мішалках* робочий орган – це перфорований диск, закріплений на валу, що переміщується то вгору, то вниз (рис. 2). Напрямок та силу струменів потоку рідини забезпечують профільовані отвори в диску. Енергетично ці мішалки дуже економічні, придатні для перемішування рідких сумішей і суспензій.

Мішалки цього типу зручно використовувати в герметичних апаратах, а також як емульгатори і збивалки. Час, потрібний для розчинення, гомогенізації або диспергування, при вібраційному перемішуванні значно скорочується.

*Циркуляційне перемішування* (рис. 3) здійснюється багатократним перекачуванням рідини по контуру; апарат 1 – циркуляційний насос 2 – апарат 1. Трубопроводи, по яких рідина нагнітається в апарат, встановлюють під деяким кутом до горизонталі та дотично до стінок апарата. Кінці

трубопроводів оснащуються спеціальними насадками 3, через які рідина розбризкується в об'ємі апарата. Такі устрої використовують замість механічного перемішування для одержання гомогенних (однорідних) розчинів і

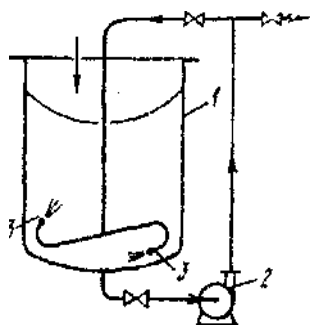


Рис. 3. Циркуляційне перемішування

неоднорідних систем – суспензій або емульсій. У якості циркуляційного насоса використовують відцентровий або струминний. Циркуляція збільшується в міру збільшення продуктивності насоса. Проте цей спосіб не завжди придатний, тому що рідина, яка проходить по трубопроводах і через насос, поступово охолоджується, що інколи може бути небажаним. Крім цього, для перекачування в'язких рідин потрібні спеціальні насоси.

*Потокове перемішування.* Для перемішування компонентів у потоці використовують

різноманітні конструкції змішувачів (рис. 4).

У них змішування потоків у корпусі 1 досягається за рахунок багатократного перемішування їх на діафрагмах 2 і розсікачах 3 (рис. 4, а), напівперегородках чи полицях 4 (рис. 4, б). Нерухомі устрої, які встановлюються в трубопроводі, сприяють багатократній зміні швидкості і напрямку руху, а також турбулізації потоку, що призводить до перемішування. Доцільність застосування перемішування в трубопроводі зумовлена дешевизною і простотою цього способу. Частіше для перемішування рідин у трубопроводі застосовують інжекторний спосіб.

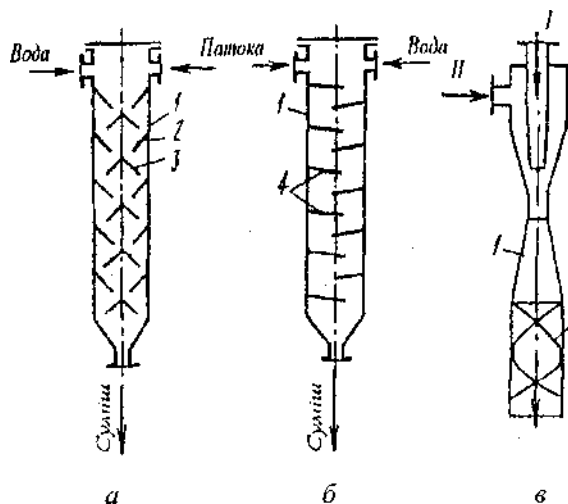


Рис. 4. Схеми поточкових змішувачів зі вставками

В інжекторних змішувачах (рис. 4, в) одна із рідин (I) з великою швидкістю проходить через сопло, створюючи розрідження в навколишньому просторі. Сюди підсмоктується інша рідина (II), яка інтенсивно перемішується з першою. Ефективність перемішування в таких пристроях можна підвищити, вмонтовуючи гвинтові вставки 5.

Потоковий спосіб перемішування потребує витрат великої кількості енергії потоку рідини, тому він використовується у випадку взаємної розчинності та низької в'язкості рідинних компонентів суміші, тобто при великих швидкостях і порівняно великій довжині трубопроводу.

*Пневматичне перемішування* рідинних середовищ здійснюють в апаратах, які в якості перемішувальних пристроїв обладнуються газорозподільними перфорованими решітками, пористими плитками або барботерами (рис. 5). Газ виходить через отвори барботера у вигляді численних струмин (бульбашок) в різні боки і захоплює за собою частинки рідини. Інтенсивність перемішування збільшується із зростанням тиску газового потоку. Загальна площа отворів барботера не може перевищувати площу перерізу підвідного трубопроводу більше ніж у 1,5 разу. Зазвичай діаметр отворів – 4-6 мм, відстань між отворами – 30-40 мм. На перемішування за допомогою барботерів втрачається значно більше енергії, ніж на механічне перемішування.

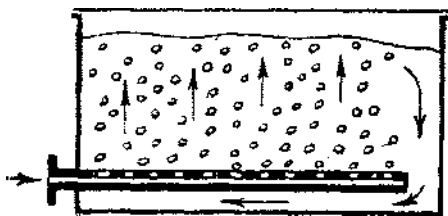


Рис. 5. Схема пневматичного перемішування

У ряді випадків барботери використовуються в харчовій промисловості для нагрівання й перемішування сировини водяною парою. У якості такого прикладу може бути процес дезодорації жирів і олій, який проводиться на маргаринових підприємствах. Через шар жиру барботує водяна пара, яка інтенсивно перемішує жир і захоплює за собою речовини, які зумовлюють його неприємний запах.

*Перемішування пластичних мас.* Провідне місце в харчовій промисловості та ресторанному господарстві за об'ємом виробництва, споживанням і різноманітністю виду займають харчові дисперсні продукти, які включають, тверду й рідинну фази, а часто за наявності й газової – пластичні маси. До них відносяться насамперед усі види борошняного тіста хлібопекарного, макаронного і кондитерського, шоколадні та цукеркові маси, м'ясні, овочеві та рибні фарші, сирні маси, густі креми тощо. Якість цих продуктів і напівфабрикатів значною мірою залежить від дисперсності та однорідності їх структури та рівномірності розподілення компонентів, що визначається процесом перемішування. При цьому перемішуванням вирішуються і ряд інших завдань розминання маси, насичення її повітрям і надавання їй відповідних механічних властивостей. Інколи перемішування супроводжується процесами плавлення, твердіння, кристалізації, тощо, що веде до зміни агрегатного стану продуктів. Для перемішування пластичних

мас використовують спеціальні типи змішувачів, які можуть бути розділені на дві основні групи: періодичної та безперервної дії. Вони можуть мати перемішувальні устрої з вертикальною або горизонтальною віссю.

Для періодичного перемішування пастоподібних матеріалів використовуються змішувачі з обертаючими лопатями (рис. 6, а). Змішувач являє собою корпус із дном у формі двох напівциліндрів, у якому назустріч один одному обертаються два горизонтальні вали з лопатями. Найбільш розповсюджена Z-подібна форма лопатей. Такі змішувачі часто мають оболонки для підігрівання.

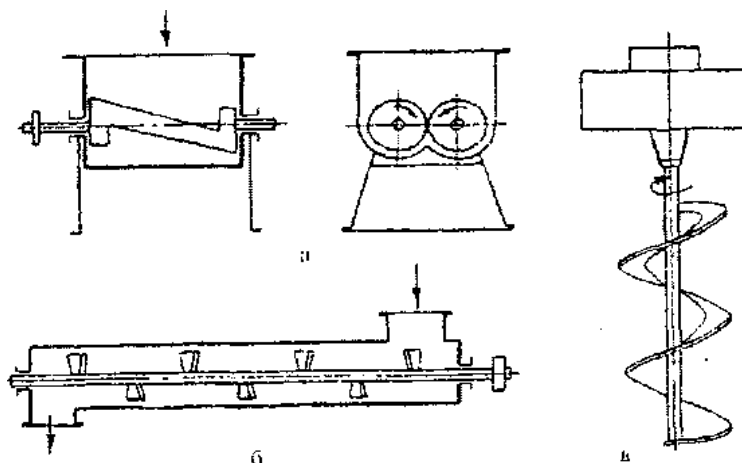


Рис. 6. Перемішувальні пристрої для пластичних матеріалів

У шнекових лопатевих змішувачах, які використовуються для перемішування високов'язких рідин (рис. 6, б), робочими органами є одинарні або парні вали – шнеки з T-подібними лопатями. Вали обертаються в корпусі з циліндричним днищем з різними частотами, здійснюючи одночасно перемішування і транспортування матеріалів.

Стрічкові змішувачі (рис. 6, в) відрізняються лише формою лопатей, виготовлених із плоских стрічок, зігнутих по гвинтовій лінії і закріплених на валу змішувача. Частота обертання валу в лопатевому і стрічковому змішувачах невелика – 10-15 об/хв. Тому процес змішування в апаратах з лопатевими робочими органами досить тривалий. У промисловості використовують також змішувачі, робочі органи яких здійснюють складні просторові рухи. Прикладом такого змішувача є тістомісильна машина.

Розглянуті схеми змішувачів (рис. 6) можуть бути використані і для перемішування сипких матеріалів.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

**Порівняння різних способів перемішування  
та відповідних типів мішалок**

№	Спосіб перемішування	Схематичне зображення
	<i>Механічне перемішування</i>	
1	Лопатева мішалка	
2	Пропелерна мішалка	
3	Турбінна мішалка	
4	Якірна мішалка	
5	Вібраційна мішалка	
	<i>Циркуляційне перемішування</i>	
1	Циркуляційний насос	
	<i>Потокове перемішування</i>	
1	Потокові змішувачі зі вставками	
	<i>Пневматичне перемішування</i>	
1	Барботер	
	<i>Перемішування пластичних мас</i>	
1	Змішувачі з обертаючими лопатями	
2	Шнекові лопатеві змішувачі	
3	Стрічкові змішувачі	

3. Визначити частоту обертання лопатевої мішалки діаметром  $d=1$  м і шириною  $b = 0,1$  м, встановленої у пристрої діаметром  $D=1,5$  м для перемішування рідини шаром  $H=1,2$  м з твердими частинками, якщо густина рідини  $\rho_{ж} = 1100$  кг/м<sup>3</sup> і в'язкість її  $\mu_{ж} = 0,024$  Па с. Масовий вміст твердої фази в рідині  $x_m = 18\%$ , еквівалентний діаметр твердих частинок  $d_c = 3$  мм і густина їх  $\rho_c = 1500$  кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо за табличним значенням для лопатевої мішалки  $C_1 = 46,4$  і показники степенів  $x_1 = 0$  і  $y_1 = 1$ .

Густину суміші розраховують за формулою:

$$\rho_c = \frac{d}{\frac{x_m}{\rho_c} + \frac{(1 - x_m)}{\rho_{ж}}}$$

Так як, густина компонентів суспензії, що перемішується, різняться більш чим на 30%, то  $n$  – частоту обертання лопатевої мішалки розраховують за формулою:

$$n = C_1 \sqrt{\frac{\Delta\rho \cdot \rho_c}{\rho_c}} \cdot \left(\frac{D^{x_1}}{D^{x_2}}\right),$$

$$\Delta\rho = \rho_c - \rho_{ж} .$$

4. Знайти відповіді на питання:

1. Мета процесу перемішування.
2. Загальні закономірності перемішування.
3. Які типи та конструкції мішалок застосовують для перемішування в рідинному середовищі?
4. Які існують способи перемішування рідин?
5. Як відбувається вимушене перемішування?
6. Суть і класифікація процесів перемішування?
7. Способи перемішування рідкого середовища.
8. Які типи механічних мішалок ви знаєте? Основа їх роботи та будова.
9. Які існують мішалки для перемішування сипучих та в'язких матеріалів?
10. Поточне перемішування рідин.
11. Поясніть суть і призначення механічного перемішування.
12. Для перемішування яких рідин використовують лопатеві мішалки?
13. Для перемішування яких рідин використовують якірні мішалки?
14. Для перемішування яких рідин використовують вібраційні мішалки?
15. Поясніть суть і призначення циркуляційного перемішування.
16. Поясніть суть і призначення пневматичного перемішування.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

**Тема:** *Вивчення процесів диспергування та їх апаратне оформлення*

**Мета:** засвоєння знань про емульсори, гомогенізатори та способи розпилення рідин.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми емульсорів, гомогенізаторів, форсунок для розпилення рідин; презентації..

### Теоретичні відомості

*Диспергування* – це процеси подрібнювання рідких, твердих і газових речовин у рідині, а також подрібнювання рідких і твердих речовин у газі з метою утворення дисперсних систем.

Серед процесів диспергування виділяють три основних: емульгування, гомогенізацію та розпилення рідин.

*Емульгування* – це процес диспергування з метою одержання емульсій, тобто систем із двох рідин, які не змішуються між собою. Для проведення емульгування використовують розмішувальні та циркуляційні апарати (див. прак. роб. №2), а також колоїдні млини, відцентрові, вихрові та ультразвукові емульсори. Диспергування в колоїдному млині (рис. 1) здійснюється за рахунок великого градієнта швидкості в проміжку 2 між ротором 3 і нерухожим конічним статором 1. При цьому форма роторів у сучасних колоїдних млинах буває різна: конусна, циліндрична, зубчаста та ін. Величина зазору між ротором і статором регулюється і становить 0,05-0,5 мм.

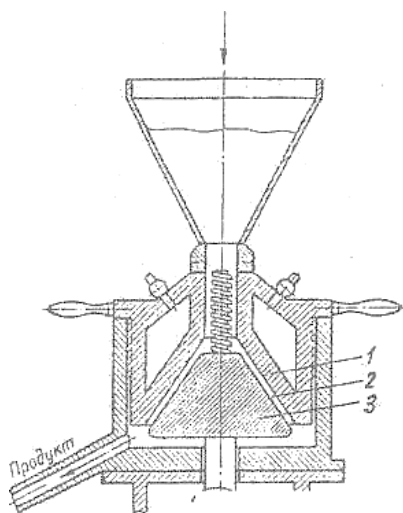


Рис. 1. Схема колоїдного млина з конічним ротором

Відомі колоїдні млини, в яких зазор становить 0,025 мм. Частота обертання ротора в колоїдних млинах досягає 250–400 с<sup>-1</sup>, а продуктивність – 1,7 л/с. Для виготовлення паст і в'язких емульсій використовуються млини з меншою швидкістю і продуктивністю.

Продуктивність колоїдного млина можна регулювати, змінюючи величину зазору між статором і ротором або швидкість обертання ротора.

Принцип дії відцентрових емульсорів (рис. 2) полягає в тому, що суміш води, жиру, емульгатора надходить до швидкообертового пристрою і під дією відцентрової сили відкидається через вузькі щілини або отвори, внаслідок чого відбувається диспергування.

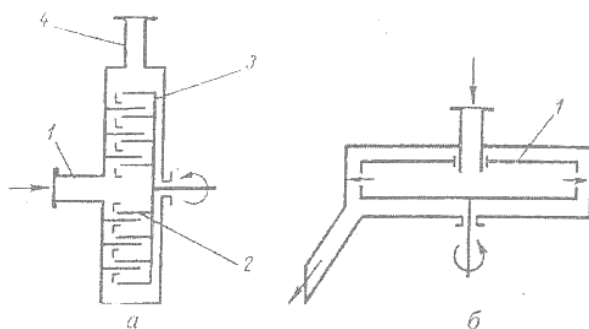


Рис. 2. Схеми відцентрових емульсорів

У кільцевому відцентровому емульсорі (рис. 2, а) викидання суміші через щілини здійснюється багатократно. Із вхідного патрубку вихідна суміш поступає спочатку на перше кільце 2, яке розташоване на диску 3, що обертається. Через отвір у цьому кільці суміш викидається і потрапляє на друге кільце, яке розташоване на диску 3, і т. д. Після викиду емульсії через отвори четвертого кільця, розташованого на диску, вона виходить через патрубок 4 для відведення емульсії. Частота обертання диску в цьому емульсорі дорівнює 10-20 с<sup>-1</sup>. У дисковому емульсорі (рис. 2, б) диск 1 має частоту обертання до 200 с<sup>-1</sup>. Сила, що розвивається рідиною, яка емульгується в роторі відцентрового емульсора, може бути визначена за формулою:

$$F = m v_0^2 / r, \quad (1)$$

де  $m$  – маса суміші, кг;  $v_0$  – колова швидкість, м/с;  $r$  – радіус обертання, м.

Гомогенізація використовується для подальшого диспергування емульсій (розмір жирових частинок – 8–10 мкм) з метою отримання продукту, розмір дисперсної фази якого не перевищує 1-2 мкм. Гомогенізації піддають молоко, вершки, суміші для морозива. При цьому жир не відстоюється, змінюються лише деякі фізичні властивості продуктів (наприклад збільшується в'язкість) і поліпшується смак продуктів. Гомогенізація таких продуктів, як плавлені сири і вершкове масло, поліпшує їх консистенцію, стійкість під час зберігання. Процес гомогенізації здійснюють на апаратах,

які називаються гомогенізаторами. Найбільше поширення набули клапанні гомогенізатори. Основною частиною гомогенізатора клапанного типу є гомогенізувальна головка, принципова схема якої показана на рис. 3. Вона

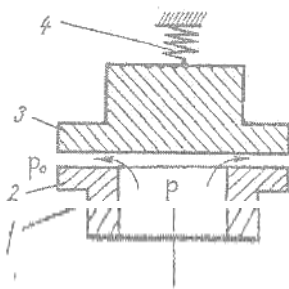


Рис. 3. Схема гомогенізувальної головки

включає патрубок для надходження продукту 1, сідло клапана 2, клапан 3 і пружину 4. Пружина 4 регулює висоту клапанної щілини.

