

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Механічні процеси і технології
надвисокого тиску**

Підручник, Книга 1

Мелітополь
2019

*Розглянуто і рекомендовано до друку
Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
Міністерства освіти і науки України
Протокол № 10 від 23.04. 2019р.*

Автори: Викладачі кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Бойко В.С., кандидат технічних наук, доцент; **Самойчук К.О.**, доктор технічних наук, доцент; **Тарасенко В.Г.**, кандидат технічних наук, доцент; **Загорко Н.П.**, кандидат технічних наук, доцент, **Мікульонок І.О.**, доктор технічних наук, професор; **Циб В.Г.**, старший викладач

Рецензенти:

Б.В. Орловський, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну;

І.П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України

О.Г. Карасв, доктор технічних наук, старший наукових співробітник, завідувач кафедри сільськогосподарських машин Таврійського державного агротехнологічного університету.

Процеси і апарати. Механічні процеси і технології надвисокого тиску: Підручник / **В.С. Бойко, К.О. Самойчук, В.Г. Тарасенко, Н.П. Загорко, І.О. Мікульонок, В.Г. Циб.** – Мелітополь, 2019. – 273 с.

ISBN

Підручник „Процеси і апарати. Механічні процеси і технології надвисокого тиску” призначений для здобувачів ступеня вищої освіти зі спеціальностей „Галузеве машинобудування“ і „Харчові технології“, магістрів, аспірантів, викладачів і працівників агропромислового комплексу.

© Бойко В.С., Самойчук К.О., Тарасенко В.Г., Загорко Н.П., Мікульонок І.О., Циб В.Г.

ВСТУП

Харчова промисловість включає багато різних за призначенням виробництв: борошномельне, хлібобулочне, макаронне, кондитерське, виробництво м'ясних, молочних продуктів, цукру, рослинної олії та іншої продукції.

Будь-який технологічний процес виробництва даної продукції являє собою ряд взаємопов'язаних типових технологічних операцій, що протікають в апаратах певного класу. Особливостями цих технологічних процесів, що визначають специфіку отримання харчових продуктів, від подібних процесів в інших галузях харчових виробництв є високі вимоги до якості продукції, ефективності виробництва, зниження його енерговитрат і матеріаломісткості, охорони навколишнього середовища і технічної безпеки.

Вчення про процеси і апарати засноване на фундаментальних законах фізики, хімії, математики, ряду інженерних і економічних дисциплін – механіки, теплотехніки, електротехніки, матеріалознавства, промислової економіки та інших суміжних дисциплін, які являються базою курсу. Проте, як наука про процеси і апарати має свій чітко окреслений предмет, експериментальні та розрахункові методи і теоретичні закономірності.

Сучасні харчові виробництва оснащені складними машинами і апаратами, в яких здійснюються технологічні процеси, що перетворюють сировину в кінцевий продукт. Процеси харчової технології здебільше значно складні і часто являють собою поєднання механічних, гідромеханічних, теплових і масообмінних процесів.

Під терміном «*процес*», який походить від латинського слова *processus* (просування), розуміють виробничий процес, коли початкові матеріали в результаті фізичного, хімічного, механічного та інших впливів перетворюються в харчові продукти. Ці перетворення супроводжуються зміною агрегатного стану, внутрішньої структури і хімічного складу речовини.

Поділ технологічного обладнання на машини і апарати досить умовний.

Процеси протікають в технологічних апаратах (від латинського *apparatus* – прилад, обладнання) або в машинах. Найчастіше апарат являє собою ємність, в якій нерухомо розташовуються різні труби, решітки, полиці, кільця, тарілки, сепаратори для відділення крапельок рідини тощо. Іноді в апаратах монтують обертові механізми для перемішування рідких середовищ. На відміну від них машина – це механізм із зовнішнім приводом і робочими органами, які здійснюють механічні операції.

Машини і апарати харчових виробництв вивчаються в даному курсі лише в ознайомчому плані: основна увага приділяється теоретичному їх опису. Більш докладне вивчення обладнання передбачається в спеціальних курсах обладнання відповідних галузей харчового виробництва.

Курс «Процеси і апарати харчових виробництв», викладений в першій книзі «Механічні процеси і технології надвисокого тиску» містить три розділи, що складаються з 10 розділів (тем).

У першому розділі наведені основні закони і положення курсу.

У другому розділі наведений аналіз механічних процесів.

У третьому розділі розглянуті питання використання технології надвисоких тисків в харчовому виробництві.

Одним з основних завдань при написанні підручника є формування науково-технічного мислення, творчого застосування отриманих знань в діяльності майбутнього інженера. Цьому в значній мірі відповідає структура навчальних тем і перелік контрольних питань, що дозволяє організувати контроль якості засвоєння навчального матеріалу студентами, а студенту реально оцінити свою підготовку за допомогою тестів, наведених в кожній темі.

При підготовці фахівців для харчової та переробної промисловості особливе місце займає самостійна робота студентів.

Неможливо викласти весь навчальний матеріал на лекціях. Потрібно додаткове самостійне вивчення окремих найбільш простих і зрозумілих розділів дисципліни, викладених в книзі. Самостійна робота над книгою прищеплює студенту вміння користуватися технічною літературою, читати схеми і креслення, виконувати теоретичні розрахунки. У виробничих умовах це дозволить самостійно приймати рішення щодо покращення технологічних режимів, підвищення продуктивності апаратури і поліпшення якості продукції; дасть можливість розробляти більш технологічно раціональні схеми і типи апаратів при проектуванні нових виробництв, правильно оцінити результати наукових досліджень в лабораторних умовах і реалізувати їх на практиці.

РОЗДІЛ I. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ

ТЕМА 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»

1.1.ЗМІСТ І ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»

Головним напрямком збільшення виробництва продуктів харчування є розвиток прогресивної технології, що забезпечує високоефективні процеси, використання яких значно підвищує продуктивність праці, скорочує негативний вплив на навколишнє середовище і сприяє економії початкової сировини, паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів.

Науково-технічний прогрес в харчовій промисловості пов'язаний з формуванням нових знань та ідей, технологічним освоєнням наукових відкриттів, винаходів, результатів досліджень і розробок, впровадженням передових технологій, прогресивної техніки.

Розробка і впровадження прогресивних технологій і нового обладнання пов'язані з глибокими дослідженнями закономірностей фізико-хімічних процесів в апаратах, призначених для переробки сировини і виробництва харчових продуктів.

Курс «Процеси і апарати харчових виробництв» є спеціальним перехідним курсом від загальноінженерного циклу дисциплін до спеціального для інженерів-технологів і інженерів-механіків харчових виробництв. Сучасне вчення про процеси і апарати спирається на міцний фундамент хімії, фізики, математики, ряду інженерних і економічних дисциплін механіки, теплотехніки, електротехніки, технічної кібернетики, матеріалознавства, промислової економіки та інших суміжних галузей знань, які є базою курсу. Однак, як наука, вчення про процеси і апарати має свій ясно окреслений предмет, свої експериментальні та розрахункові методи і теоретичні закономірності. В курсі «Процеси і апарати харчових виробництв» вивчаються сукупність фізичних, біохімічних процесів і шляхи їх здійснення в промисловому виробництві різних продуктів в конкретних техніко-економічних умовах. При цьому звертається особлива увага на їх економічну доцільність.

Будь-технологічний процес, незважаючи на різні методи, являє собою ряд взаємопов'язаних типових технологічних стадій, що протікають в апаратурі певного класу. Проте високі вимоги до якості продукції,

ефективності виробництва, зниження його енерго- та матеріалоемності, охороні навколишнього середовища, визначали специфіку, яка відрізняє ці технологічні стадії отримання харчових продуктів та апаратурно-технологічне оформлення від подібних процесів в інших галузях народного господарства.

Процеси харчової технології в більшості своїй досить складні і часто являють собою поєднання гідродинамічних, теплових, масообмінних, біохімічних та механічних процесів. По суті курс є теоретичною основою харчової технології, що дозволяє проаналізувати і розрахувати процес, визначити оптимальні параметри, розробити та розрахувати апаратуру для його проведення.

Машини і апарати переробних харчових виробництв вивчаються в даному курсі лише в ознайомчому плані; основна увага приділяється теоретичному їх опису. Більш докладне вивчення обладнання передбачається в спеціальних курсах обладнання відповідних галузей харчового виробництва.

Дана дисципліна розглядає наступні основні завдання:

1. Вивчення теорії основних процесів харчових виробництв і рушійних сил, під дією яких вони протікають.

2. Вивчення методів розрахунку апаратів машин. Теоретичні розрахунки дозволяють аналізувати конкретний процес, знаходити його оптимальні параметри і оптимальну конструкцію апаратів для здійснення процесів.

3. Ознайомлення з пристроєм і принципом дії різних промислових апаратів і машин, в яких здійснюються технологічні процеси.

4. Вивчення закономірностей переходу від лабораторних процесів до промислових. Знання закономірностей переносу отриманих на моделі даних, на об'єкт натуральної величини необхідно для проектування більшості сучасних виробничих процесів харчової технології.

Оволодіння даної дисципліною дозволить майбутнім інженерам і технологам отримати широкий інженерний кругозір, розуміти наукові принципи апаратно-технологічного оформлення процесів, уміти оцінювати основні техніко-економічні характеристики обладнання і вибирати оптимальні, виявляти резерви підвищення інтенсивності та економічності процесів, зниження витратних норм і собівартості продукції, володіти методами наукових досліджень для підвищення ефективності виробництва.

Студент повинен знати: основні поняття про подібність фізіологічних явищ, основні поняття теорії гідромеханіки, тепло- і масообміну; системи і методи проектування технологічних процесів і

режимів виробництва; основні процеси та апарати; принципи роботи обладнання і методи інтенсифікації.

Студент повинен вміти: використовувати на практиці відповідні апарати і машини при розробці технологічних процесів; виконувати експериментальні дослідження з визначення параметрів роботи пристроїв і апаратів; користуватися методичними та нормативними матеріалами при проектуванні, технічними умовами і стандартами.

Студент повинен отримати навички: застосування теоретичних положень гідромеханіки і тепло-і масообміну до вирішення практичних та інженерних задач; виконання інженерних розрахунків, пов'язаних з вибором відповідного обладнання; розробки та оформлення технічної документації, пов'язаної з використанням гідромеханічних пристроїв і тепло- і масообмінних апаратів.

1.2. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ НАУКИ ПРО ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ

Харчові виробництва впродовж тривалого періоду розвивалися повільно. Наприклад, цукристі речовини, одержувані з цукрової тростини, були відомі в XIII столітті до н.е. Їх виробляли в Індії та Китаї. У священних писаннях Індії зустрічається слово «сахара» для позначення солодких речовин. Від нього і походить слово «цукор». У XII столітті до н.е. цукор поширюється в Перській імперії, в 330 р. до н.е. він потрапляє в Македонію в результаті завоювання Персії Олександром Македонським. У VI-VII століттях нашої ери цукор проникає в Північну Африку та Іспанію в результаті завоювання їх арабами і, нарешті в XI-XIII століттях н.е. він поширюється по всій Європі. Цей етап поширення цукру пов'язаний з походами хрестоносців проти мусульман.

Незважаючи на те, що мед слов'янські народи почали споживати за 6000 років до н.е., а цукор відомий більш XXV століть, кондитерські вироби були рідкісними і дорогими продуктами. Їм приписувалися цілющі властивості. Виготовлення кондитерських виробів були зосереджені переважно в аптеках і на кухнях багатьох можновладців. Предметами торгівлі цукерки, зацукровані фрукти, варення та інші кондитерські вироби стають лише в середині XVII століття.

Варто згадати про селянські картопляні бунти за часів Петра I в Росії, коли селяни відмовлялися садити картоплю, не розуміючи наскільки це зміцнить їх харчову безпеку.

Одним з основних розділів науки про процеси і апарати харчових виробництв є гідравліка. Гідравліка – одна з найдавніших наук. Спочатку

вона розвивалася за запитами основних видів діяльності людства: водопостачання, кораблебудування, створення гідравлічних машин.

Першою науковою працею в області гідравліки вважається трактат Архімеда «Про плаваючі тіла» який відноситься до 2500 р. до н.е. В ньому викладено відкритий ним закон. Архімед зробив ряд видатних відкриттів. Серед них – водопідйомна машина у вигляді архімедова гвинта, застосовується до наших днів.

Відомості про деякі законах гідравліки були, мабуть, відомі і раніше, так як задовго до Архімеда будувалися зрошувальні канали і водогони у вигляді жолобів (акведуки). Найдавніший акведук був побудований в 312 р. до н.е. в Римі. Він мав довжину 16,5 км. Найдовший акведук мав довжину 132 км. Він побудований в м Карфагені в 76–138 р.р. н.е.

Створення гідравліки як теоретичної науки пов'язано з іменами багатьох вчених.

Академік Л. Ейлер (1707 –1783 р.р.) – склав основну систему рівнянь руху ідеальної рідини. Його теорія лопатевих гідравлічних машин була оцінена лише через 100 років, коли в 1835 році інженер О.О. Саблуков створив відцентровий насос.

Академік Д. Бернуллі (1700 – 1782 р.р.) – розробив основне рівняння гідродинаміки – рівняння збереження механічних форм енергії рідини. Воно використовується в більшості гідродинамічних задач.