Принцип дії клапанних гомогенізаторів зводиться до того, що молоко (або інша емульсія) під великим тиском (8-60 МПа) протискується через вузьку кругову щілину між сідлом і клапаном (висотою 80-100 мкм), де й відбувається подрібнювання жирових кульок. При вході в клапанну щілину швидкість руху емульсії різко зростає. Якщо швидкість потоку перед щілиною становить декілька метрів за одну секунду, то швидкість у клапанній щілині перевищує сотні метрів за одну секунду. У зоні різкої та великої зміни швидкості жирова частина витягується і від неї внаслідок дії сил поверхневого натягу відриваються малі частинки, величина яких залежить від величини тиску гомогенізації. Високий тиск у гомогенізаторі створюється багатоплунжерним насосом.

*Розпилення рідин* – це процес диспергування рідин у газове (повітряне) середовище, який використовується при сушінні рідких і в'язких продуктів, для зволоження повітря в розпилювальних камерах, для підтримання процесу горіння рідкого палива в паливних пристроях тощо.

Процес диспергування рідини в газове середовище полягає в подрібненні струменя або його плівки на велику кількість крапель і розподілі цих крапель у просторі.

Основними показниками, які характеризують якість розпилювання, є тонкість і однорідність розпилювання, а також далекість струменя.

Залежно від способу підведення енергії на диспергування рідин розрізняють такі способи розпилювання: гідравлічний, механічний, пневматичний, електричний, ультразвуковий, пульсаційний.

Гідравлічне розпилювання відбувається завдяки вільному розпилюванню струменя, який витікає з великою швидкістю з отвору форсунки. Основним енергетичним фактором, який призводить до розпаду рідини на краплі, є тиск нагнітання. Форсунки для гідравлічного диспергування за принципом дії поділяються на струминні, зі співударом струменів, відцентрові.

Струминні форсунки являють собою насадку з циліндричним або будь-якої іншої форми отвором (соплом). Витікаючий із нього під дією перепаду тиску струмінь розпадається на краплі різного розміру. На рис. 4 в якості прикладу наведено схеми струминних форсунок з циліндричним (рис. 4, а) та кільцевим (рис. 4, б) соплом.

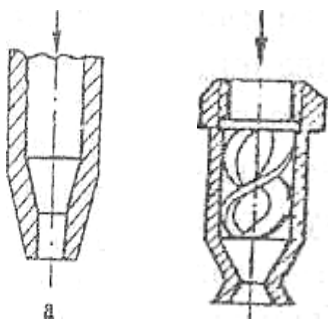


Рис. 4. Схеми гідравлічних форсунок

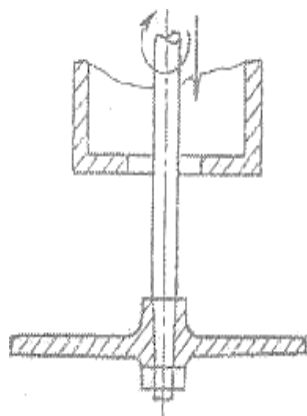


Рис. 5. Схема тарілчастого диска для розпилення

Форсунки зі співударом струменів працюють за принципом розбивання на краплі декількох струменів, які витікають із відповідних насадок і стикаються між собою. У відцентрових форсунках (рис. 4, б) потік рідини перед виходом із сопла набуває обертового руху, що сприяє більш інтенсивному розпаду струменя.

Гідравлічне диспергування – простий і економічний за споживанням енергії спосіб диспергування (споживається 2-4 кВт на диспергування 1 т рідини), тому він найбільше поширений у техніці.

При механічному способі розпилення рідина одержує енергію внаслідок тертя об робочий елемент (найчастіше – диск), що швидко обертається (рис. 5). Набуваючи обертального руху, рідина під дією відцентрових сил зривається у вигляді плівок і струменів з робочого елемента і подрібнюється на краплини. Для розпилення грубих суспензій – використовують суцільні диски, для тонких суспензій і однорідних рідин з рівчаками й лопатями. Частота обертання дисків 100-300 с<sup>-1</sup>.

Диски, на відміну від форсунок, можуть розпилювати, не тільки в'язкі рідини, а й кашоподібні та пастоподібні маси. Недоліком механічного способу диспергування є складність у виготовленні та експлуатації робочих елементів та енергоємність (витрата енергії становить близько 15 кВт на диспергування 1 т рідини).

Для здійснення пневматичного розпилювання використовують пневматичні форсунки.

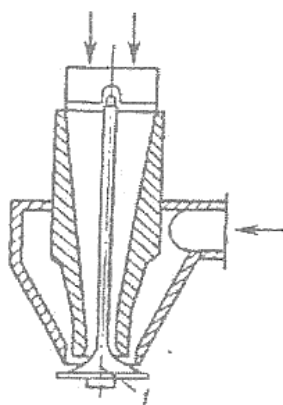


Рис. 6. Схема пневматичної форсунки

На рис. 6 наведено схема одного із різновидів пневматичної форсунки. Рідину, що диспергується, подають на тарілку 1, куди поступає також стиснене повітря, яке здуває з тарілки рідину й розпилює її. Внаслідок впливу стисненого повітря відбувається досить рівномірне розпилювання продукту. Розмір подрібнених частинок лежить у межах 100-200 мкм. На відцентрових дисках та механічних форсунках подібне диспергування одержати важко.

Пневматичні форсунки ефективні при розпилюванні високов'язких продуктів у сушильних процесах. Так, вони використовуються при розпилюванні молочно-рослинних сумішей під час виробництва сухих пюре і різного роду паст.

До недоліків пневматичного способу диспергування належать велика ви трата енергії (50-60 кВт на 1 т рідини), необхідність у диспергуючому агенті (звичайно стиснене повітря) і обладнанні для його стиснення та подачі.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

### Порівняння апаратів для диспергування

№	Апарат	Схематичне зображення
1	Колоїдний млин з конічним ротором	
2	Відцентровий емульсор кільцевий	
3	Відцентровий емульсор дисковий	
4	Гомогенізатор клапанного типу	
5	Струминна форсунка з циліндричним соплом	
6	Струминна форсунка з кільцевим соплом	
7	Тарілчастий диск для розпилення	
8	Пневматична форсунка	

3. Визначити швидкість початку зрідження цукру-піску в процесі висушування його в «киплячому» шарі при  $t = 90^{\circ}\text{C}$ , якщо еквівалентний діаметр частинок  $d_c = 0,6$  мм, і їх густина  $\rho_c = 1580$  кг/м<sup>3</sup>.

Згідно  $t = 90^\circ\text{C}$  густина і в'язкість повітря за табличними значеннями складають:  $\rho_{\text{пов}} = 0,972 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_{\text{пов}} = 2,15 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$ .

Значення критерію Архімеда розраховують за формулою:

$$Ar = g d_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{пов}}) \frac{\rho_{\text{пов}}}{\mu_{\text{пов}}^2}.$$

Значення критерію Рейнольда  $Re$  для початку зрідження знаходять за формулою:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}}.$$

Тоді швидкість  $\omega$  початку зрідження буде:

$$\omega = \frac{Re \mu_{\text{пов}}}{d_{\text{ч}} \rho_{\text{пов}}}.$$

4. Знайти відповіді на питання.

1. Які способи та апарати для емульгування ви знаєте?
2. Суть класифікації емульгаторів.
3. Як здійснюється диспергування в колоїдному млині?
4. Принцип дії відцентрових емульсорів.
5. Призначення процесу розпилення рідин.
6. Способи розпилювання рідин.
7. Форсунки, які використовують для гідравлічного диспергування?
8. Механічний спосіб розпилювання рідин.
9. Як здійснюється пневматичне розпилювання?
10. Які типи пневматичних форсунок ви знаєте?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

**Тема:** *Вивчення методів розділення неоднорідних систем та їх апаратурне оформлення*

**Мета:** оволодіти знаннями про процеси осадження, фільтрування та центрифугування та конструктивний устрій апаратів.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми апаратів для осадження, фільтрування та центрифуг, презентації.

### Теоретичні відомості

Розділення суспензій, емульсій та газових дисперсних систем під дією гравітаційного поля проводять в апаратах, які називаються відстійниками. Розрізняють відстійники періодичної, напівбезперервної та безперервної дій.

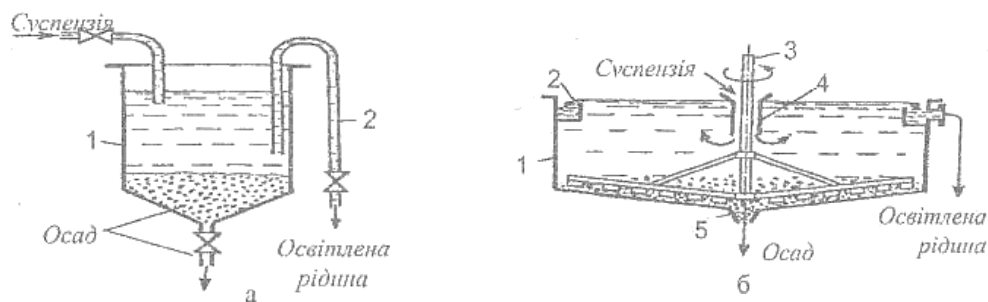


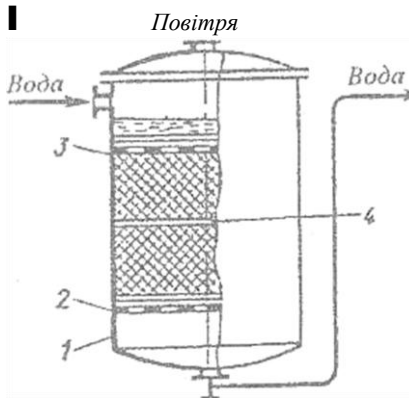
Рис. 1. Схеми апаратів для осадження:  
а – періодичної дії; б – безперервної дії

Відстійник періодичної дії – це циліндричний резервуар 1 з конічним дном (рис. 1 а). Суміш, яку мають розділяти, заливають в апарат і лишають відстоюватись. Якщо густина частинок  $\rho_{\text{ч}}$  більша від густини середовища  $\rho_{\text{с}}$ , то частинки цілком або частково встигають осісти в нижній частині апарата, утворюючи концентрований осад, а у верхній частині апарата утворюється прояснений шар. Якщо ж  $\rho_{\text{ч}} < \rho_{\text{с}}$ , то частинки дисперсної фази спливають угору, утворюючи концентрований продукт на поверхні освітленого шару. У першому випадку через сифонну трубу 2 зливають освітлений шар, а потім вивантажують осад через нижній штуцер. У другому – спочатку знімають верхню частину, а потім зливають освітлену рідину. Після промивання відстійника процес знову повторюється.

На рис. 1, б зображено схему одноярусного відстійника безперервної дії з механізованим виділенням осаду. Він являє собою циліндричний резервуар 1 з конічним дном і кільцевим лотком – водозливом 2 для

відведення освітленої рідини. У центрі апарата встановлено вал 3 з гребками, який повільно обертається (близько 10 обертів за 1 год.). Гребки призначені для просування осаду по днищу від периферії до вихідного патрубку 5 у центрі апарата. Суспензія підводиться в апарат по центральній трубі 4.

Для збільшення поверхні осадження і економії площі приміщень відстійники роблять багатоярусними. Вони складаються з декількох (4-5) одноярусних відстійників, які розташовані один над другим і працюють, як правило, паралельно.



■ Скид  
Рис. 2. Піщовий фільтр

Апарати для фільтрування дисперсних систем називаються фільтрами. Вони поділяються на фільтри періодичної та безперервної дії. Процес фільтрування в фільтрах періодичної дії проводять до тих пір, поки не буде заповнена осаду робоча камера фільтра або непомірно виросте його опір. У фільтрах безперервної дії осад безперервно видаляється з фільтрувальної перегородки.

За конструктивними особливостями розрізняють: рамні, камерні фільтрпреси, мішкові, барабанні, дискові, стрічкові, патронні та інші фільтри. Із фільтрів періодичної дії широко використовується піщовий фільтр (рис. 2). Його застосовують для фільтрування води, горілки й інших рідин, коли вміст твердої фази в суспензії порівняно незначний і осад не являє собою цінності. У циліндричному корпусі 1 між металевими сітками 2 і 3 знаходяться шар дрібного (внизу) і шар великого (зверху) кварцового піску, розділених тканиною 4.

Тканину кладуть також на нижню сітку, щоб пісок не потрапив у фільтрат, і на верхню сітку для запобігання швидкого забруднення піску. Фільтрують під тиском близько 0,05 МПа. Перевага такого фільтра – простота конструкції, висока якість фільтрування. Патронний фільтр (рис. 3) належить до фільтрів періодичної дії, що працюють під тиском.

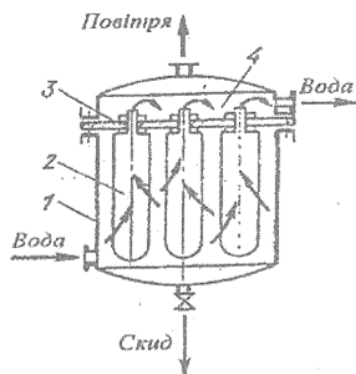


Рис. 3. Патронний фільтр



Він складається з циліндричного корпусу 1 і трубної решітки 3, в якій закріплені патрони 2 з дротяною, керамічною або тканинною фільтрувальною поверхнями. Принцип дії фільтра полягає в тому, що розділювальна суспензія під тиском 0,2-0,4 МПа нагнітається в простір між патронами, фільтрується через стінки патронів, а потім фільтрат збирається у верхній камері 4 фільтра і відводиться від нього. Регенерують патронні фільтри звичайно стисненим повітрям. Такі фільтри використовують для звільнення води від завислих частинок і мікроорганізмів у виробництві безалкогольних напоїв, для очищення цукрових та інших розчинів, соків, сиропів.

Рамний фільтрпрес (рис. 4) працює під надлишковим тиском 0,3-0,4 МПа, створюваним насосом. Він являє собою набір плит 1 і рам 2 квадратної, прямокутної або круглої форми, які стискаються між собою спеціальним пристроєм – затискувачем (ручним/ електричним, гідравлічним).

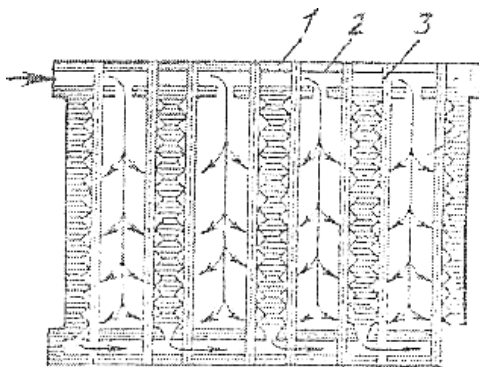


Рис. 4. Схема фільтрпреса

Плити фільтра виготовляють із сталі, чавуну чи полімерних матеріалів. Вони мають з обох боків рифлену поверхню, на яку вкладають фільтрувальну тканину 3. У зібраному вигляді між двома сусідніми плитами утворюються камери, в яких накопичується осад. У плитах, рамах і листах фільтрувальної тканини є отвори, які при збиранні фільтра утворюють канали для подачі суспензії та промивної рідини, а також для виведення фільтрату і промивного розчину. При фільтруванні суспензія подається паралельно в усі рами і по каналах у них витікає в простір між плитами. Через тканину, вкладену на плитах, проходить фільтрат, який потім стікає по рифленій поверхні плит до вивідного каналу і виводиться з фільтра. Зменшення швидкості витікання фільтрату є ознакою заповнення рам осадом. Після закінчення процесу фільтрування осад промивають. При цьому через канал фільтрату можна подавати промивну рідину. Вона потрапляє в простір між плитою і фільтрувальною тканиною, проходить крізь шар осаду і виливається через верхній канал.

Фільтрування за допомогою фільтрів періодичної дії пов'язане зі значними витратами праці та часу (до 30%) на допоміжні операції –

промивання осаду на фільтрі та його вивантаження. Із фільтрів безперервної дії найбільше поширені барабанні, дискові та стрічкові вакуум-фільтри. Як приклад, на рис. 5 схематично зображено стрічковий вакуум-фільтр.