Професор Д. Вентурі (1746 – 1822 р.р.) – досліджував витікання рідини через отвори і насадки; розробив конструкцію витратоміра рідини, що рухається по трубах.

О. Рейнольдс (1847 – 1912 р.р.) – вніс великий вклад у вивчення режимів руху рідини.

М.Є.Жуковський (1847 – 1921 г.г.) – створив теорію гідравлічного удару в водопровідних трубах. Завдяки цій праці назавжди звільнилися від розривів трубопроводів внаслідок гідравлічних ударів, від яких раніше постійно страждали.

Поряд з розвитком гідромеханіки науки про процеси і апарати формувалися і в інших напрямках.

Вперше положення про спільність ряду основних процесів сформулював професор Ф.О. Денисов (1828 р.) в роботі «Розлоге керівництво до загальної технології або до призначення всіх робіт, засобів, знарядь і машин, вживаних в різних хімічних мистецтвах». У цій праці основні процеси харчових виробництв розкриваються з загальних позицій, а не з точки зору застосування в окремих галузях (наприклад, в цукровому або пивоварному виробництвах).

Д. І. Менделєєв (1897 г.) виклав принципи побудови курсу процеси і апарати і дав класифікацію процесів хімічної технології.

Грунтуючись на ідеях Д.І. Менделєєва, професор О.К. Крупський (1909 р.) опублікував свою роботу «Початкові глави вчення про проектування за хімічною технологією», де сформулював методологічну сутність нової науки.

Професори О. К. Крупський та І. О. Тищенко написали перші підручники з процесів і апаратів і по праву вважаються засновниками цієї науки.

Серед іноземних учених, які зробили істотний внесок у розвиток науки «Процеси і апарати» слід назвати Уокера, Льюїса і Мак-Адамса (США), Я. Ціборовського (Польща), П. Бендика і А. Ласло (Угорщина), Т. Шервуда, В. Беджер і В.Мак-Кеба (США).

Всебічний розвиток науки про процеси і апарати отримали в працях А.Г. Касаткіна, В.В. Кафірова, А.Н. Плановський, А.І. Гальперіна, П.Г. Романова, Ю.Л. Дитнерського, В.Н. Стабнікова, А.С. Гінзбурга, Г.Д. Кавецького, С.М. Гребенюка, О.М. Острікова.

Наука про процеси і апарати покликана відігравати велику роль в інтенсифікації розвитку харчової і суміжній галузей переробної промисловості і тим самим сприяти задоволенню потреб населення в продуктах харчування.

1.3. КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Розвиток науки про процеси і апарати дозволило створити систему понять і науково обґрунтовану класифікацію процесів харчової технології. Розглянемо основні поняття, такі як система, процес, машина, технологія тощо.

Системою називається сукупність взаємодіючих між собою різних тіл.

Процес (від лат. processes – просування) – зміна стану будь-якої системи через її безперервний рух і розвиток, який відбувається в природі, лабораторії, суспільстві.

Виробничий процес – сукупність послідовних дій для досягнення певного результату (або отримання певного виду продукції).

Технологія – наука про практичне застосування законів фізики, хімії, біології та інших базисних наук для проведення технологічних процесів.

Промислова технологія – ряд прийомів, проведених направлено з метою отримання з початкової сировини продукту зі задалегідь заданими властивостями.

Апарат – (від лат. apparatus - обладнання) – це пристрій, пристосування, обладнання, призначені для проведення технологічного процесу.

Машина – пристрій, який виконує механічний рух з метою перетворення енергії або матеріалу.

Технологічна машина – перетворює форму, властивості і стан оброблюваного матеріалу.

Абсорбент – рідкий розчинник володіє здатністю вибірково поглинати з навколишнього середовища газу, пару або розвинені речовини.

Абсорбтив – компонент газової (парової) суміші, який абсорбується в рідкому розчиннику.

Абсорбер – апарат, призначений для проведення процесів абсорбції.

Екстрагент – рідкий розчинник, який володіє вибірковою розчинністю.

Екстракт – розчин, збагачений компонентом, який екстрагується.

Рафінат – збіднена рідка суміш після екстрагування.

Екстрактор – апарат, в якому здійснюється процес екстракції.

Адсорбент – твердий поглинач компонентів з газової, парової або рідкої суміші, володіє вибірковою здатністю.

Адсорбтив – речовина, що поглинається з газу або рідини твердим поглиначем.

Адсорбат – речовина, поглинена з газу або рідини, що перейшла у фазу адсорбенту.

Адсорбер – апарат, призначений для проведення процесів адсорбції.

НКК – низькокиплячий компонент процесу перегонки.

ВКК – висококиплячий компонент.

Дистилят – рідина, отримана в результаті конденсації пари при простій перегонці.

Ректифікат – рідина, отримана в результаті конденсації пари при багаторазовій перегонці (ректифікації).

Флегма – конденсат парів високо киплячого компоненту ВКК з низьким вмістом низькокиплячого компоненту.

Кінетика – вчення про швидкості і механізми процесів, в тому числі гідромеханічні, тепло- і масообмінні.

Загальні кінетичні закономірності процесів харчової технології, за винятком механічних процесів, формулюються у вигляді загального закону: «швидкість процесу прямо пропорційна рушійній силі і обернено пропорційна опорі».

Згідно з визначенням загальне кінетичне рівняння має вигляд:

$$\frac{dM}{F \cdot dt} = \frac{\Delta}{R} = K \cdot \Delta \quad (1.1)$$

де M – кількість маси або енергії; F – площа, через яку проходить маса або енергія; τ – тривалість процесу; Δ – рушійна сила процесу; R – опір; K – коефіцієнт швидкості, обернений опору.

Процеси харчових виробництв відповідно до кінетичних закономірностей, що характеризують їх протікання, класифікуються на шість основних груп (рис.1.1.)