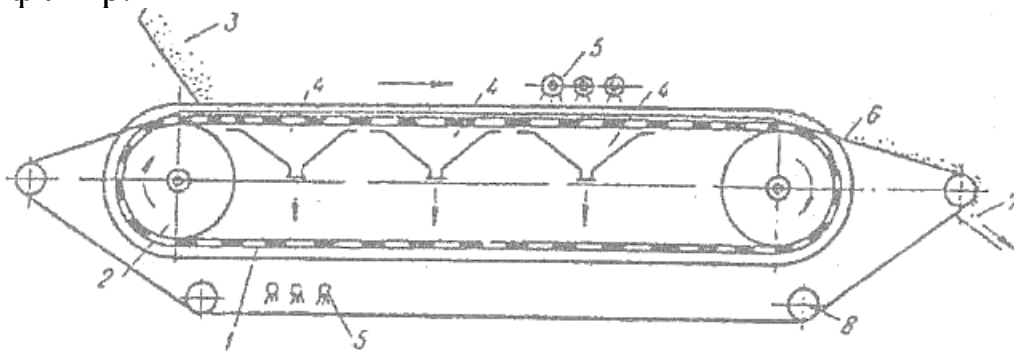


Рис. 5. Стрічковий вакуум-фільтр

Фільтрувальна поверхня в ньому – це безперервна перфорована і гумова стрічка з бортами 7, надіта на два барабани 2, що обертаються. Поверх стрічки знаходиться фільтрувальна тканина 6, для натягування якої слугують барабани 8. Суспензія через лоток 3 і промивна рідина через форсунки (розпилювачі) 5 надходять на верхню частину стрічки фільтра. Завдяки цьому фільтрат і промивна вода відсмоктуються знизу гумової стрічки у вакуум-камери 4, а осад надходить у лоток 7.

Процеси розділення неоднорідних систем здійснюються у центрифугах, сепараторах і циклонах.

Класифікація промислових центрифуг:

- за принципом роботи – відстійні (осаджувальні) центрифуги, фільтруючі центрифуги, сепаратори;
- за характером роботи центрифуги періодичної і безперервної дії;
- за інтенсивністю відцентрованого поля – нормальні ( $fr < 3500$ ) і надцентрифуги ( $fr > 3500$ );
- за розміщенням вала – горизонтальні, похилі та вертикальні;
- за вивантаженням осаду – з ручним і механізованим вивантаженням.

Принцип дії центрифуг у загальному вигляді полягає в тому, що рідинна неоднорідна система подається в барабан (ротор), який обертається в горизонтальній чи вертикальній площині. У барабані рідина утворює кільце, в якому й відбувається розділення. У полі відцентрових сил дисперсна (внутрішня) фаза залежно від її густини або осідає на стінки барабана центрифуги, або переміщується до її центру.

Конструктивно центрифуги відстійного і фільтрувального типів в основному відрізняються лише будовою барабана (суцільний або перфорований).

На рис. 6 зображено схему безперервно діючої фільтруючої центрифуги, в якій осад на ходу зрізується ножом 1, падає на площину 2 і

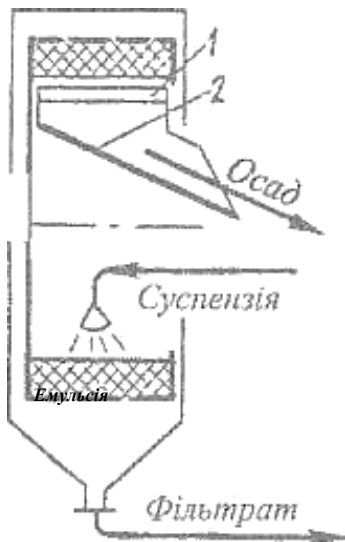


Рис. 6. Схема фільтрувальної центрифуги з ножовим зніманням

вивантажується з центрифуги. Очищена рідина через пори перегородки відкидається в збірник фільтрату. Ці центрифуги бувають вертикальні та горизонтальні.

До відстійних надцентрифуг безперервної дії відносяться сепаратори, які призначені для розділення емульсій та тонкодисперсних малоконцентрованих суспензій. Сепаратори широко використовуються для виділення вершків з молока, дріжджів із дріжджового молока, освітлення пива, виноматеріалів тощо. У промисловості використовують два типи сепараторів: камерні та тарілчасті.

На рис. 7 представлена схема тарілчастого сепаратора для розділення емульсії. Вихідна емульсія надходить у корпус барабана 1 через центральну трубу і потрапляє в робочу зону барабана. Барабан заповнений встановленими одна над одною конічними

вставками – тарілками 5, відстань між якими дуже незначна (0,4–1,5 мм). Пакет конічних тарілок виконує роль відстійних поверхонь, на яких відбувається розшарування емульсії під дією відцентрової сили. Важка фаза відкидається на внутрішню поверхню

конічних тарілок, переміщується в периферійну частину ротора, проходить над верхньою конічною перегородкою 4 і відводиться крізь отвір 2. Легка фаза витісняється до центра ротора і відводиться через канал 3.

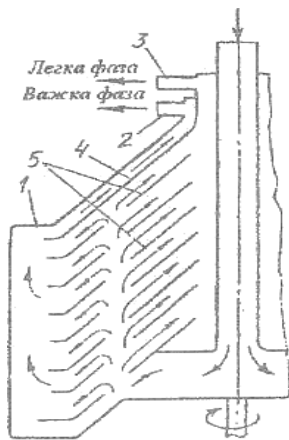


Рис 7. Схема тарілчастого сепаратора

За технологічним призначенням серед тарілчастих сепараторів розрізняють прояснювальні, роздільні та згущувальні. Прояснювальні тарілчасті сепаратори застосовуються для відокремлення від рідини завислих частинок, яких у цій суміші дуже мало (до 0,1%). Роздільні сепаратори використовують для розділення фаз, а згущувальні – для

збільшення концентрації однієї із фаз. У даний час харчові підприємства оснащуються універсальними сепараторами, які виконують одночасно всі перераховані вище операції, їх продуктивність досягає 150 м<sup>3</sup> в годину. Фактор розділення становить 6000-9000. Такі , сепаратори мають барабани, частота обертання яких становить до 19 000 за 1 хв. Широко використовуються ультрацентрифуги, ротор яких здійснює 100 і більше тисяч об/хв. Такі високі швидкості дають можливість осаджувати з рідини бактерії (бактофуги), пастеризувати і стерилізувати молоко та інші продукти і навіть розділяти ізотопи хімічних елементів.

Найпростішим пристроєм для відцентрового розділення газових і рідких неоднорідних систем є відповідно циклони і гідроциклони. Вони відзначаються простою будовою, компактністю, не мають рухомих частин.

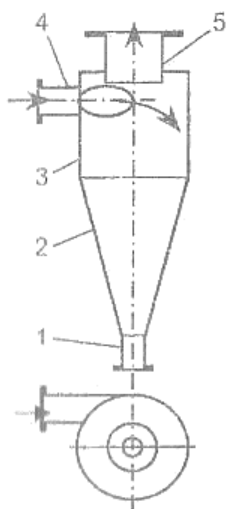


Рис. 8. Схема циклона

До недоліків циклонів відносяться невисока ступінь розділення, порівняно високий гідравлічний опір. Циклон для очищення газу (рис. 8) складається з вертикального циліндричного корпусу 3 з конічною частиною 2. Запилений газ надходить тангенціально з великою швидкістю (10-40 м/с) через патрубок 4 у верхню частину корпусу циклона. У корпусі цей потік запиленого газу рухається вниз по спіралі вздовж внутрішньої поверхні стінки циклона. При цьому важкі частинки пилу під дією відцентрової сили відкидаються на периферію, осідають на внутрішній поверхні корпусу, а потім сповзають у конічну частину 2 і видаляються через патрубок 1. Звільнений від завислих частинок потік газу виводиться з циклона через вивідну трубу 5.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

### Апарати для осадження, фільтрування та центрифугування

№	Апарат	Схематичне зображення
1	Відстійник періодичної дії	
2	Відстійник безперервної дії	
3	Пісковий фільтр	
4	Патронний фільтр	
5	Рамний фільтрпрес	
6	Стрічковий вакуум-фільтр	
7	Фільтруюча центрифуга	
8	Тарілчастий сепаратор для розділення емульсій	
9	Циклон	

3. Визначити тривалість фільтрування барабанного вакуум-фільтра безперервної дії для фільтрування суспензії в кількості  $G_c = 8,9$  кг/с з вмістом твердої фази  $x_T = 20$  мас.% та густиною її  $\rho_T = 2100$  кг/м<sup>3</sup>. На фільтрувальній тканині утворюється шар осаду товщиною  $h_{oc} = 12$  мм;

вологість осаду  $\omega = 15$  мас. % і питомий опір його  $r_{oc} = 18,8 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}$ . Опір фільтрувальної перегородки  $R_{пер} = 14,65 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$ . Витрата води на промивання осаду  $W = 1,5 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  вологого осаду. Густина фільтрату, який одержують  $\rho_f = 1080 \text{ кг/м}^3$  і його в'язкість  $\mu_f = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Перепад тиску при фільтруванні і промиванні  $\Delta p = 0,64 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Кількість твердої фази, що надходить з суспензією визначають за формулою:  $G_T = G_C \cdot X_T$ .

Кількість отриманого з неї вологого осаду визначають:  $G_{oc} = G_T / (1 - \omega)$ .

Кількість одержуваного фільтрату:  $G_f = G_C - G_{oc}$ .

Об'єм фільтрату:  $V = G_f / \rho_f$ .

Густина осаду знаходять за формулою:  $\rho_{oc} = \rho_T (1 - \omega) + \rho_B \omega$ , де  $\rho_B = 1000$  – густина води при  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

Кількість вологого осаду, що припадає на  $1 \text{ м}^3$  одержуваного фільтрату,  $X_{oc} = G_{oc} / (\rho_{oc} V_f)$ .

Визначимо питому продуктивність фільтру за цикл за формулою:

$$v = h_{oc} / X_{oc}$$

Тривалість фільтрування знайдемо за формулою:

$$\tau = \frac{\mu r_{oc} X_{oc} v^2}{2 \Delta p} + \frac{\mu R_{пер} v}{\Delta p}$$

4. Знайти відповіді на питання:

1. У яких апаратах проводять розділення дисперсних систем?
2. Конструкції відстійників періодичної дії. Визначення їх продуктивності та швидкості осадження. Сфера застосування.
3. Конструкції безперервно діючих відстійників. Назвіть їхні переваги та недоліки.
4. Способи процесу фільтрування.
5. Апарати для фільтрування дисперсних систем.
6. Фільтруючі центрифуги періодичної дії.
7. Фільтруючі центрифуги безперервної дії.
8. Використання тарілчастих сепараторів. Будова, робота.
9. Будова і робота циклону.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

**Тема:** *Вивчення машин для подрібнювання*

**Мета:** оволодіння знаннями про машини для подрібнювання: дробарки і млини їх класифікацію та конструктивний устрій.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми дробарок і млинів, презентації.

### Теоретичні відомості

Відповідно до існуючої класифікації, машини для подрібнювання поділяються на дробарки та млини. Дробарки використовують для крупного і середнього дроблення, млини – для дрібного, тонкого і колоїдного дроблення.

Основні машини для подрібнювання, залежно від конструктивних особливостей, поділяються на такі типи: дробарки щоківні конусні, валкові, молоткові, барабанні; бігуни та кульові, стрижневі, вібраційні, колоїдні млини тощо.

Різальні машини бувають дискові, пластинчасті, роторні, відцентрові різачки, вовчки і кутери.

До всіх машин для подрібнювання можна сформулювати такі загальні вимоги: рівномірність шматків подрібненого матеріалу; своєчасне видалення подрібнених шматків із робочого простору; зведення до мінімуму пилоутворення; безперервне і автоматичне розвантаження; можливість регулювання ступеня дробіння; можливість легкої заміни швидко зношуваних деталей; невелика витрата енергії на подрібнювання одиниці продукції; необхідність мати запобіжні пристрої, які запобігали б аварії всієї машини в разі потрапляння в зону подрібнювання міцних предметів.

Під час вибору машини для подрібнювання необхідно керуватися правилом, згідно з яким процес проводять тільки в тих машинах, які можуть забезпечити необхідний ступінь дрібнення продукту. Коли необхідно досягнути великого ступеня подрібнювання матеріалу, який має значні вихідні розміри, процес рекомендують проводити послідовно в декількох машинах. При цьому вибирають найбільш придатні апарати з основних трьох груп машин для подрібнювання: для крупного, середнього і дрібного подрібнювання, тонкого і колоїдного помелу.

Крупне подрібнювання в харчових виробництвах застосовується мало. До машин, які здійснюють таке подрібнювання, відносяться щоківні і конусні дробарки.

До найпоширеніших у харчовій промисловості дробарок давильної дії належать валкові дробарки. Їх використовують для середнього і тонкого

дроблення зерна в млинах і на крупорушках, солоду на пивоварних заводах, плодів і овочів на консервних заводах, шоколадної маси у кондитерському виробництві і т.д. Робочою частиною валкових дробарок є горизонтальні валки, кількість яких може бути різною; найчастіше дробарки мають пару валків. Циліндрична поверхня валків може бути гладкою, зубчастою, ребристою або рифленою. Схему валкової дробарки зображено на рис. 1

Дробарка складається з валків 1 і 2, які обертаються назустріч один одному. Підшипники валка 1 нерухомі, а валка 2 – рухомі. Останні утримуються за допомогою пружини 3, що дає можливість валку 2 зміщуватись, коли в дробарку потрапляють надто міцні сторонні предмети.

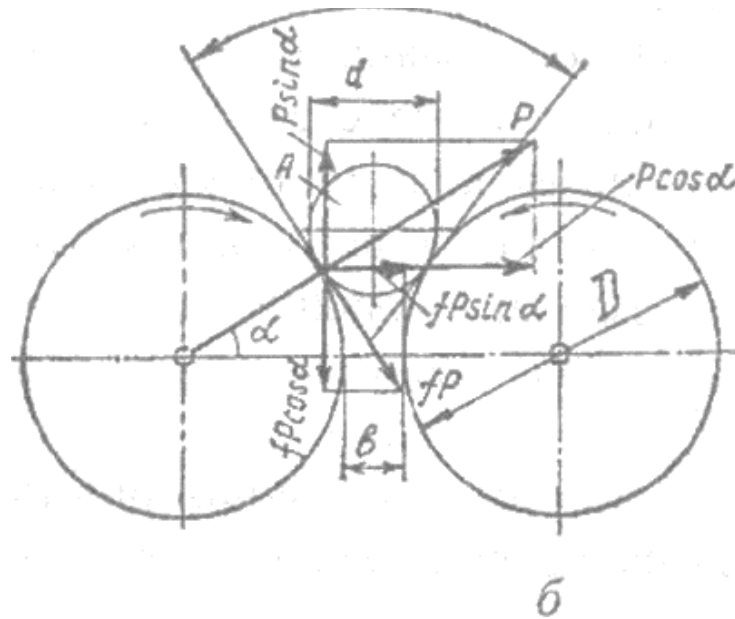


Рис. 1,а. Валкова дробарка (розрахункова схема)

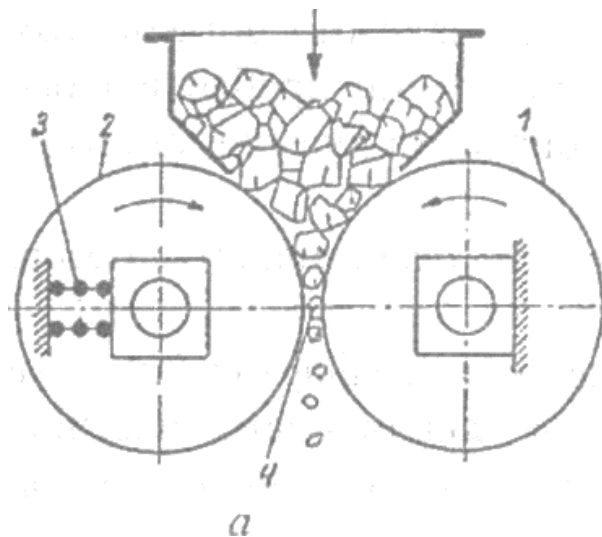


Рис. 1,б. Валкова дробарка (принципова схема)

За однакової швидкості обертання обох валків захоплений ними матеріал потрапляє у вузький проміжок (зазор) 4 і роздавлюється. Якщо швидкість обертання валків різна (при співвідношенні швидкостей 1:2,5 для рифлених і 1:1,25 або 1:1,5 для гладких валків), то матеріал, крім

роздавлювання, піддається розтиранню, а у випадку використання рифлених або зубчастих валків – ще й розколюванню.

Для того щоб шматок матеріалу захоплювався валками, необхідно виконати умову

$$\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi \quad \alpha \leq \varphi \quad (1)$$

де  $\varphi = \operatorname{arctg} f$  – кут тертя матеріалу об валки;  $\alpha$  – кут захоплення – кут між напрямом сили  $P$  і горизонтальною віссю;  $f$  – коефіцієнт тертя.

Продуктивність валкової дробарки може бути визначена таким розрахунком. Об'єм матеріалу, який виходить із дробарки за один оберт валків, відповідає об'єму паралелепіпеда з основою, рівною площі щілини, і висотою, рівною довжині кола валка (в  $\text{м}^3$ )

$$V = \pi D l b \quad (2)$$

де  $D$  і  $l$  – діаметр і довжина валка, м;  $b$  – ширина зазору між валками, м.

За частоти обертання валків  $n$  (в  $\text{с}^{-1}$ ) і густини матеріалу, який подрібнюється,  $\rho$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) продуктивність дробарки буде (в  $\text{кг}/\text{с}$ ):

$$M = \pi D l b n \mu \quad (3)$$

де  $\mu$  – поправний коефіцієнт, що враховує нерівномірність живлення дробарки (для зерна  $\mu = 0,5-0,7$ ).

Якщо валки обертаються з різною частотою, то продуктивність їх визначають за середньої частоти обертання.

Для дрібного і тонкого подрібнювання (помелу) зерна, цукру, солі, солоду, сухих плодів і картоплі в харчовій промисловості використовують машини, в яких процес подрібнювання здійснюється розбиванням. До цієї групи відносяться молоткові дробарки і дезінтегратори (рис. 2).

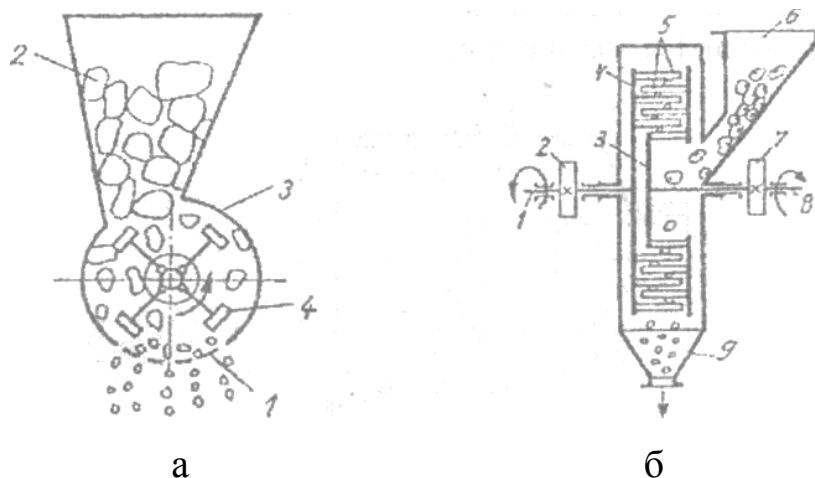


Рис 2. Схеми дробарок ударної дії:  
а – молоткової; б – дезінтегратора



У молотковій дробарці (рис. 2, а) сировина 2 подрібнюється від ударів молотків 4, які обертаються, а також внаслідок ударів матеріалу по ребристій поверхні стінок корпусу 3. Матеріал вивантажують крізь сито 1, величина отворів якого визначає ступінь подрібнювання матеріалу. Ступінь подрібнювання матеріалу залежить від швидкості обертання молотків. Колова швидкість на кінцях молотків дробарки під час подрібнювання зерна становить 70-90 м/с.

Дезінтегратори належать до дробарок, подрібнювання в яких ґрунтується на принципі вільного удару. Дезінтегратор (рис. 2, б) має два диски 3 і 4, кожен з яких дістає рух від окремих приводних валів 1 і 8. Вали обертаються у протилежних напрямках від шківів 2 і 7. На дисках по концентричних колах закріплені пальці 5. Ряди пальців одного диска проходять між рядами пальців другого. Матеріал надходить у дробарку через бункер б і подрібнюється ударами пальців дисків, що швидко обертаються. Подрібнений матеріал вивантажується крізь люк 9 у нижній частині корпусу. Швидкість обертання дисків 200-3000 об/хв. Дезінтегратори мають високу продуктивність, що досягає 0,6 кг/с. Переваги дезінтеграторів: простота пристрою, високі продуктивність і ступінь подрібнювання, надійність у роботі. Недоліки: підвищене спрацювання пальців, значне пилоутворення, великі витрати енергії.

Барабанні млини (рис. 3) широко використовують для тонкого помелу матеріалів у багатотоннажних виробництвах. Робочими елементами цих млинів є захищений броньованими плитами барабан 2 і завантажені в нього подрібнювальні тіла 1 (фарфорові або сталеві кулі, стрижні, морська галька і т.п.).

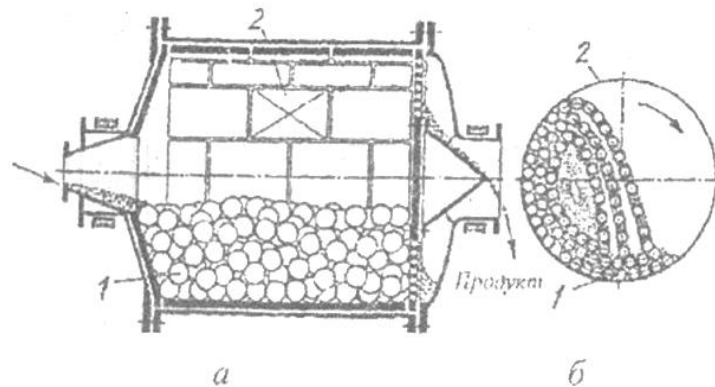


Рис. 3 Схема барабанного млина:  
а – загальний вигляд; б – переміщення кулі

Під час обертання барабана подрібнювальні тіла відцентровою силою притискуються до його стінки, піднімаються на деяку висоту, а потім під дією сили тяжіння падають або скочуються вниз. Матеріал, який знаходиться в барабані, подрібнюється шляхом розтирання і удару. Подається матеріал у млин і виводиться з нього крізь порожнисті цапфи барабана. Переміщується матеріал під дією різниці його рівнів на вході і виході, а також під дією обертання барабана. Чим вища швидкість обертання барабана, тим більша відцентрова сила і, отже, на більшу висоту

піднімуться подрібнювальні тіла (кулі, стержні, галька). Відцентрова сила може вирости із збільшенням частоти обертання настільки, що її величина перевищить силу тяжіння подрібнювальних тіл. Останні будуть обертатися разом з барабаном, не здійснюючи корисної роботи подрібнювання.

Щоб куля з масою  $m$  не оберталася разом з барабаном, а падала на подрібнювальний продукт, її сила тяжіння  $G$  повинна бути більшою від відцентрової сили  $P$ , тобто  $G > P$ :

$$\text{або} \quad mg > m\omega^2 R, \quad (4)$$

де  $m$  – маса подрібнювального тіла (кулі), кг;  $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана, 1/с;  $R$  – радіус барабана, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Якщо  $R=D/2$ , а  $\omega=\pi n/30$  де  $n$  – частота обертання барабана за 1 хв., то

$$mg > m(\pi n/30)^2 (D/2).$$

Звідси знайдемо частоту обертання барабана за 1 хв. (приймаючи  $\pi^2 \approx g$ ).

$$n < 42,4/\sqrt{D}. \quad (5)$$

Практично беруть  $n = 32/\sqrt{D}$  об/хв., або  $n = 0,54/\sqrt{D}$  об/с.

На рівномірність подрібнювання сировини в барабанному млині впливає ступінь заповнення барабана кулями, а також їхній розмір. Барабан звичайно заповнюється кулями не більше ніж на 30-35% його об'єму.

Принцип дії вібраційного млина відзначається тим, що за допомогою спеціального устрою-вібратора, який знаходиться на одній осі з електродвигуном, барабан з кулями вібрує, а не обертається, як у барабанному млині. При цьому кулі, які знаходяться в барабані, завдяки сильній трясці розбивають шматки подрібнювального матеріалу.

У практиці досить часто використовують також комбіновані подрібнювачі. Прикладом такої машини є комбінований млин (рис. 4), який використовують у кондитерському виробництві для тонкого подрібнювання горіхів та крупки.

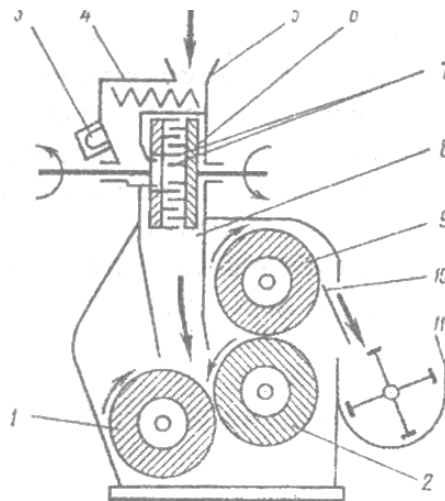


Рис. 4. Схема комбінованого млина

Млин відносишся до обладнання ударної та розтирально-роздавлювальної дії. Він обладнаний дезінтегратором і трьома валками, які змонтовані на загальній станині. У дезінтеграторі відбувається попереднє грубе подрібнювання продукту, а валки забезпечують його остаточне тонке подрібнювання. Із бункера 5 шнековий дозатор 4 забезпечує рівномірну подачу продукту на дроблення. Пройшовши магніт 3, продукт попадає на дезінтегратор 6 з пальцями 7, а з останнього – через патрубок 8 у зазор між валками 1 і 2. Валок 2 обертається швидше, чим валок 1, тому подрібнювана маса, пройшовши зазор між ними, переходить на валок 2. Над валком 2 розміщений валок 9, який обертається швидше від валка 2. Завдяки тому, що зазор між валками становить 50-100 мкм, за різної частоти обертання досягається ефект роздавлювання частинок та їх розтирання. Тонкоподрібнена маса знімається з валка 9 ножем 10, по якому вона стікає в лопатевий змішувач 11. Регулювання зазорів між валками здійснюється за допомогою індивідуальної гідравлічної системи.

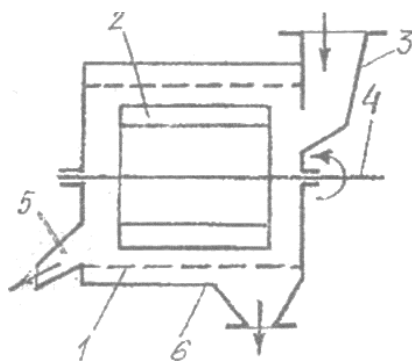


Рис. 5. Схема протиральної машини

Усі розглянуті апарати призначені для подрібнювання твердих матеріалів і продуктів. Однак у харчовій промисловості та ресторанному господарстві часто виникає необхідність подрібнити сировину і продукти, які складаються з твердих і м'яких компонентів. Це м'ясо-кісткова та рибна сировина, овочі, ягоди та фрукти для виготовлення з них паст і пюре, бульби картоплі подрібнені в кашку у виробництві крохмалю. Наприклад, у консервному виробництві використовуються протиральні машини, робота яких полягає у відокремленні подрібненої маси овочевої та плодово-ягідної сировини від насіння, камер насінного гнізда і шкірки.

На рис. 5 показано схему протиральної машини, основними робочими елементами якої є нерухоме циліндричне металеве сито 1 і розміщені в ньому лопаті – біла 2, які обертаються на валу 4. Плоди кісточкових культур протирають на протиральних машинах з білами із дроту чи з гумовими накладними білами. Сировина з бункера 3 подається в циліндричне сито 1. Відцентровою силою, яка виникає під час обертання бил, продукт притискується до сита. Під впливом бил відбувається роздавлювання, розтирання продукту та продавлювання м'якоті через сітчасті стінки сита 1. Подрібнена маса продукту збирається в збірнику 6. Біла встановлюються під невеликим кутом (1–3°) до осі циліндричного

сита, внаслідок чого шкірка й насіння, які не пройшли через сито, переміщуються вздовж циліндра і вивантажуються через розвантажувальний патрубок 5.

Процес подрібнювання – один з основних етапів технології виробництва картопляного крохмалю. Від якості подрібнювання сировини залежить вихід крохмальних зерен, які містяться в клітинах картоплі. Для подрібнювання бульб картоплі в кашоподібну масу використовують терочну барабанну машину.

У харчовій технології має місце також процес шліфування – видалення відносно тонких поверхневих шарів матеріалу із зернистих або штучних твердих продуктів округлої форми: коренеплодів, зерна, зернових крупок тощо. Для цього використовують машини з абразивними поверхнями, які обертаються і знімають тонку шкурку з поверхонь коренеплодів або зерен. Зняте лушпиння відводиться з машин водою або повітрям. Варіанти конструктивного оформлення подібних машин різноманітні і розглядаються в спеціальних роботах.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

### Порівняння машин для подрібнювання

№	Машина	Схематичне зображення
1	Валкова дробарка	
2	Молоткова дробарка	
3	Дезінтегратор	
4	Барабанний млин	
5	Комбінований млин	
6	Фільтруюча центрифуга	
7	Протиральна машина	

3. Визначити частоту та швидкість обертання валків валкової дробарки, якщо діаметр валків  $D = 0,25$  м, об'ємна маса подрібненого проса  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup> коефіцієнт тертя його об валок  $f = 0,28$  і розмір зерен  $d = 3,5$  мм.

Частоту обертання валків визначають за формулою:

$$n = 616 \cdot \varphi / (\rho d D).$$

Колова швидкість обертання валків обчислюють за формулою:

$$\omega = \pi D n / 60.$$

4. Знайти відповіді на такі питання:

1. Назвіть процеси дроблення залежно від ступеня подрібнювання.
2. Чим характеризується тонке і надтонке подрібнювання?
3. Назвіть сферу застосування молоткових дробарок.
4. Які машини застосовують: а) для подрібнювання і помелу зерна; б) для різання овочів та фруктів?
5. Які основні умови роботи валкових дробарок, вплив кута захоплення?
6. Класифікація машин для подрібнювання.
7. Дробарки, які застосовуються при крупному подрібнюванні. Будова, робота, переваги та недоліки.
8. Дробарки, які застосовуються для середнього подрібнювання. Будова, робота, переваги, недоліки. Розрахункові формули для визначення продуктивності.
9. Дробарки, які застосовуються для тонкого подрібнювання. Будова, робота, переваги і недоліки.
10. Які вимоги пред'являють до подрібнювачів? Класифікація методів подрібнювання і дробильних машин.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

**Тема:** Вивчення різальних машин

**Мета:** оволодіння знаннями про різальні машини: види ножів та способи різання; класифікація різальних машин.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми різальних машин, презентації.

### Теоретичні відомості

Процеси різання застосовують у консервному, цукробуряковому, м'ясопереробному, хлібопекарному, кондитерському та інших виробництвах. Різання надає сировині певної форми, розмірів та необхідної якості поверхні. Робочим органом у різальних машинах є ніж.

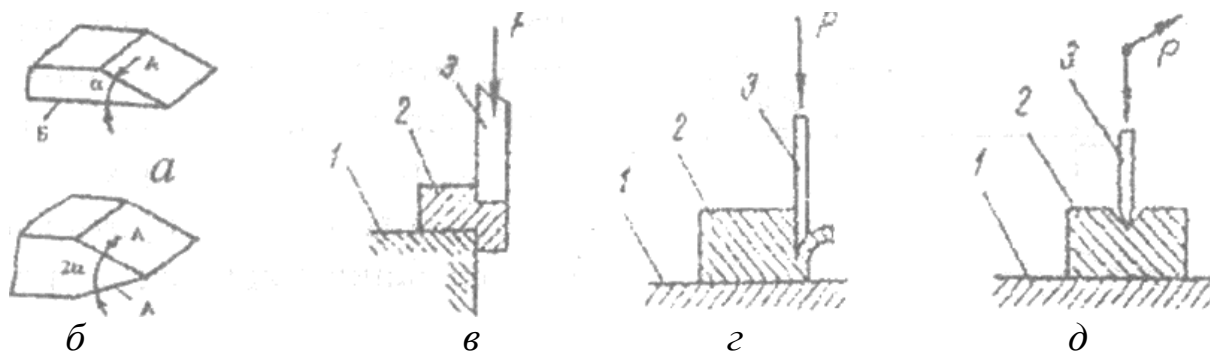


Рис. 1. Види ножів та способів різання

Ножі (рис. 1) мають форму двогранного одностороннього або двостороннього клина. Грань А одностороннього клина є робочою, або лицевою. Плоска грань Б називається опорною (рис. 1, а). У двосторонньому клині (рис. 1, б) обидві грані робочі. Лінія перетину граней називається ріжучим (робочим) пругом або лезом. Кут  $\alpha$  і  $2\alpha$  між гранями називається кутом загострення. Різання за допомогою ножів часто називають різанням лезом. Якщо ріжучий пруг ножа має зубчасту форму, ножі називають пилками.

Різання можна поділити на три основні види: різання пуансоном (рис. 1 в), різання різцем (плоским клином, рис. 1, з), різання ножем (рис. 1, д). Пуансон 3 під дією сили  $P$ , яка направлена перпендикулярно своїй робочій грані, зрізає матеріал 2, що знаходиться на матриці 1. За його допомогою ріжуть в основному тверді харчові продукти, наприклад овочі. Різец 3 (рис. 1, з) і ніж (рис. 1, д) діють на матеріал 2, що знаходиться на опорній плиті 1, як клини. За їх допомогою ріжуть тверді, пластичні і м'які харчові продукти: м'ясо, рибу, хліб, овочі тощо.

Залежно від форми і конструкції різального інструменту різальні машини поділяють на три групи:

- з дисковими ножами;
- з фігурними ножами (серпоподібними, прямокутними та ін.);
- з комбінованими ножами, які розрізують продукт у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Ножам у різальних машинах надають обертового, поступального, поворотно-поступального, планетарного і віброуючого руху. Є різальні машини, в яких ножі нерухомі.