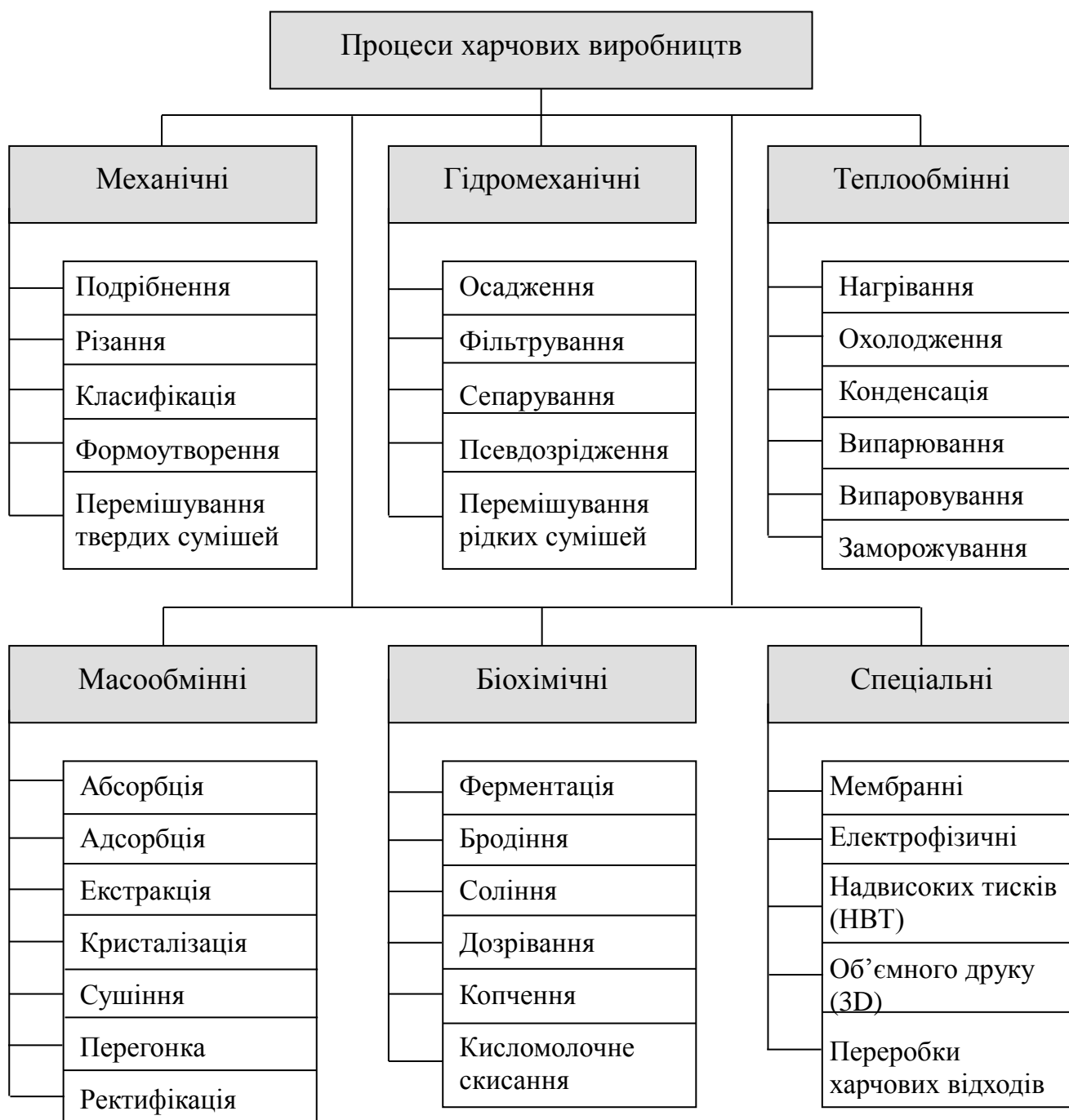


Рис. 1.1. Класифікація процесів харчових виробництв

Все різноманіття основних процесів харчової технології в залежності від закономірностей їх протікання можна звести до шести основних груп:

механічні, гідромеханічні, теплообмінні, масообмінні, біохімічні та спеціальні.

1. **Механічні процеси** – це процеси, швидкість яких визначається законами механіки твердих тіл. Їхньою основою є механічний вплив на матеріал або чисто механічна взаємодія тіл. До них відносяться процеси подрібнення, різання, класифікації, формоутворення (пресування) і перемішування твердих дисперсних сумішей.

2. **Гідромеханічні процеси**, швидкість J_r яких розподіляється законами гідродинаміки – науки про рух рідин і газів:

$$J_r = \frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta p}{R_1} = K_1 \Delta p \quad (1.2)$$

де V – об'єм рідини, що протікає; F – площа поверхні перетину апарату; τ – час процесу; K_1 – коефіцієнт швидкості процесу; R_1 – гідравлічний опір; ΔP – перепад тиску (рушійна сила процесу).

До них відносяться процеси переміщення рідини і газу по трубопроводах та апаратах, перемішування в рідких середовищах, поділ суспензій і емульсій шляхом відстоювання, фільтрування, сепарування, псевдозрідження зернистого матеріалу.

3. **Теплообмінні процеси**, швидкість J_T яких визначається законами теплопередачі – науки про способи поширення теплоти.

$$J_T = \frac{dQ}{F dt} = \frac{\Delta T}{R_2} = K_2 \Delta T \quad (1.3)$$

де Q – кількість переданої теплоти; F – поверхня теплообміну; K_2 – коефіцієнт теплопередачі; R_2 – термічний опір; ΔT – середня різниця температур між матеріалами, які обмінюються теплотою (рушійна сила процесу).

Основою даного процесу є зміна теплового стану взаємодіючих середовищ і перенесення теплоти від більш нагрітих тіл (або середовищ) до менш нагрітих. До них відносяться процеси нагрівання, охолодження, конденсації, випаровування, заморожування.

4. **Масобмінні (дифузійні) процеси** характеризуються перенесенням одного або декількох компонентів початкової суміші з однієї фази в іншу через поверхню розділу фаз. Швидкість цих процесів J_M визначається законами масопередачі.

$$J_M = \frac{dM}{F d\tau} = \frac{\Delta C}{R_3} = K_3 \Delta C \quad (1.4)$$

де M – кількість речовини, перенесеної з однієї фази в іншу; F – площа поверхні контакту фаз; K_3 – коефіцієнт масопередачі; R_3 – дифузійний опір; ΔC – середня різниця концентрацій речовин у фазах (рушійна сила).

До дифузійних процесів належать абсорбція, адсорбція, рідинна екстракція, екстрагування з твердих речовин, кристалізація, сушіння, перегонка і ректифікація.

5. Біохімічні процеси пов'язані з перетворенням речовин і зміною їх властивостей. Швидкість J_x цих процесів визначається закономірностями хімічної кінетики

$$J_x = \frac{dM}{V_p dt} = K_4 f(C) \quad (1.5)$$

де M – масова частка речовини, що прореагувала в процесі; V_p – об'єм апарату; K_4 – коефіцієнт швидкості біохімічного процесу; $f(C)$ – рушійна сила процесу, яка являється функцією концентрації реагуючих речовин.

До біохімічних процесів відносяться ферментація, бродіння, соління, копчення, дозрівання, квашення тощо.

6. Процеси спеціальних технологій – до них можна віднести процеси, не властиві переробній промисловості (наприклад, утилізація або переробка харчових відходів) або які рідко використовуються через складність виготовлення окремих вузлів (наприклад, мембранні процеси), або процеси нанотехнологій, також об'ємний друк (3D) харчових продуктів або пастеризація надвисоким тиском (НВТ), які тільки почали пробивати собі дорогу на виробництво.