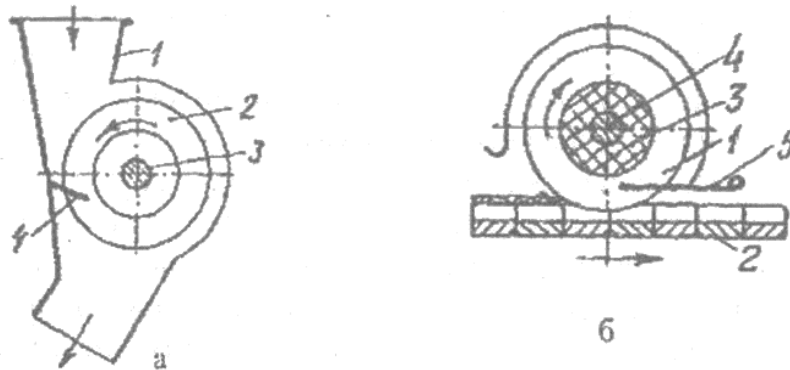


Рис. 2. Схеми багатодискових різальних машин

Залежно від напрямку відносного переміщення ножа і продукту подрібнювання поділяється на рубку та різку. Під час рубки різальний інструмент переміщується відносно продукту перпендикулярно ріжучому пругу (лезу), під час різки – під гострим кутом до ріжучого пруга. Звісно, під час різки на відміну від рубки для здійснення процесу потрібні менші зусилля за кращої якості поверхні розрізу.

Найбільшого поширення в харчовій промисловості набули дискові і відцентрові різальні машини, а також вовчки та кутери; вони мають декілька різновидів.

На рис. 2 зображено дві схеми багатодискових різальних машин.

М'ясорізка (рис. 2, а) використовується для розрізування шматків м'яса на смуги певної ширини. У корпусі 1 із завантажувальним бункером змонтовані вал 3 з дисковими ножами 2 і напрямний гребінець 4. Дискові ножі закріплені на валу 3 з проміжними шайбами між ними.

У машині для різання цукеркових пластів (рис. 2, б) ножі являють собою диски 1 товщиною 1-3 мм із інструментальної легованої сталі. Вони надіті на сталевий вал 4, між ножами є текстолітові втулки 3. Мінняючи втулки 3, регулюють ширину смуги, що відрізається. Цукеркова маса з малим вмістом жиру прилипає до ножів. Гребінка 5 не дає змоги цукерковій смузі рухатися разом з ножами.

Продуктивність (у кг/год.) різальних машин з дисковими ножами для виробів у вигляді смуги визначається за формулою:

$$M = 3600 h l v \mu (z-1), \quad (1)$$

де  $l$  – ширина щілини між дисками, м;  $h$  – висота шару продукту, що розрізається, м;  $v$  – лінійна швидкість подачі продукту (шару чи смуги), м/с;

$\rho$  – густина продукту,  $\text{кг/м}^3$ ;  $z$  – кількість ножів на валу;  $\mu$  – коефіцієнт, який враховує кількість відходів та використання максимальної продуктивності різального механізму.

Дискова овочерізка (рис. 3) працює так. Корпус 4 овочерізки має форму колового клина. Сировина подається в робочу зону бункера 5 і при обертанні диска 2 під дією відцентрової сили заклинюється між корпусом 4 і диском 2. Лезо ножа 1, що закріплений на диску, зрізає шар матеріалу 6. Нарізані овочі вивантажуються через лоток 1.

Кутери використовують для тонкого подрібнювання м'ясних продуктів до однорідної гомогенної маси (рис. 4). Їх в основному застосовують для приготування фаршу ковбасних виробів. Кутер має чашу 1, що повільно обертається на вертикальному валу 4. М'ясо в чаші подрібнюється серпоподібними ножами 2, що закріплені на горизонтальному валу і швидко обертаються. Вони рухаються дотично до поверхні чаші.

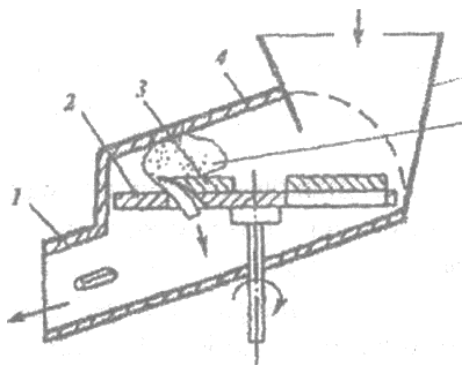


Рис. 3. Схема дискової овочерізки

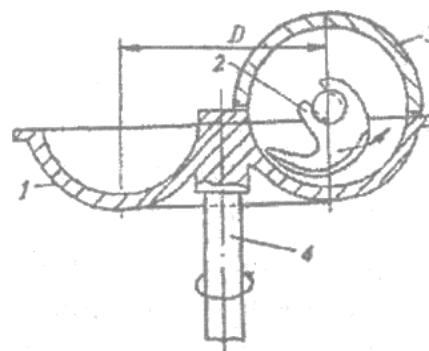


Рис. 4. Схема кутера

При високій частоті обертання ( $n = 500\text{--}3000 \text{ хв.}^{-1}$ ) ножі забезпечують високу швидкість різання із зісковзуванням. Ножів установлюють від трьох до 12. У місці їх установлення (в зоні подрібнювання) чашу закривають кришкою 3. Кутери можуть працювати під вакуумом.

Для тонкого подрібнювання м'яса, риби, хліба, картоплі та інших продуктів використовують також різальний механізм типу вовчка, але з вищою частотою обертання ножа ( $n = 3000 \text{ хв.}^{-1}$ ). Конструкція вовчка скопійована з побутової м'ясорубки; при цьому збільшені геометричні розміри робочих органів та передбачена механізована подача сировини.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.



**Порівняння різних типів різальних машин**

№	Різальні машини	Схематичне зображення
1	Багатодискова різальна машина (м'ясорізка)	
2	Машини для різання цукеркових пластів	
3	Дискова овочерізка	
4	Кутери	

3. Визначити продуктивність центробіжної різки, якщо довжина ріжучої кромки ножа  $L = 0,165$  м, середня товщина стружки  $\sigma = 1$  мм, кількість ножів  $z = 24$ , швидкість різання  $\omega_p = 8$  м/с, густина буряка  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>, кутова швидкість обертання ротора  $\omega = 12$  рад/с, конструктивний коефіцієнт, який враховує ступінь використання ножів у різці  $K_2 = 0,9$ .

Для визначення продуктивності різки, необхідно розрахувати величину коефіцієнта  $K_1$  за формулою:

$$K_1 = 1,38 \cdot 10^{-5} \omega^{3,4} + 0,56.$$

Продуктивності різки визначають за формулою:

$$G = L \sigma z \omega_p K_1 K_2$$

4. Знайти відповіді на такі питання:

1. Які процеси відносяться до подрібнювання та різання? Способи подрібнювання матеріалів.
2. Види ножів та способів різання.
3. Поділ різальних машин залежно від форми і конструкції різального інструменту.
4. Чим відрізняється процес рубки та різки?
5. Як визначити ступінь подрібнювання?
6. Робочі органи різальних машин.
7. Як визначити продуктивність різальних машин?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

**Тема:** *Вивчення машин для сортування*

**Мета:** оволодіння знаннями про процес сортування та вивчення машин для сортування.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми машин для сортування, презентації.

### Теоретичні відомості

*Сортуванням* називається процес розділення матеріалів по групах (класах) відповідно до їх розмірів, форми та інших властивостей. Інколи цей термін замінюють словами класифікація або сепарація.

При цьому переслідують в основному дві мети:

- 1) одержання фракцій певної крупності або густини;
- 2) виділення з матеріалів забруднюючих їх домішок (пилу, піску, каменів, металевих предметів та ін.)

Процес сортування широко використовується в зернопереробній промисловості, на хлібозаводах, кондитерських, консервних, харчо-концентратних та інших підприємствах.

У харчовій промисловості використовуються такі способи сортування: за розміром, формою, густиною, магнітними та електростатичними властивостями частинок. Сортування за розміром частинок називається просіюванням або грохоченням; а машини, які використовуються для цього процесу, – розсівами або грохотами. Термін «грохочення» і «грохот» використовують при розділенні крупнозернистих і шматкових матеріалів, «розсів» і «сита» – при розділенні дрібнозернистих сипких матеріалів.

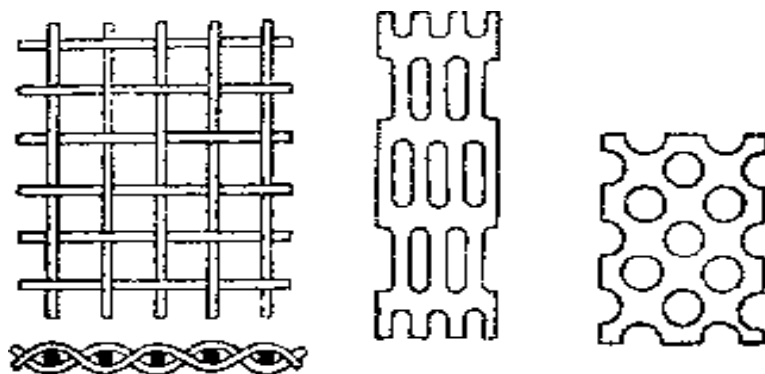


Рис. 1. Сита: а – плетені; б – штамповані

Основним елементом цих машин є пристрій для просіювання, до яких відносяться: металеві (дротяні) і неметалеві (шовкові, поліамідні, капронові) плетені сита, а також решета з металевих чи полімерних листів із штампованими круглими або продовгуватими отворами (рис. 1).

Плетені сита мають квадратні або прямокутні отвори шириною 10–0,15 мм. Кожне сито характеризується живим перерізом і номером. Живий переріз сита – це відношення площі всіх його отворів до загальної площі, виражене у відсотках. Відзначимо, що живий переріз штампованих сит не перевищує 50%, у плетених воно може досягати 70%.

Обов'язковою умовою просіювання є відносне переміщення частинок по поверхні сита. При цьому частини, розмір яких менше від розміру отворів, під дією сили тяжіння провалюються крізь сито. Ця частина продукту називається проходом, друга частина, яка не пройшла через сито, – сходом. На якісну сторону цього процесу впливають товщина шару сипкого матеріалу на ситі, форма й розмір отворів і частинок, швидкість переміщення матеріалу та його вологість.

Переміщення частинок продукту відносно поверхні сит створюється зворотно-поступальним, круговим поступальним і вібраційним рухом плоских сит, а також обертальним рухом барабанних сит. На рис. 2 представлено принципові схеми основних типів машин для просіювання. Плоскі сита (рис. 2, а) можуть бути як горизонтальні, так і нахилені.

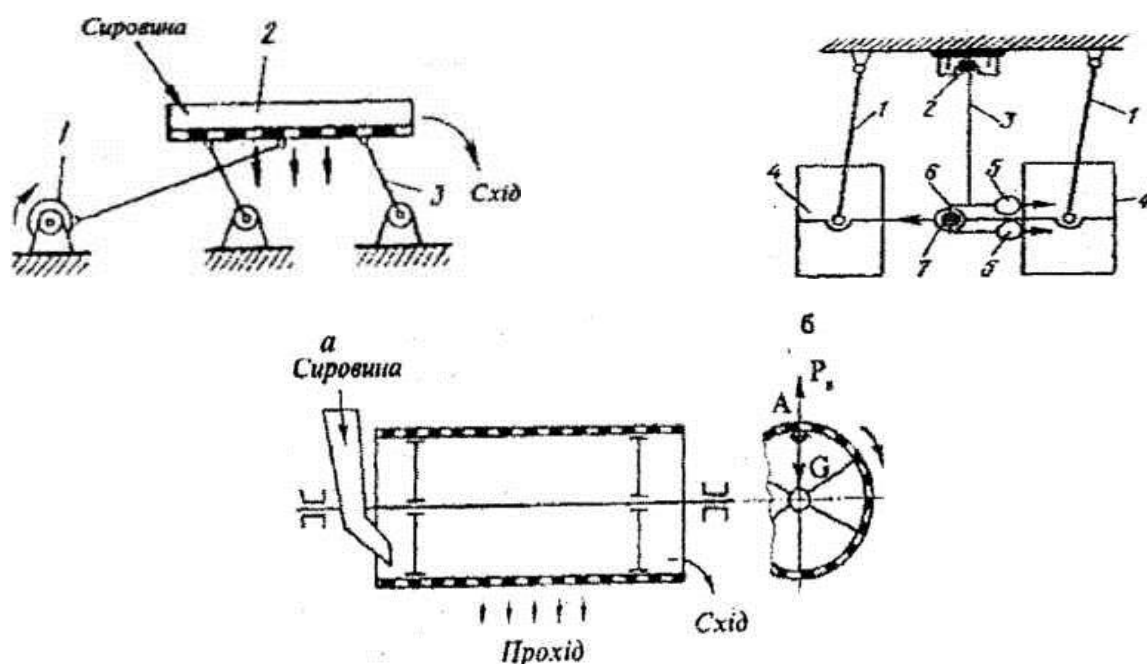


Рис. 2. Схеми машин для просіювання

Зворотно-поступальний рух сит 2, які встановлені на опорах 3, здійснюється кривошипно-шатунним або ексцентриковим механізмом 1. Для того щоб частинка переміщувалась по ситі, привідний вал повинен мати визначену частоту обертання. На борошномельних, крохмало-паточних та інших підприємствах для сортування продуктів помелу використовують машини з круговим поступальним рухом сит – розсіві (рис. 2, б).

Сита в розсівах здійснюють кругові рухи, але не обертаються навколо вертикальної осі, а переміщуються по колу. Схоже рухається сито в руках хазяйки, яка просіює борошно. Звичайно розсів складається з двох або чотирьох корпусів 4, в кожному з яких розміщено від 12 до 20 встановлених одне над одним горизонтальних сит різних номерів, що дозволяє розділити продукт на декілька (до семи) фракцій. Корпуси жорстко зв'язані між собою і за допомогою тросів 1 підвішені до несучої конструкції міжповерхового перекриття. Привідний механізм розсівів складається з головного вала 3 і балансирного вала 6 з балансирами 5, які зрівноважують сили інерції корпусів під час роботи. Вся привідна система підвішена в підшипнику 2. Осі головного і балансирного валів ексцентричні. Балансирний вал обертається в підшипниках 7, які жорстко закріплені на рамі ситових корпусів.

Бурати – машини із ситами, які обертаються, мають барабани циліндричної, шестигранної або конічної форми (рис. 2, в). Робочу поверхню барабана виконано із сит з отворами різної величини. Вісь циліндричного і шестигранного буратів зазвичай розмішують під кутом 5-10° до горизонту, а конічного – горизонтально. При обертанні барабана матеріал під дією сили тяжіння переміщується вздовж сита. Прохід зсипається в приймальний короб, який знаходиться під барабаном, а крупні частинки (відділені домішки) проходять усю довжину барабана і сходять з нього, перевалюючись через край.

Чим більша частота обертання барабана, тим більша продуктивність бурата. Однак із збільшенням частоти обертання зростає відцентрова сила, яка притискує матеріал до внутрішньої поверхні барабана. При визначеній частоті обертання матеріал може так притиснутися до стінок барабана, що почне обертатися разом з ним, не переміщуючись уздовж сита.

Межова частота обертання барабана визначається за умови: відцентрова сила  $P$ , діюча на частинки, повинна бути меншою їх сили тяжіння  $G$  (рис. 3, в), тобто

$$P < G.$$

Виражаючи ці сили через масу матеріалу  $m$  і відповідне прискорення, одержимо:

$$m\omega^2 r < mg, \quad (1)$$

де  $r$  – радіус барабана, м;  $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана, 1/с.

Якщо  $\omega = 2\pi n$ , де  $n$  – частота обертання барабана (1/с), а  $g \sim \pi$ , то

$$n < 0,5 \sqrt{r}. \quad (2)$$

Для того щоб під час обертання барабана частинки піднімались приблизно на половину його висоти, та робочу частоту обертання приймають рівною половині розрахованої за формулою (3), тобто:

$$n_p < 0,25 \sqrt{r}. \quad (3)$$

Основний недолік буратів – невелика продуктивність у зв'язку з тим, що в роботі бере участь тільки частина їхньої ситової поверхні.

*Сортування за формою частинок.* Цей спосіб сортування широко використовується на борошномельних підприємствах для очищення зерна від сміття і різних домішок, які мають такі самі, як і зерно, розміри в поперечному перетині, але відрізняються більшою чи меншою довжиною.

На рис. 3 зображено принципову схему барабанного трієра, який використовують для сортування за формою частинок.

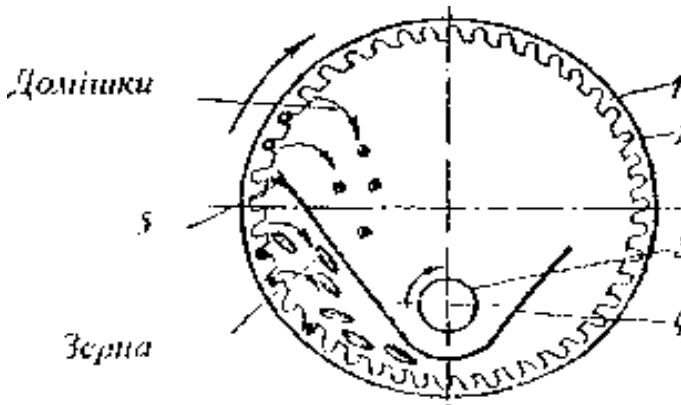


Рис. 3. Схема барабанного трієра

Внутрішня поверхня барабана 1, що обертається, має виштамповані заглиблення 2. Їхні розміри і форма відповідають розмірам домішок (зерен бур'яну), для виділення яких призначений цей трієр. Зерно, що поступає до барабана з домішками, під час обертання укладається в заглиблення, причому домішки й половинки укладаються глибше, ніж цілі зерна.

Тому під час обертання барабана кондиційні зерна випадають із заглиблень раніше (затримуються скребком 5) і попадають знову на дно барабана, а домішки і половинки піднімаються вище, випадають із заглиблень у жолоб 4 і виводяться із трієра за допомогою шнека 3. Завдяки обертовому руху відсортоване зерно переміщується по барабану до протилежного кінця і відводиться через бічні отвори.

Трієри бувають барабанні та дискові, тихохідні (10–20 об/хв) і швидкохідні (40–50 об/хв). Частоту обертання барабана трієра визначають за формулою (3).

*Сортування за густиною частинок* (швидкістю осадження у воді і повітрі). До числа повітряних сепараторів відноситься віялка, схему якої представлено на рис. 4.

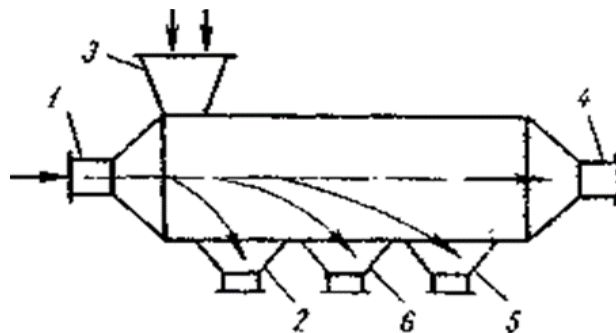


Рис. 4. Схема віялки

Назустріч зерновій суміші, яка поступає із завантажувального бункера 3, вентилятором через патрубок 7 спрямовується струмінь повітря. Важкі частинки осідають у бункері 2, який розміщений ближче до завантажувального отвору 3. Більш легкі частинки (оболонки зерна) зі струменем повітря рухаються далі й осідають у наступних бункерах 6 і 5, які знаходяться від завантажувального отвору на більшій відстані. Отже, в кожному з бункерів збираються фракції продуктів помелу з відповідною густиною. Через патрубок 4 повітрям виноситься найлегша фракція суміші.

Прикладом сортування у відцентровому полі може бути дисковий сепаратор, схему якого наведено на рис. 5.

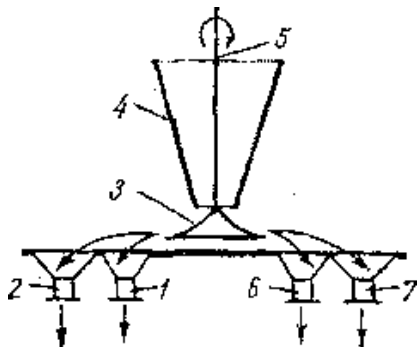


Рис. 5 Схема дискового сепаратора

Матеріал, призначений для сортування, через завантажувальний бункер 4 подається на швидкообертуючий диск 3 з приводним валом 5.

На диску 3 частинки суміші набувають відцентрової сили і під її впливом злітають з диска. Залежно від густини та розмірів частинок відцентрова сила, що впливає на них, різна. Тому частинки з меншою густиною або розміром подають у збірники 1 і 6, які мають більшу густину або більший розмір, летять далі (до збірників 2 і 7). До відцентрових сепараторів відносяться і апарати циклонного типу.

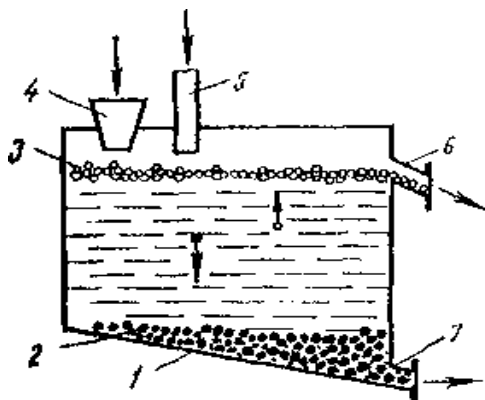


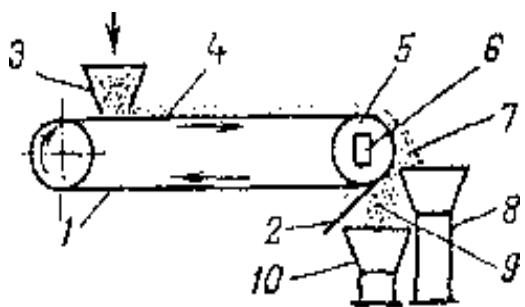
Рис. 6. Схема гідравлічного сепаратора

Гідравлічні сепаратори широко використовуються в спиртовому, бурякоцукровому та крохмале-патоковому виробництвах для виділення піску, каменів та інших домішок із картоплі, буряків, кукурудзяних зерен, у консервному виробництві – для сортування зеленого горошку і зерен кукурудзи, які, залежно від ступеня зрілості, мають різну густину. Схему гідравлічного сепаратора – відстійника для сортування зеленого горошку, представлено на рис. 6.

Гідравлічний сепаратор – це ємність 1 із завантажувальним бункером 4 і патрубками: для подавання розчину 5, вивантаження легкої фракції 6, вивантаження важкої фракції 7.

Горошок молочний (консервної зрілості) з густиною близько  $1020 \text{ кг/м}^3$  спливає вгору у розчині  $\text{NaCl}$  густиною майже  $1075 \text{ кг/м}^3$  а горошок перезрілий 2, який має більшу густину, осідає в нижній частині апарата. Час перебування суміші горошку в сепараторі – не менше ніж 15 с. Потім потоки перезрілого і зеленого горошку направляються на ситові барабани, де від них відокремлюються розчин і дрібні домішки.

*Сортування за магнітними та електростатичними властивостями.*  
 У сипких матеріалах трапляються випадкові домішки у вигляді сталевих і чавунних частинок, які під час попадання до машин можуть спричинити



*Рис. 7. Схема барабанного електромагнітного сепаратора*

поломку робочих органів. Тому виділенню металевих домішок у виробництві надається особлива увага. Для цього використовують магнітні та електромагнітні сепаратори. Електромагнітний сепаратор (рис. 7) є одночасно і основним барабаном 5 стрічкового транспортера 1, який переміщує сипкий матеріал 4 (наприклад, цукор, зерно та ін.) з бункера 3. В середині основного барабана розміщено електромагніт 6, який використовує постійний струм. Стрічка транспортера обгинає цей барабан,

і металеві частинки затримуються на ній у зоні магнітного поля.

Продукт (цукор, зерно), який не має магнітних властивостей 7, відокремлюється від поверхні стрічки і зсипається до збірника 8.

Металеві частинки 9, які затримуються на стрічці в зоні впливу магніта, після виходу з неї знімаються з нижньої гілки стрічки скребком 2 і падають до бункера 10.

Крім електромагнітних сепараторів, використовуються й сепаратори з постійними магнітами. Проте з часом підйомна сила постійних магнітів слабшає, тому більш надійними в роботі є електромагнітні сепаратори.

Останнім часом розроблено метод електрокласифікації сипких матеріалів. Сипкі матеріали в електричному полі високої напруги можна класифікувати (сортувати) за формою частинок, їх розмірами, густиною сортового матеріалу, різницею діелектричної проникності тощо.

### **Завдання**

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

*Таблиця 1*

### **Порівняння різних типів машин для просіювання та сортування**

№	Машини	Схематичне зображення
1	Машини для просіювання (плоскі сита, розсів, бурати)	
2	Барабанний трієр	
3	Повітряний сепаратор (віялка)	
4	Дисковий сепаратор	
5	Гідравлічний сепаратор	
6	Барабанний електромагнітний сепаратор	

3. Визначити продуктивність вібраційного грохоту із ситами розміром 650 x 815 мм і отворами діаметром  $d = 4$  мм, якщо вміст фракції, що виділяється в суміші  $a = 25\%$ -, вміст в отриманій фракції зерен діаметром менше половини діаметра отвору сита  $v = 5\%$  , амплітуда коливань  $A=0,005$  м і об'ємна маса суміші  $\rho = 750$  кг/м<sup>3</sup>.

Для визначення продуктивності різки, необхідно розрахувати величину коефіцієнта  $K_1$  за формулою:

$$K_1 = 1,38 - 10^{-5} \omega^{3,4} + 0,56.$$

Продуктивність визначають за формулою:

$$G = 0,28 - 10^{-3} AF (55 + a) (60 + v) \rho \sqrt{d}.$$

4. Знайти відповіді на питання:

1. Назвіть відомі вам способи сортування зерна?
2. Які сита використовують у харчовій промисловості?
3. Як оцінити ефективність просіювання?
4. Поясніть принцип роботи трієра.
5. Як відокремлюють металеві домішки?
6. У яких випадках застосовують гідравлічне сортування?
7. Як визначається якість змішування сипких матеріалів?
8. Як визначається межева частота обертання барабана бурата?
9. Принцип дії повітряних сепараторів.





## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

**Тема:** *Вивчення теплообмінних апаратів*

**Мета:** засвоєння знань про класифікацію, конструкцію та розрахунок теплообмінників.

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми різних типів теплообмінників, презентації.

### Теоретичні відомості

*Теплообмінники* – це пристрої, в яких здійснюється теплообмін між середовищами, які гріють, і середовищами, які нагріваються. Для того щоб розібратися в різноманітті теплообмінників, їх класифікують за певними ознаками.

У теплообмінних апаратах здійснюються майже всі види теплових процесів, тому залежно від виконуваних функцій їх поділяють на такі основні групи: нагрівачі, випарники і кип'ятильники, холодильники і конденсатори, випарні апарати, пастеризатори, регенератори, деаератори та ін.

Залежно від виду робочих середовищ розрізняються теплообмінники:

– рідинно-рідинні – при теплообміні між двома рідкими середовищами;

– парорідинні – при теплообміні між паром і рідиною;

– газорідинні – при теплообміні між газом і рідиною.

За способом передачі теплоти розрізняються теплообмінники поверхневі і змішувальні.

У поверхневих теплообмінниках відбувається передача теплоти через поверхню нагрівання. У змішувальних теплообмінниках здійснюється обмін теплотою при безпосередньому змішуванні теплоносіїв. Поверхневі теплообмінники бувають рекуперативні та регенеративні.

У рекуператорах теплоносій і продукт, між якими відбувається теплообмін, знаходяться по різні боки стінки, що їх розділяє. В регенераторах одна й та же поверхня апарату омивається по чергово то теплоносієм, то продуктом. Ці теплообмінники в харчовій промисловості значного поширення не отримали. Тому далі під назвою «поверхневі теплообмінники» або просто «теплообмінники» будемо розуміти рекуперативні теплообмінники.

За тепловим режимом розрізняються теплообмінники періодичної дії, в яких спостерігається нестационарний тепловий процес, і безперервної дії з процесом, що встановився в часі.

За конфігурацією поверхні теплообміну розрізняються теплообмінники: трубчасті, пластинчасті, спіральні, оболонкові і з оребреною

поверхнею. Трубчасті теплообмінники, в свою чергу поділяються на кожухотрубні, змієвикові, типу «труба в трубі», елементні секційні, зрошувальні і комбіновані.

Окрім наведених основних класифікаційних ознак теплообмінних апаратів, їх можна класифікувати за додатковими ознаками. Так за напрямом руху робочих середовищ розрізняють теплообмінники прямоточні, протитечійні, з перехресною течією і зі змішаною течією; за числом ходів теплоносія розрізняють теплообмінники одноходові і багатходові; за жорсткістю конструкції – теплообмінники жорсткого, напівжорсткого і нежорсткого типу.

Кожухотрубні теплообмінники можуть бути виготовлені одно-, дво-, чотири-, шестиходовими по трубному просторі, з перегородками або без них у міжтрубному просторі.

### Конструкції теплообмінників

Теплообмінники із оболонками часто застосовуються для періодичного нагрівання або охолодження (наприклад, для підігрівання і уварювання кондитерських мас). Технологічний процес у них може здійснюватися під тиском (автоклави), розрідженням (вакуум-апарати) і при атмосферному тиску (варильні котли). Апарати мають циліндричні, сферичні або плоскі подвійні стінки, що утворюють герметично замкнутий простір – водну або парову оболонку. Для інтенсифікації теплообміну з боку продукту, що обробляється, апарати можуть обладнуватися механічними мішалками, а для вивантаження продукту – пристроєм для перевертання. Звичайно апарати з паровою оболонкою працюють під тиском, що не перевищує 0,5 МПа.

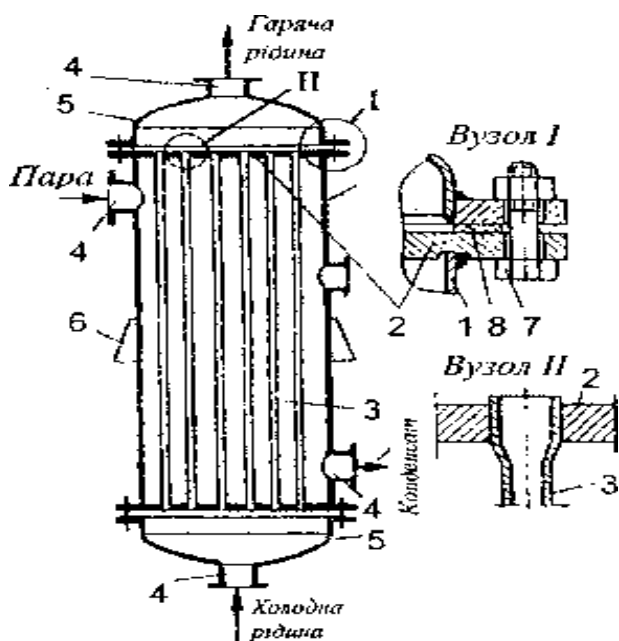


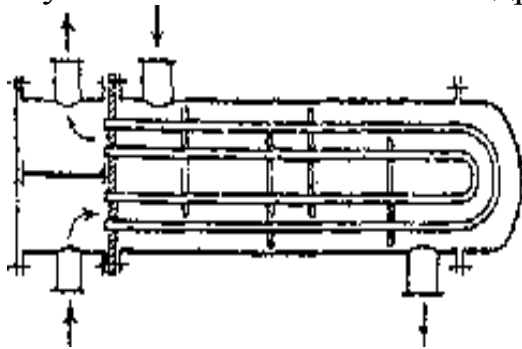
Рис. 1. Кожухотрубний теплообмінник

Кожухотрубні теплообмінники отримали в промисловості найбільше застосування завдяки своїй компактності, простоті у виготовленні та надійності в роботі. Вони використовуються для теплообміну між потоками в різноманітних агрегатних станах: пара-рідина, рідина-рідина, газ-газ, газ-рідина. На рис. 1 показано вертикальний одноходовий теплообмінник жорсткої конструкції, що складається з циліндричного корпусу (або кожуха) 1 і приварених до нього трубних решіток 2 з пучком труб 3.

Пучок труб ділить весь об'єм корпусу теплообмінника на трубний простір, укладений всередині гріючих труб, і міжтрубний. До корпусу

приєднані з допомогою болтового сполучення два днища 5. Для введення і виведення теплоносіїв корпус і днища мають патрубки 4. Один потік теплоносія, наприклад рідина, спрямовується в трубний простір, проходить по трубках і виходить з теплообмінника через патрубок у верхньому днищі. Інший потік теплоносія, наприклад пара, рухається у міжтрубному просторі теплообмінника, омиваючи ззовні пучок гріючих труб. При цьому середовище, що гріється, спрямовують знизу вгору, а середовище, що віддає теплоту, – в протилежному напрямі.

Гріючі труби з'єднуються з трубними решітками зварюванням, пайкою або розвальцьовані в ній. Гріючі труби виробляють зі сталі, міді або латуні. Труби в решітках звичайно розміщують рівномірно по периметрах правильних шестикутників, що забезпечує компактність розташування. Інколи труби розміщують по концентричних колах. За необхідності забезпечення очистки зовнішніх поверхонь труб застосовують коридорне розташування – по боках квадратів. Внаслідок великого сумарного



*Рис. 2. Багатоходовий кожухотрубний теплообмінник з U-подібними трубками*

прохідного перерізу труб і міжтрубного простору швидкості протікання теплоносіїв невеликі і коефіцієнти тепловіддачі в цьому теплообміннику порівняно низькі. Для збільшення швидкості протікання (інтенсифікації теплообміну) в трубному і міжтрубному просторах встановлюють перегородки, зменшуючи переріз потоку теплоносіїв. На рис. 2 подано

такий багатоходовий теплообмінник, що має два ходи по трубному простору і п'ять ходів по міжтрубному.

Кожухотрубні теплообмінники розташовуються вертикально або горизонтально. При різниці температур між теплоносіями понад 50°C за рахунок неоднакових температурних подовжень у зварювальних швах приєднання кожухів до трубних решіток, а також у місці приєднань труб у решітках виникають значні напруження, що можуть перевищити межу міцності матеріалу. В результаті з'являються нещільності, порушується герметичність. Для компенсації неоднакового подовження труб і корпусу апарата застосовують конструкції теплообмінників з лінзовими компенсаторами, з плаваючою голівкою, з U – подібними трубами (рис. 2), а також із сальниковими пристроями. Поверхня нагрівання кожухотрубних теплообмінників може становити до 1200 м<sup>2</sup> при довжині труб від 1 до 9 м; умовний тиск досягає 6,4 МПа.