1.4. ОСНОВНІ ТИПИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Періодичні процеси – процеси окремої стадії яких (завантаження, нагрівання, змішування, вивантаження) здійснюються в даному апараті (машині), але в певній послідовності.

Періодичні процеси застосовується в основному в виробництвах невеликого масштабу в поєднанні з різноманітним асортиментом продукції. Це дозволяє досягти більшої гнучкості у використанні обладнання при менших капітальних витратах.

Безперервні процеси – окремі його стадії здійснюються одночасно, але в різних місцях однієї машини або апарату, або в різних машинах і апаратах.

Основні переваги безперервних процесів у порівнянні з періодичними наступні: відсутність витрати часу на завантаження початкової сировини і вивантаження готової продукції; можливість автоматичного регулювання та повної механізації; стійкість режимів проведення процесу, компактність обладнання; більш повне використання теплоти, що підводиться або відводиться, при відсутності перерв у роботі апарату, можливість регенерації теплоти, відходить.

Завдяки зазначеним перевагам безперервних процесів при їхньому проведенні збільшується продуктивність апаратури, зменшується потреба в обслуговуючому персоналі, поліпшуються умови праці і підвищується якість продукції.

Змішані (комбіновані) процеси – це безперервні процеси, окремі стадії яких проводяться періодично, або періодичні процеси, одна або кілька стадій, яких протікають безперервно.

Для характеристики періодичних і безперервних процесів використовуються наступні поняття:

- тривалість процесу τ – час, необхідний для завершення всіх його стадій від завантаження початкової сировини до вивантаження готового продукту;

- період процесу $\Delta\tau$ – час від початку завантаження початкової сировини даної партії до початку завантаження наступної партії початкової сировини;

- ступінь безперервності $\tau/\Delta\tau$ – це частка від ділення тривалості процесу на його період.

Періодичний процес характеризується періодом $\Delta\tau > 0$, ступенем його безперервності $\tau/\Delta\tau < 1$ і єдністю місця здійснення процесу.

Безперервний процес характеризується періодом $\Delta\tau \rightarrow 0$, ступенем його безперервності $\tau/\Delta\tau \rightarrow \infty$ і єдністю місця проведення окремих стадій.

Процеси можуть бути також класифіковані залежно від зміни їх параметрів (швидкостей, температур, концентрацій тощо).

Сталі (стаціонарні) процеси – у яких значення кожного з параметрів, що характеризують процес, постійні в часі.

Несталі процеси (нестационарні або перехідні) – у яких значення параметрів, що характеризують процес, непостійні, тобто є функціями не тільки положення кожної точки в просторі, але і часу. В харчовій промисловості несталими являються періодичні процеси.

При здійсненні процесів обміну в безперервному потоці можливі різні напрямки взаємодіючих потоків:

* **прямотечія** – це паралельний рух компонентів, застосовується лише у виняткових випадках, наприклад, при сушінні, коли висока температура не припустима для продукту з різною кінцевою вологістю, щоб уникнути погіршення його якості;

* **протитечія** – це зустрічний рух компонентів; протитечія дозволяє більшою мірою використовувати рушійну силу процесу, покращити граничний витяг компонентів;

* **перехресний потік** – коли потік продукту і, наприклад, потік теплового агенту при сушінні в шахтних сушарках, рухаються перпендикулярно один одному; як правило це викликано конструктивними особливостями апарату або вимогами технології;

* **поточність процесу** – виконання виробничих процесів, при яких продукт прямотечійно, без повернень, і по можливості швидко проходить через всі заводські апарати, так як повернення частини продукту назад у виробничий потік збільшує час перебування цієї частини продукту в апаратурі, крім того, можуть змінитися властивості продукту: його кольоровість, зменшиться його кількість і погіршується його якість.

1.5. ОСНОВНІ ТИПИ АПАРАТІВ

За розподілом часу перебування і пов'язаних з ним змін в часі інших факторів, що впливають на процес (температур, концентрацій тощо), розрізняють дві теоретичних моделі апаратів безперервної дії: ідеального витіснення і ідеального змішування.

Апарат ідеального змішування – частки продукту, що надходять, повністю перемішуються з розташованими там частками, тобто рівномірно розподіляються в обсязі апарату. В результаті, у всіх точках об'єму миттєво вирівнюються значення параметрів, що характеризують процес. Час перебування часток в апараті ідеального змішування не однаковий (рис. 1.2.).

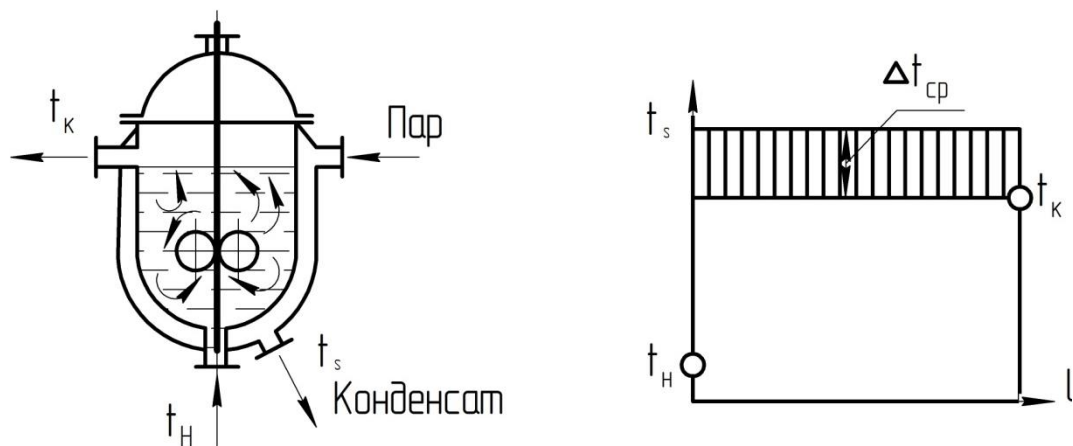


Рис. 1.2. Графік зміни температури при нагріванні рідини в апаратах ідеального змішування

Апарати ідеального витіснення – всі частки продукту рухаються в заданому напрямку, не перемішуючись з рухомими сусідніми частками і повністю витісняючи частки потоку, які знаходилися попереду. Всі частки рівномірно розподілені по площі поперечного перетину такого апарату. Час перебування всіх часток в апараті ідеального витіснення однаковий (рис. 1.3.).