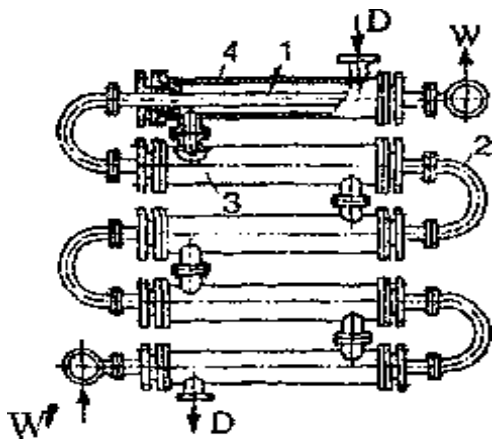


Рис. 3. Теплообмінник типу «труба в трубі»

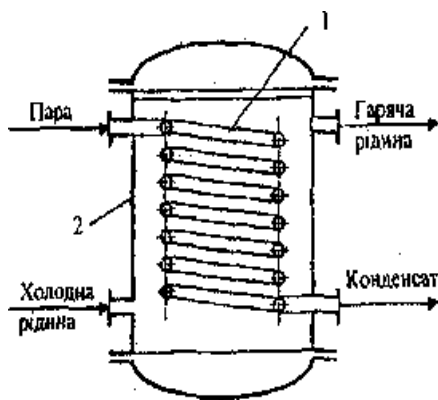


Рис. 4. Змійовиковий теплообмінник

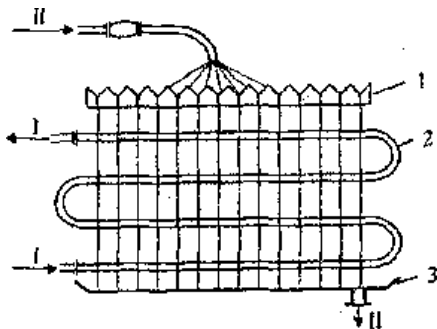


Рис. 5. Зрошувальний теплообмінник

*Елементні теплообмінники.* Найпростіший двотрубний теплообмінник типу «труба в трубі» (рис. 3) складається з двох труб: внутрішньої 1 меншого діаметра і зовнішньої 4 більшого діаметра. Звичайно з'єднують послідовно один з одним у батарею декілька таких простих теплообмінних елементів за допомогою фланцевих з'єднань 3 і колін 2. У двотрубних теплообмінниках можна створити високі швидкості теплоносія і продукту. У зв'язку з цим апарати характеризуються порівняно високим коефіцієнтом теплопередачі. Однак ці теплообмінники громіздкі і металомісткі.

*Змійовиковий теплообмінник.* Теплообмінний елемент – змійовик – це труба 1, зігнута будь-яким чином і поміщена в посудину 2. Змійовик занурено в рідину, що нагрівається або охолоджується теплоносієм, який рухається по змійовику (рис. 4). Змійовикові теплообмінники виготовляються з плоским змійовиком або зі змійовиком, зігнутим по гвинтовій лінії. У змійовиковому вакуум апараті для уварювання кондитерських мас по змійовику проходить продукт. Ці теплообмінники відрізняються простотою конструкції. Проте у них ускладнено очищення внутрішньої поверхні зігнутої труби, змійовик створює великий гідравлічний опір.

*Зрошувальний теплообмінник* – це змійовик 2 (рис. 5), зігнутий у вертикальній площині, розподільний жолоб з отворами 1 та піддон 3. Рідина з розподільного жолоба витікає на верхній виток, омиває зовнішню поверхню труб змійовика і стікає в піддон під змійовиком. Залежно від температури середовища, що протікає всередині змійовика, рідина, що омиває трубки, нагрівається або охолоджується.

Позитивна якість цих теплообмінників полягає в простоті обслуговування і невеликій витраті охолоджувального агента (води), що використовується багаторазово. Недоліки зрошувальних теплообмінників: громіздкість, значна металомісткість та низькі значення коефіцієнта теплопередачі. Застосовуються для охолодження пива, молока та інших рідин, у холодильній техніці – як конденсатор.

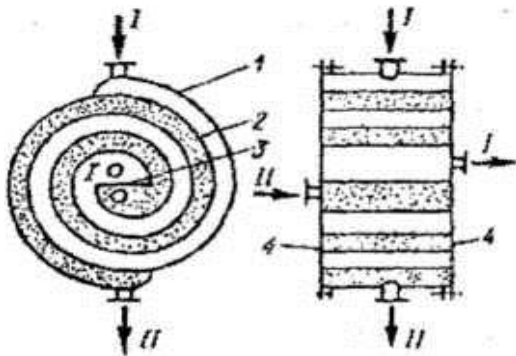


Рис. 6. Спіральний теплообмінник

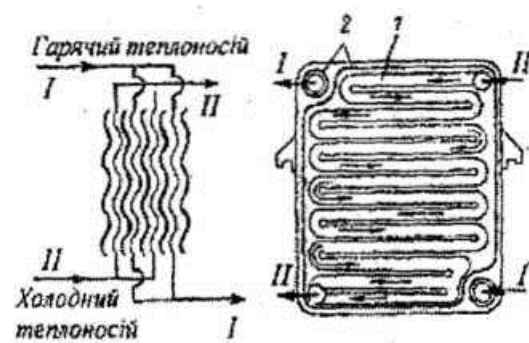


Рис. 7. Пластинчастий теплообмінник

У спіральному теплообміннику поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами 1 і 2, згорнутими у вигляді спіралі (рис. 6). Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки 3, а їхні зовнішні кінці зварені один з одним. Торці спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками 4. Біля зовнішніх кінців спіралей та в центрі кришки приварені патрубки для введення і виведення теплоносіїв. Спіральний теплообмінник має високий коефіцієнт теплопередачі, незначний гідравлічний опір і відзначається компактністю. Однак він складний у виготовленні і непридатний для роботи під тиском понад 1 МПа.

Пластинчасті теплообмінники широко застосовуються для охолодження і підігрівання різноманітних рідин (молока, соків, вина, пива та ін.) з робочими температурами до 300°C при тиску до 1,6 МПа (рис. 7). Теплообмінник складається з пакету гофрованих металевих пластин. Між пластинами утворюються герметичні канали 1, у яких здійснюється протитечна течія гарячого і холодного теплоносіїв. Пластини гофровані для того, щоб збільшити поверхню теплообміну і створити турбулентну течію рідини в вузьких каналах, відстань між якими дорівнює 3-10 мм. Пластини відокремлюються одна від одної прокладками 2 і мають два отвори по кутах для входу і виходу одного теплоносія, що циркулює в герметичному каналі. Через два інших кутових отвори в пластині втікає і витікає інший теплоносій. Пластини стягнуті зажимами.

Внаслідок високих швидкостей руху рідини між пластинами досягається високе значення коефіцієнта теплопередачі з малим гідравлічним опором.

Паралельне розташування плоских пластин з малими проміжками між ними дає змогу розмістити в просторі робочу поверхню теплообмінника

найбільш компактно, завдяки чому значно зменшуються габарити пластинчастого апарата порівняно з іншими типами рідинних теплообмінників. Наприклад, коефіцієнт компактності пластинчастих апаратів (відношення робочої поверхні до об'єму робочої зони) досягає  $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , що в 5-10 разів більше, ніж для трубчастих.

Відзначимо, що пластинчастий теплообмінник надає конструктору і виробникові великі можливості по здійсненню різноманітних компонуючих варіантів і легко припускає збільшення (або зменшення) робочої поверхні апарата, який знаходиться в експлуатації. Він припускає вільне внесення різноманітних коригувань у схемі руху потоків і дає змогу зосереджувати на одній станині теплообмінні секції різноманітного призначення для виконання в одному апараті усього комплексу операцій теплового оброблення продуктів, що є надзвичайно важливим фактором.

Випускаються різноманітні модифікації теплообмінників цього типу з пластинами зі сталі різних марок, алюмінію, титану та інших металів, розбірної та нерозбірної конструкції з поверхнями теплообміну від  $0,4$  до  $600 \text{ м}^2$ .

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

*Таблиця 1*

#### ***Порівняння різних типів теплообмінників***

№	Теплообмінний апарат	Схематичне зображення
1	Кожухотрубний теплообмінник	
2	Багатоходовий кожухотрубний теплообмінник	
3	Елементний теплообмінник	
4	Змійовиковий теплообмінник	
5	Зрошувальний теплообмінник	
6	Спиральний теплообмінник	
7	Пластинчастий теплообмінник	

3. Вивчити методику розрахунку теплообмінників.

Розрізняють два види розрахунку теплообмінників: проектний і перевірний. Проектний розрахунок виконується при проектуванні нового

теплообмінника, коли задано кількість продукту, що охолоджується або нагрівається, і його параметри. Мета проектного розрахунку – визначення необхідної поверхні теплообміну, витрати теплоносія або холодоагенту, конструктивних розмірів вибраного апарата, його гідравлічного опору та механічної міцності.

За допомогою перевірного розрахунку виявляють можливість використання наявних теплообмінників в умовах заданого процесу і визначають умови, що забезпечують оптимальний режим роботи апарата.

*Проектний розрахунок* включає вибір типу і конструкції теплообмінного апарата, тепловий, конструктивний, гідравлічний, механічний та техніко-економічний розрахунки.

*Тепловий розрахунок теплообмінників* полягає у визначенні необхідної поверхні теплообміну з основного рівняння теплопередачі:

$$S=Q / (K \Delta t_{\text{серед}}),$$

де  $Q$  – теплове навантаження теплообмінного апарата, Вт;  $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>-К);  $\Delta t_{\text{серед}}$  – середній температурний напір, °С.

Теплове навантаження теплообмінника визначають з рівняння теплового балансу. Рівняння теплового балансу в загальному вигляді без обліку втрат теплоти в довкілля (що звичайно не перевищують 5 %), виражається рівністю

$$Q = Q_{\text{прих}} = Q_{\text{вит}}, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{прих}}$  – кількість теплоти, відданої гарячим теплоносієм, Вт;  $Q_{\text{вит}}$  – кількість теплоти, одержаної холодним теплоносієм, Вт.

Залежно від конкретного процесу теплові баланси мають різний вигляд.

Як приклад розглянемо випадок, коли теплообмін протікає без зміни агрегатного стану теплоносіїв. Тоді

$$Q_{\text{прих}} = G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1к}); \quad (2)$$

$$Q_{\text{вит}} = G_2 c_2 (t_{2н} - t_{2к}) \quad (3)$$

де  $G_1$  – витрата гарячого теплоносія, кг/с;  $c_1$  – середня питома теплоємність гарячого теплоносія, Дж/(кг К);  $t_{1н}$  і  $t_{1к}$  – початкова і кінцева температури гарячого теплоносія, °С;  $G_2$  – витрата холодного теплоносія, кг/с;  $c_2$  – середня питома теплоємність холодного теплоносія, Дж/(кг К);  $t_{2н}$  і  $t_{2к}$  – температура холодного теплоносія на вході в апарат і на виході з нього, °С.

Таким чином, рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$G_1 c_1 (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}) \quad (4)$$

З рівняння (4) визначають витрату теплоносіїв або невідому температуру одного з теплоносіїв. Наприклад, якщо невідома витрата холодного теплоносія (для холодильників), вона визначається як:

$$G_2 = \frac{G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1k})}{c_2 (t_{2k} - t_{2n})} \quad (5)$$

За необхідності визначення кінцевої температури гарячого теплоносія, отримаємо:

$$t_{1k} = t_{1n} \frac{G_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n})}{G_1 c_1} \quad (6)$$

Величина середнього температурного напору в  $Q = KS (t_1 - t_4) \tau = KS \Delta t_{\text{серед}}$ .  $\tau$  залежить від схеми руху теплоносіїв уздовж поверхні теплообміну. Середній температурний напір під час прямого та протитечії, а також з постійною температурою одного з теплоносіїв визначається як середньологарифмічна різниця:

$$\Delta t_{\text{серед}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$$

де  $\Delta t_6, \Delta t_m$  більша і менша різниці температур між гарячим і холодним теплоносіями на кінцях теплообмінника.

Якщо  $\Delta t_6 / \Delta t_m < 2$ , то середній температурний напір визначається як середньоарифметична величина

$$\Delta t_{\text{серед}} = \frac{(\Delta t_6 + \Delta t_m)}{2}$$

4. Знайти відповіді на питання:

1. На які групи поділяють теплообмінні апарати?
2. Приклади використання кожухотрубних апаратів для теплообміну між двома рідинами.
3. Назвіть найбільш компактні теплообмінні апарати.
4. Що таке калорифери? Де їх застосовують?
5. З якою метою виконують повірочний розрахунок теплообмінника?
6. Мета гідравлічного розрахунку теплообмінника.





## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

**Тема:** *Вивчення випарних апаратів*

**Мета:** засвоєння знань про випарні апарати (з паровою оболонкою, з центральною циркуляційною трубою, апарат з винесеною гріючою камерою та роторно-плівкові випарні апарати).

**Матеріально-технічне забезпечення:** схеми різних типів випарних апаратів, презентації.

### Теоретичні відомості

*Випарні апарати* призначені для проведення процесів випарювання. Їх класифікують за певними ознаками: родом теплоносіїв або методом обігрівання; розташуванням і видом поверхні теплообміну (компоновці та конструкції поверхні нагрівання); розташуванням робочих середовищ; режимом і кратністю циркуляції розчину та ін.

Найбільше застосовуються випарні апарати з паровим обігріванням, тому що водяна пара характеризується високою теплотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі при конденсації; парове обігрівання характеризується гнучкістю регулювання.

*За розміщенням поверхні теплообміну* апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними та похилими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, змійовика, кільцевих елементів або у вигляді парової оболонки.

*За режимом руху киплячої рідини* випарні апарати бувають з вільною, природною, примусовою циркуляцією і плівкові. *За кратністю циркуляції* розрізняють випарні апарати з однократною і багатократною циркуляцією киплячого розчину.

Існує велика різноманітність конструкцій випарних апаратів. Нині є тенденція до зменшення кількості типів і конструктивних різновидів апаратів за рахунок уніфікації вузлів та деталей.

Враховуючи велике значення характеру циркуляції розчину, звичайно її й беруть ж визначальну ознаку під час розгляду конструкцій випарних апаратів.

Для випарювання в'язких продуктів та продуктів, що кристалізуються в малотоннажних виробництвах, застосовують оболонкові випарні апарати періодичної дії з вільною циркуляцією і паровим обігріванням (рис. 1).

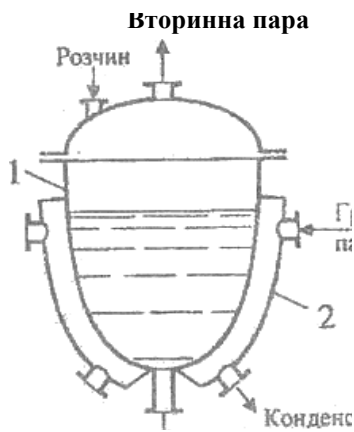


Рис. 1. Випарний апарат з паровою оболонкою

Слабко концентрований розчин подається в апарат 1, де внаслідок обігрівання виникає вільна циркуляція. Підігрівання ведеться паром, яка надходить в оболонку 2, до температури кипіння. Після випарювання до необхідної концентрації випарений розчин спускається з апарата і апарат знову наповнюється неконцентрованим розчином.

Для складання матеріального і теплового балансів однокорпусного випарного апарата прийемо такі позначення:  $G$  – кількість розчину, що надходить на випарювання, кг/с;  $G_1$  – кількість кінцевого продукту, кг/с;  $W$  – кількість випареної води, кг/с;  $a$  та  $b$  – відповідно початкова і кінцева концентрації сухих речовин розчину, мас, %.

Рівняння матеріального балансу всього процесу випарювання має вигляд:

$$G = G_1 + W \quad (1)$$

Запишемо рівняння матеріального балансу по абсолютно сухій речовині, згідно з яким кількість сухої речовини, що знаходиться в розчині до і після випарювання, не зміниться. Отже

$$G a = G_1 b = (G - W) b \quad (2)$$

За рівняннями (1) і (2) визначають кількість упареного розчину  $G_1$  залишкову концентрація розчину  $b$ , кількість випареної води  $W$ .

$$G_1 = Ga / b; \quad b = Ga / (G - W); \quad W = G_1 - (a / b)$$

Складемо тепловий баланс випарного апарата і визначимо витрату теплоти на випарювання і витрату гріючої пари.

Введемо додаткові позначення:  $Q$  – витрата теплоти на випарювання, Вт;  $D$  – витрата гріючої пари на випарювання, кг/с;  $i$ ,  $i_1$   $i_2$  – відповідно ентальпія вторинної пари на виході її з апарата, ентальпія гріючої пари і конденсату, Дж/кг;  $c_v$ ,  $c_n$ ,  $c_k$  – відповідно питома теплоємність води, початкового (вихідного) і кінцевого (згущеного) розчину, Дж/(кг К);  $t_n$   $t_k$  – температура розчину на вході в апарат (початкова) і розчину на виході його з апарата (кипіння), °С;  $Q_v$  – витрата теплоти на компенсацію втрат у довілля, Вт.

Надходження теплоти в апарат складається з теплових потоків гріючої пари  $Di_1$  і вихідного розчину  $Gc_{n1}$ . Витрата теплоти дорівнює сумі теплових потоків конденсату  $Di_2$ , згущеного розчину  $(G - W) c_k t_k$ , вторинної пари  $Wi$  та теплових втрат у довілля  $Q_v$ .

Тоді

$$Di_1 + Gc_{n1} = Di_2 + (G - W) c_k t_k + Wi + Q_v \quad (3)$$

Витрата гріючої пари на випарювання розчину з (3) складе

$$D = (G (c_k t_k - c_{пл} t_{пл}) / i_1 - i_2) + (W(i - c_6 t_k) / i_1 - i_2) + (Q_B / i_1 - i_2) \quad (4)$$

де перша складова правої частини – втрата пари на нагрівання розчину до температури кипіння, друга – на випарювання води з розчину, третя – на компенсацію теплових витрат у довілля.

Відношення загальної витрати пари  $D$  до кількості води, що випарюється  $W$  називають питомою втратою пари:  $m = D / W$ .

Обмежене застосування знаходять також випарні апарати з вільною циркуляцією, обладнані змійовиковою або трубчастою поверхнями теплообміну.

Випарні апарати з природною циркуляцією розчину поділяються на апарати з центральною циркуляційною трубою, з осьовою зоною кипіння і з виносною гріючою камерою.

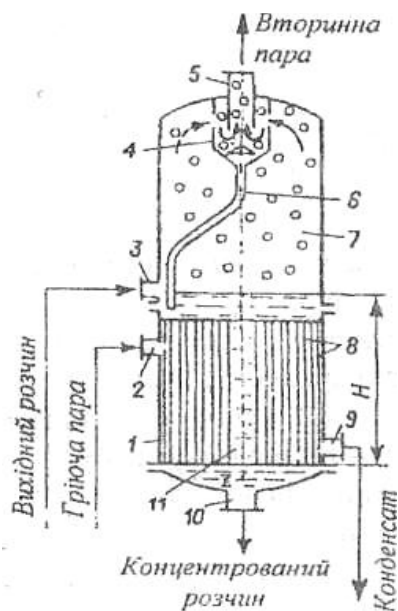


Рис. 2. Випарний апарат, з центральною циркуляційною трубою

Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою (рис. 2) має гріючу камеру 1 з трубчастою поверхнею нагрівання, утворену пучком труб з двома трубними решітками, які знаходяться в кожусі-обичайці. Вихідний розчин подають в апарат через штуцер 3. Гріюча пара надходить через штуцер 2 в міжтрубний простір, а конденсат відводиться через штуцер 9.

Киплячий розчин разом з вторинною парою рухається в кип'ятільних трубах 8 угору, а по центральній циркуляційній трубці 11 холодний розчин опускається вниз. Таким чином, за рахунок різниці густин розчину в циркуляційній трубці та парорідинної

суміші в кип'ятільних трубах забезпечується природна організована циркуляція розчину. Вторинна пара у вигляді парорідинної суміші викидається в паровий сепараційний простір 7, з якого він надходить до бризкоуловлювача 4. Бризкоуловлювач призначений для відділення піни і крапель розчину від вторинної пари; це відбувається завдяки зміні швидкості і напрямку руху вторинної пари. Рідина, що при цьому виділилася, стікає по трубці 6 у гріючу камеру, а вторинна пара через штуцер 5 виходить з випарного апарата. Концентрований розчин, що є цільовим продуктом, витікає з нижньої частини гріючої камери через штуцер 10. Інколи циркуляційну трубу в апаратах з трубчастою поверхнею нагрівання розміщують ексцентрично або виносять за межі гріючої камери.

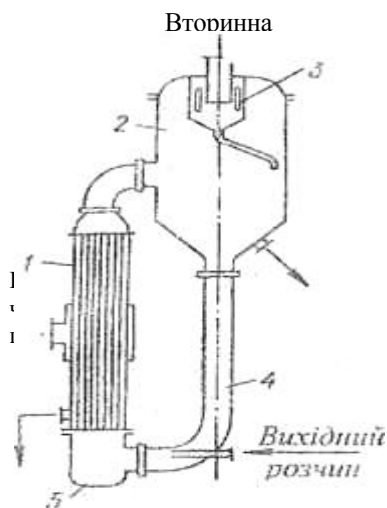


Рис. 3. Випарний апарат з винесеною гріючою камерою

Апарат з винесеною гріючою камерою (рис. 3) складається з гріючої камери 1, виконаної з труб, сепаратора 2 з бризкоуловлювачем 3 та циркуляційної труби 4, з'єднаної з нижньою камерою 5. Гріюча пара надходить у міжтрубний простір трубної камери і обігріває трубки, заповнені рідиною. Парорідинна суміш, що утворюється, розділяється в сепараторі на вторинну пару і рідину, що надходить у циркуляційну трубу 4. За рахунок збільшення висоти трубок до 4-5 м створюється значна різниця тиску парорідинного стовпа в трубках 1 і стовпа рідини в циркуляційній трубі 4, що забезпечує інтенсивну природну циркуляцію. Цьому сприяє також те, що циркуляційна труба не обігрівається. Для покращення відділення

пари і рідини парорідинна суміш вводиться з гріючої камери в сепаратор тангенціально. Перевага цих випарних апаратів полягає також у тому, що гріюча камера розміщена окремо; це дає змогу легко її оглядати і здійснювати очищення внутрішньої поверхні. Апарат з примусовою циркуляцією принципово відрізняється від апарата з винесеною гріючою камерою тим, що між циркуляційною трубою 4 і нижньою камерою 5 (див. рис. 3) встановлюється насос. Швидкість рідини в трубках за рахунок роботи насоса піднімається до 2-2,5 м/с, що забезпечує більш інтенсивну циркуляцію.

Роторно-плівковий випарні апарати (рис. 4) все частіше застосовується для випаровування високов'язких і пастоподібних термолабільних розчинів.

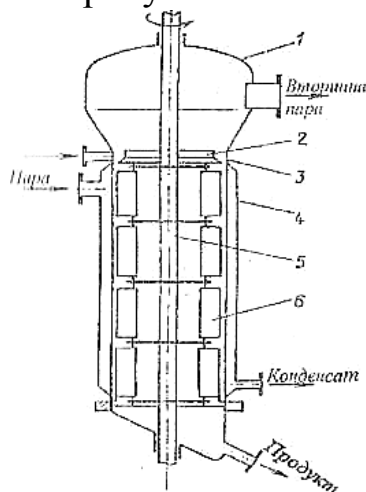


Рис. 4. Роторно-плівковий випарний апарат

Всередині гріючої камери 3, яка оточена нагрівальною паровою оболонкою 4, є ротор 5 з лопатями 6. Ротор приводиться в обертання з частотою 1-3<sup>-1</sup>. Надходячи в апарат, розчин розподіляється устроєм 2, що обертається разом з валом ротора, по стінці корпусу і стікає у вигляді тонкої плівки під дією сили тяжіння. Під час течії розчин концентрується внаслідок випаровування розчинника. Вторинна пара виходить з апарата через сепаратор 1. У міру випарювання розчинника на стінці корпусу утворюється пастоподібний або навіть сухий залишок розчиненої речовини, що знімається з поверхні яка обігрівається лопатями 6. Проміжок між лопаттю і стінкою апарата становить 0,4-1,5 мм.

Час перебування рідини в апараті (залежно від продуктивності, фізичних властивостей розчину, частоти обертання ротора) становить 10-30 с, що є головною перевагою апарата.

Апарати мають площу робочої поверхні до 40 м<sup>2</sup> і рекомендуються для проведення процесів випаровування широкої номенклатури харчових продуктів – молока, цукрових розчинів, екстрактів кави та цикорію, клейових бульйонів, соків, томатної пасти та ін.

### Завдання

1. Опрацювати теоретичні відомості.
2. Заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

### Порівняння різних типів випарних апаратів

№	Випарний апарат	Схематичне зображення
1	Випарний апарат з паровою оболонкою	
2	Випарний апарат, з центральною циркуляційною трубою	
3	Випарний апарат з винесеною гріючою камерою	
4	Роторно-плівковий випарний апарат	

3. Вивчити методику розрахунків випарних апаратів, застосування основних формул при теплових розрахунках.

Корисна різниця температур у випарному апараті  $\Delta t$  (°C) – це різниця між температурами гріючої пари  $t_n$  і киплячого розчину  $t_p$ , тобто

$$\Delta t \approx t_n - t_p.$$

У багатокорпусній випарній установці повна різниця температур  $\Delta t_{\text{повн}}$  – це різниця між температурами пари  $t_{n1}$  що обігріває перший корпус, і вторинної пари  $t_{вг.п}$  з останнього (n-го) корпусу, що подається в конденсатор:

$$\Delta t_{\text{повн}} = t_{n1} - t_{вг.п}$$

Температура кипіння розчину

$$t_{\text{кин}} = t_{вг} + (\Delta \phi_{-x} + \Delta z.c)$$

Фізико-хімічну депресію розчинів, що згущуються, можна розрахувати по формулі

$$\Delta \phi_{-x} = 0,025 B^{1,1} p^{0,17}$$

де  $B$  – концентрація сухих речовин, %;  $p$  – тиск, кПа.

Для одного корпусу можна прийняти гідростатичну депресію  $\Delta_{г.с} = 1-2^{\circ}\text{C}$  і гідравлічну  $\Delta_{г} = 1^{\circ}\text{C}$ .

Кількість води  $W$  (кг/с), випареної в однокорпусній випарній установці для згущення  $G$  (кг/с) розчину від  $B_n$  до  $B_k$  (%),

$$W = G(1 - B_n/B_k).$$

Кількість одержаної згущеної маси  $G_l$  (кг/с):

$$G_l = G - W.$$

При відомих  $B_n$  і  $W$  кінцева концентрація розчину  $B_k$  (%) після однокорпусної випарної установки

$$B_k = GB_n / (G - W).$$

Розрахувати однокорпусну випарну установку неперервної дії для згущення томатної маси в кількості  $G = 2,5$  (кг/с) від  $B_n = 3$  до  $B_k = 23$  (%). Маса поступає на випарювання підігрітою до температури кипіння. Тиск пари, що гріє корпус  $p = 0,15$ , кінцевий тиск вторинної пари, що поступає на барометричний конденсатор  $p_k = 12$ , відомий коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2 = 2850$ .

Визначити кількість води  $W$ , що випарувалась у випарній установці.

Визначити кількість згущеної томатної маси  $G_l$ , що виходить із корпусу.

По таблиці у додатку А водяної пари знаходимо температури насичених пар гріючої та вторинної, а також їх питомі теплоти пароутворення та заповнити таблицю 2.

Таблиця 2

	Тиск, $p$ , кПа	Температура насиченої пари, $t_n$ °C	Теплота пароутворення, $r$ , кДж/кг
Гріюча пара			
Вторинна пара			

Обчислити температурні втрати:

а) Від фізико-хімічної депресії  $\Delta_{ф-х}$ ;

б) Від гідростатичної депресії  $\Delta_{г.с}$  (прийmemo рівними  $1,5^{\circ}\text{C}$ );

в) Від гідравлічної депресії  $\Delta_{г}$  (прийmemo рівними  $1^{\circ}\text{C}$ ).

Знайти суму всіх втрат  $\Delta$ .

Обчислити температуру кипіння маси в корпусі  $t_{кип}$ .

Знайти корисну різницю температур  $\Delta t(^{\circ}C)$ . Для цього спочатку визначимо повну різницю температур  $\Delta t_{\text{повн}}$ , потім корисну різницю температур.

Обчислити коефіцієнт теплопередачі  $K$  ( $Bm/m^2 K$ ), для чого спочатку знайти  $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = 1163(1,9 + 0,04 t_n),$$

$$K = \alpha_1 \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2).$$

Визначаємо теплове навантаження на корпус  $Q$  ( $Bm$ )

$$Q = W r 1,05 \text{ (} r \text{ грючої пари)}.$$

Знайти розхід грючої пари  $D$  ( $кг/с$ )

$$D = Q / r \text{ (} r \text{ пари у випарній установці)}.$$

Визначити питому витрату пари  $d$  ( $кг/кг \text{ води}$ )

$$d = D / W.$$

Визначаємо поверхню нагріву корпусу  $F$  ( $m^2$ ) з основного рівняння теплопередачі:

$$Q = KF \Delta t.$$

4. Знайти відповіді на питання:

1. Чим розрізняються випарювання і випаровування?
2. Що називають питомою витратою пари, що гріє?
3. Чим відрізняється багатокорпусна випарна установка від однокорпусної?
4. Чим спричинене явище самовипаровування? Коли воно спостерігається?
5. Як визначають витрату нагрівної пари при випарюванні?
6. Які розчини концентрують випарюванням?
7. Від чого залежить кількість випареної води?
8. У яких випадках доцільно застосовувати апарати з примусовою циркуляцією розчину?
9. Для випарювання яких розчинів рекомендується використовувати роторно-плівкові апарати?
10. Які конструкції випарних апаратів найпоширеніші в промисловості?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакалов В.Г., Лапицька Н.В. Процеси і апарати харчових виробництв. Методичні вказівки до лабораторних робіт і самостійної роботи з дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв»: методичні вказівки. Чернігів: НУЧК, 2023. 105 с.
2. Закон України «Про вимоги до предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами». URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/NT1668.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1668.html).
3. Марценюк О.С., Мельник Л.М. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
4. Омельченко О.В., Перекрест В.В. Процеси та апарати харчових виробництв : метод. рекомендації до вивч. дисц. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. 106 с.
5. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О., Перекрест В.В. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 133 с.
6. Поперечний А.М., Потапов В.О., Корнійчук В.Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 312 с.
7. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
8. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с
10. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посібник / О.І.Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.
11. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний, О.І. Черевко, В.Б. Гаркуша, [та ін.]. Київ : Центр навч. л-ри, 2007. 304 с.
12. Черевко О.І., Поперечний А.М. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник. 2-е видання, доп. та випр. Х.: Світ Книг, 2014. 495 с.
13. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв. Харків : Світ Книг, 2017. 496 с.



## ДОДАТОК А

### *Термодинамічні властивості водяної пари*

Тиск Р		Температура $t, ^\circ\text{C}$	Щільність $\rho, \text{кг/м}^3$	Ентальпія $i, \text{кДж/кг}$	Теплота пароутворення $r, \text{кДж/кг}$
$\text{кг/см}^2$	кПа				
0,05	4,90	32,5	0,0348	2560,2	2423,7
0,1	9,81	45,4	0,0669	2583,3	2393,2
0,2	19,61	59,7	0,1284	2608,8	2358,8
0,5	49,03	80,9	0,3031	2644,4	2305,7
1,0	98,07	99,1	0,5797	2674,5	2259,2
1,1	107,87	101,8	0,6337	2678,8	2252,1
1,2	117,68	104,2	0,6873	2682,5	2245,4
1,3	127,49	106,6	0,7407	2686,2	2239,5
1,4	137,29	108,7	0,7943	2689,2	2233,2
1,5	147,1	110,8	0,8467	2692,5	2227,8
1,6	156,9	112,7	0,9001	2695,5	2222,4
1,7	166,7	114,6	0,9524	2698,4	2217,7
1,8	176,5	116,3	1,0046	2700,9	2212,7
1,9	186,3	118,0	1,057	2703,4	2208,1
2,0	196,1	119,6	1,109	2705,9	2203,9
3,0	294,2	132,9	1,621	2724,3	2165,8
4,0	392,3	142,9	2,124	2737,7	2136,1
5,0	490,3	151,1	2,620	2747,8	2111,0
6,0	588,4	158,1	3,111	2756,2	2088,8
7,0	686,5	164,2	3,600	2762,9	2069,1
8,0	784,6	169,6	4,085	2768,3	2050,8
9,0	882,6	174,5	4,568	2772,9	2033,9
10,0	980,7	179,0	5,051	2777,1	2018,5

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 ВИВЧЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ НАСОСІВ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ РІДИН .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТИПІВ МІШАЛОК ТА СПОСОБІВ ПЕРЕМІШУВАННЯ .....	15
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДИСПЕРГУВАННЯ ТА ЇХ АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ.....	23
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ.....	29
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 ВИВЧЕННЯ МАШИН ДЛЯ ПОДРІБНЮВАННЯ.....	36
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 ВИВЧЕННЯ РІЗАЛЬНИХ МАШИН .....	44
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 ВИВЧЕННЯ МАШИН ДЛЯ СОРТУВАННЯ .....	48
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8 ВИВЧЕННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ.....	55
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9 ВИВЧЕННЯ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ.....	63
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70
ДОДАТОК А .....	71

Навчально-методичне видання

Т.А. Газука, О.В. Плуток

# ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Навчально-методичні рекомендації  
до виконання практичних робіт

Технічний редактор

*О. Клімова*

Комп'ютерна верстка  
та макетування

*О. Клімова*

*Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації  
серія КВ № 23743-13583 ПР від 06.02.2019 р.*

---

Підписано до друку 10.02.2025 р. Формат 60 x 86 1/16.  
Папір офсетний. Друк на різнографі.  
Ум. друк. арк. 4,19. Обл.-вид. арк. 3,25. Зам. № 006.  
Редакційно-видавничий відділ ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка.  
14013, вул. Гетьмана Полуботка, 53, к. 208.  
[chnpu.tipograf@gmail.com](mailto:chnpu.tipograf@gmail.com)