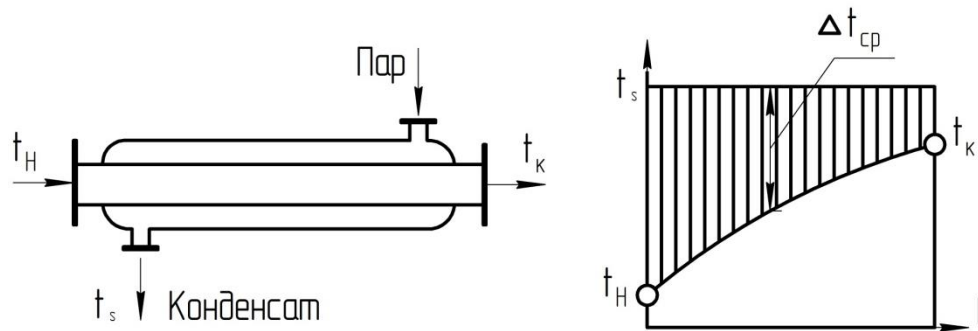


Рис. 1.3. Графік зміни температури при нагріванні рідини в апаратах ідеального витіснення

Апарати проміжного типу – реальні безперервно діючі апарати, в яких час перебування часток розподіляється більш рівномірно, ніж в апаратах ідеального змішування, але ніколи не вирівнюється – як в апаратах ідеального витіснення. Рушійною силою процесу є різниця між граничною і робочою температурою (рис. 1.4.).

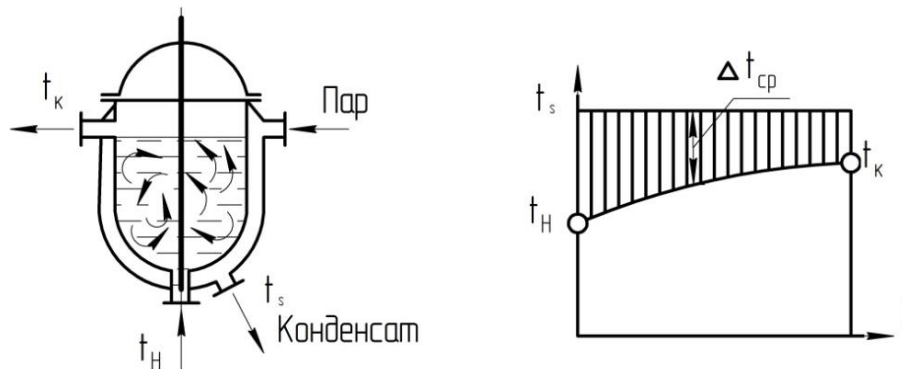


Рис. 1.4. Характер зміни температури при нагріванні рідини в апаратах проміжного типу

На рисунках 1.2, 1.3, 1.4 показані зміни рушійної сили (різниця температур), пропорційне величинам заштрихованих площ. Максимальні величини рушійної сили відповідають апаратам ідеального витіснення, мінімальні – апаратам ідеального змішування і робочі значення рушійної сили – апаратам проміжного типу.

1.6. ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСІВ, МАШИН І АПАРАТІВ

Розрахунок процесів і апаратів передбачає визначення масових потоків матеріалів, які переробляються, а також кількості необхідної енергії, оптимальні площі тепло- і масобмінної поверхні (місткості) апарату, тривалості процесу, основних розмірів апарату.

Аналіз процесів і розрахунок апаратів проводять в наступній послідовності:

- складають матеріальний і енергетичний баланси процесу;
- виходячи з статики, визначають напрямок течії процесу і умови рівноваги;
- обчислюють рушійну силу;
- на підставі кінетики визначають швидкість процесу;
- за даними про швидкість процесу і величину рушійної сили при знайденому оптимальному режимі, обчислюють основний розмір апарату - місткість або робочу площу поверхні;
- за основним розміром визначають інші розміри апарату.

Розрахунок апаратів періодичної дії.

При розрахунку апаратів (машин) періодичної дії задаються продуктивністю за одиницю часу (за годину, добу тощо) Π_{τ} і періодом процесу $\Delta\tau$.

Число партій продукту на добу, які виробляється одним апаратом **b**, визначається:

$$b = \frac{24}{\Delta\tau}. \quad (1.6)$$

Число партій **a**, яке повинно бути випущено за добу для досягнення заданої продуктивності:

$$a = \frac{\Pi_{\tau}}{V_p}, \quad (1.7)$$

де Π_{τ} – продуктивність апарату; V_p – робочий об'єм апарату.

Необхідна кількість апаратів або машин:

$$n = \frac{a}{b} = \frac{\Pi_{\tau}\Delta\tau}{24V_p}. \quad (1.8)$$

Якщо задана продуктивність забезпечується роботою одного апарату або машини ($n = 1$), то його робочий об'єм:

$$V_p = \frac{\Pi_{\tau}\Delta\tau}{24}. \quad (1.9)$$

Розрахунок апарату безперервної дії.

Для апаратів ідеального витіснення, в яких протікає масообмінний процес, що призводить до зміни концентрації початкового продукту від X_H до X_K , основне рівняння можна записати у вигляді:

$$\frac{M}{V_p\tau} = K_v\Delta X_{CP}. \quad (1.10)$$

де M – масова кількість одержуваного продукту; τ – тривалість процесу; K_v – об'ємний коефіцієнт швидкості процесу; ΔX_{CP} – середня рушійна сила процесу.

У загальному випадку ΔX_{CP} визначається як середня величина рушійної сили в межах зміни концентрацій від X_H до X_K :

$$\Delta X_{CP} = \frac{1}{X_K - X_H} \int_{x_H}^{x_K} \Delta X_{CP} dx. \quad (1.11)$$

Якщо, об'єм сировини, що переробляється в одиницю часу, становить Π_τ , то середня продуктивність апарату (кг/с):

$$\Pi_a = \frac{M}{\tau} = \Pi_\tau (x_K - x_H) \quad (1.12)$$

а об'єм апарату, який обіймає робоче середовище:

$$V_p = \frac{\Pi_\tau (x_K - x_H)}{K_v \Delta X_{CP}}. \quad (1.13)$$

Між продуктивністю апарату і об'ємом, займаним робочим середовищем, існує певний зв'язок.

З рівняння витрати:

$$P_\tau = Fv \quad (1.14)$$

де F – площа поверхні поперечного перетину апарату; v – лінійна швидкість.

Помноживши і поділивши праву частину цього рівняння на довжину апарату L , отримаємо:

$$\Pi_\tau = \frac{FLv}{L} = \frac{V_p}{\tau}, \quad (1.15)$$

тоді $V_p = \Pi_\tau \tau$

тривалість процесу τ , с, визначається за формулою:

$$\tau = \frac{X_K - X_H}{K_v \Delta X_{CP}}. \quad (1.16)$$

Якщо об'єм апарату V_p , займаний робочим середовищем, виявляється значним, то встановлюють кілька паралельно працюючих апаратів з об'ємами $V_n = V_p / n$.

Контрольні питання до теми 1

1. Які основні завдання вирішує ця дисципліна?
2. Що повинен знати і вміти студент?
3. Які навички повинен отримати студент?
4. Чим відрізняється технологія від промислової технології?
5. Яке вчення являє собою кінетика?
6. Які параметри входять в загальне некінетичне рівняння?
7. Що називається рушійною силою процесу?
8. На які групи і за якою ознакою класифікуються процеси харчових виробництв?
9. Які процеси відносяться до механічних?
10. Які процеси відносяться до гідромеханічних?
11. Що є рушійною силою гідромеханічних процесів?
12. Які процеси відносяться до теплообмінних?
13. Що є рушійною силою теплообмінних процесів?
14. Які процеси відносяться до масообмінних?
15. Що є рушійною силою масообмінних процесів?
16. У якій послідовності проводиться розрахунок апаратів?
17. Які процеси вважаються періодичними?
18. Які процеси вважаються безперервними?
19. Які процеси вважаються змішаними (комбінованими)?
20. Які параметри характеризують періодичні і безперервні процеси?
21. Чим відрізняються стаціонарні процеси від нестаціонарних?
22. Які особливості процесу в апаратах ідеального змішування?
23. Які особливості процесу в апаратах проміжного типу?
24. Яка методика розрахунку апаратів періодичної дії?
25. Яка методика розрахунку апаратів безперервної дії?
26. Які вчені стояли біля витоків науки про процеси і апарати?
27. Що називається системою?
28. Чим відрізняється процес від виробничого процесу?
29. Яка різниця між технологією і промисловою технологією?
30. Яка відмінність між машиною і технологічною машиною?
31. Які напрямки розрізняють в безперервному потоці?

Тести для перевірки знань.

- 1) Якому основному закону підпорядковуються процеси харчової технології?
 1. Закону кінетики.
 2. Закону збереження маси.
 3. Закону збереження енергії.
 4. Основному закону масопередачі.
- 2) Які процеси відносяться до механічних?
 1. Класифікація, формоутворення, подрібнення.
 2. Сепарування, перемішування, перегонка.
 3. Сушіння, фільтрування, випарювання.
 4. Центри фугування, осадження.
- 3) Які процеси відносяться до гідромеханічних?
 1. Псевдозрідження, осадження, фільтрування.
 2. Екстракція, класифікація, конденсація.
 3. Випарювання, кристалізація, різання.
 4. Дроблення, стирання.
- 4) Які процеси відносяться до теплообмінних?
 1. Заморожування, випарювання, конденсація.
 2. Осадження, сушіння, подрібнення.
 3. Перемішування, адсорбція, сепарування.
 4. Кристалізація, псевдозрідження.
- 5) Які процеси відносяться до масообмінних?
 1. Сушіння, абсорбція, ректифікація.
 2. Формоутворення, фільтрування, нагрівання.
 3. Охолодження, осадження, перемішування.
 4. Сепарування, просіювання.
- 6) Якою формулою позначається основний закон кінетики?
 1. $\frac{W}{F \tau} = \frac{1}{R}$
 2. $Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t_1 - t_2) \tau$
 3. $\frac{M}{V_p \tau} = K \cdot x$
 4. $\frac{dM}{Fdt} = \frac{1}{R} \Delta C$
- 7) Що є рушійною силою процесу?
 1. Перепад тисків, різниця концентрацій і температур.
 2. Зовнішня сила, що витрачається на підтримання протікання процесу.
 3. Сили механічного впливу робочих органів на процес.
 4. Кінетична енергія тіла, яке рухається.

- 8) Виробничий процес – це:
1. Сукупність послідовних дій для досягнення результату.
 2. Послідовність технологічних операцій.
 3. Вплив робочих органів на продукт.
 4. Переробка сировини з метою отримання кінцевого продукту.
- 9) Технологічний апарат являє собою:
1. Обладнання для проведення технологічного процесу без механічних пристроїв.
 2. Обладнання, яке виконує механічний рух з метою перетворення енергії або матеріалу.
 3. Технологічне обладнання для отримання певного виду продукту.
 4. Пристрій, що перетворює форму і положення матеріалу.
- 10) Технологічна машина представляє собою:
1. Пристрій, який перетворює форму, властивості і стан оброблюваного матеріалу.
 2. Пристрій для переробки сировини і отримання готового продукту.
 3. Пристрій, що виконує механічний рух для приводу робочих органів.
 4. Енергетична установка, яка виконує привод робочих органів.
- 11) Що являє собою термін кінетика?
1. Вчення про швидкості і механізми процесів харчової технології.
 2. Вчення про закономірності пересування сировини по технологічній лінії.
 3. Наука про технології виробництва харчових продуктів.
 4. Закон нерозривності потоку.
- 12) У періодичному процесі окремі стадії відбуваються:
1. В одному апараті, але в певній послідовності.
 2. Одночасно в різних місцях одного апарату або в різних апаратах.
 3. Одні в апаратах періодичної дії, а інші в апаратах безперервної дії.
 4. Окремі стадії процесу розбиті по циклам, які періодично повторюються.
- 13) Безперервний процес – це коли окремі стадії здійснюються:
1. Одночасно в різних місцях одного апарату або в різних апаратах.
 2. В одному апараті, але в певній послідовності.
 3. У різних апаратах, але в певній послідовності.
 4. Окремі стадії – в апаратах періодичної дії, а інші – в апаратах безперервної дії.
- 14) У змішаному процесі окремі стадії здійснюються:

1. Одні в апаратах періодичної дії, а інші в апаратах безперервної дії.
 2. Одночасно в різних апаратах.
 3. В одному апараті з перервами на завантаження і вивантаження.
 4. Окремі стадії розбиті на цикли.
- 15) Як називається зустрічний рух компонентів в безперервному потоці?
1. Протитечія.
 2. Прямотечія.
 3. Перехресний потік.
 4. Комбінований рух.
- 16) У яких апаратах всі частки продукту рухаються без перемішування?
1. Апарати ідеального витіснення.
 2. Апарати ідеального змішування.
 3. Апарати проміжного типу.
 4. Апарати із спеціальними насадками.
- 17) Як працює апарат ідеального змішування?
1. Частки продукту повністю перемішуються.
 2. Частки продукту не перемішуються.
 3. Частки продукту частково перемішуються.
 4. Частки продукту перемішуються з певною повторністю.

ТЕМА 2. НАУКОВІ ОСНОВИ І ПОЛОЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

2.1. ОСНОВНІ ЕТАПИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Теоретичним фундаментом науки про процеси і апарати харчових виробництв є такі закони:

1. Закон збереження маси і енергії, що допускають тільки такі перетворення, при яких суми маси і енергії всередині даної системи, що розглядається, залишаються незмінними. Закони збереження приймають форму рівнянь балансів (наприклад, матеріального і теплового).

2. Закони термодинамічної рівноваги, що визначають умови, при якому процес перенесення маси або енергії приходить до свого завершення. ***Стан системи, при якому необоротне перенесення речовини відсутнє, називається рівноважним.***

3. Закони перенесення маси і енергії, що визначають густину потоку будь-якої з цих субстанцій в залежності від градієнта потенціалу переносу, тобто від питомої віднесеної до одиниці об'єму потоку маси або енергії.

4. Закони кінематики протікання розглянутих технологічних процесів харчових виробництв.

Ці закони складають теоретичну основу всіх процесів в харчовій технології – гідромеханічних, теплових і масообмінних.

2.2. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ МАСИ І ЕНЕРГІЇ

Матеріальний баланс. Для визначення витрати початкових матеріалів, виходу готових продуктів, розмірів і продуктивності апаратів, необхідно попередньо провести розрахунки на основі збереження матерії.

Уявімо собі будь-який апарат, в якому здійснюється технологічний процес (рис. 2.1.). В апарат подається сировина в кількості M_A і M_B і надходять технологічні добавки M_C , а з апарату виходить готовий продукт M_D і відходи виробництва M_{AE} .

Дотримуючись закону збереження матерії, можна записати:

$$\begin{aligned} M_A &= M_B + M_C = M_D + M_E \\ \sum M_{ВХ} &= \sum M_{ВЫХ} \end{aligned} \quad (2.1)$$

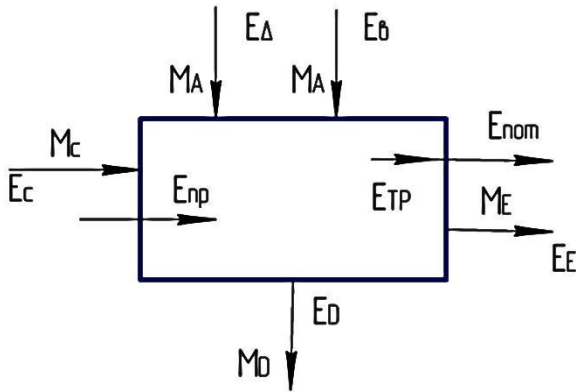


Рис. 2.1. Схема масових і енергетичних потоків в апараті

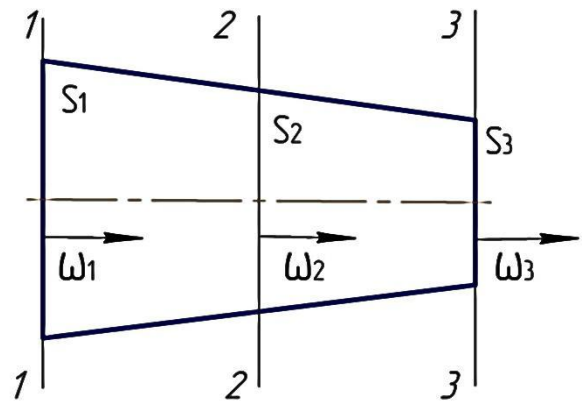


Рис. 2.2. Схеми рідини, що рухається в потоці (до рівняння нерозривності потоку)

Залежність (2.1.) називається матеріальним балансом процесу. Вона в однаковій мірі може бути застосована як до певної операції, або до цілого процесу, так і до будь-якої його стадії. Матеріальний баланс може бути складений для всіх матеріалів, що беруть участь в процесі, або для одного будь-якого компонента.

Для систем, які знаходяться в русі (поточних систем, закон збереження маси представляється рівнянням нерозривності (рис. 2.2.)

$$\omega_1 S_1 = \omega_2 S_2 = \omega_3 S_3 \quad (2.2)$$

де $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, – середні швидкості руху в відповідних перетинах; S_1, S_1, S_2, S_3 , – площа перетину рідкого потоку в площинах 1–1, 2–2, 3–3 відповідно.

Енергетичний баланс. Кожна речовина, що входить в апарат і виходить з нього, вносить або виносить певну кількість енергії. Це теплота, що вноситься або виноситься матеріалом, нагрітим до певної температури (внутрішня енергія або ентальпія), E_A, E_B, E_D, E_E ; це і кінетична енергія E_C рухомих потоків; це будь-який вид енергії, який надається в апараті для здійснення необхідних перетворень $E_{пр}$, і нарешті, це втрати енергії в результаті протікання процесів, наприклад, втрати теплоти в навколишнє середовище $E_{пот}$, і втрати на тертя $E_{тр}$, при проходженні потоків через апарат.

Закон збереження енергії в цьому випадку буде представлений наступним рівнянням:

$$E_A + E_B + E_C + E_{пр} = E_D + E_E + E_{пот} + E_{тр} ; \quad (2.3.)$$

$$\sum E_{вх} = E_{вых}$$

Рівняння (2.3) отримало назву **енергетичний баланс апарату**.

Тепловий баланс. В переважній більшості випадків в розрахунках реальних апаратів знаходять спожиту кількість теплоти.

Позначимо: Q_1 – кількість теплоти, введеної в процесі з матеріалами, кДж; Q_2 – кількість теплоти, введеної в процес ззовні, кДж; Q_3 – кількість теплоти, що виділяється в результаті проведення процесу, кДж; Q_4 – кількість теплоти, виведеної з процесу з матеріалами, кДж; Q_5 – кількість теплоти, що втрачається в навколишньому середовищі, кДж.

Рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (2.4)$$

Рівняння енергетичного балансу (2.3) і рівняння теплового балансу (2.4) ідентичні (однакові).

2.3. ЗАКОНИ РІВНОВАГИ СИСТЕМ

Істотним питанням, яке визначає стан системи, є ступінь її віддалення від стану рівноваги. Системи, що знаходяться в стані рівноваги, не змінюють свого стану в часі, тобто в будь-якій точці системи потенціал однаковий, а це значить, що рушійна сила перенесення дорівнює нулю. Такими системами є, наприклад, однорідні системи (газ, рідина), у яких тиск і температура однакові у всіх частинах.

Для виведення такої системи зі стану рівноваги необхідний вплив на неї ззовні, наприклад, шляхом механічного або теплового впливу.

В інженерній справі одним з найважливіших питань є питання про напрям зміни в стані системи при зовнішньому впливі, дослідження якого спирається на два положення термодинаміки – принцип Ле-Шательє і правило фаз Гіббса.

Принцип Ле-Шательє. *Якщо зовнішнім впливом вивести систему зі стану рівноваги, в ній довільно почнуться зміни, які повертають її в новий стан рівноваги, відповідний зміненим зовнішнім умовам.*

Основи складних процесів організації і управління ними – використання об'єктивно існуючої природної закономірності самостійного переходу будь-якої системи до стану рівноваги. **Рівноважним вважається такий стан системи, який сам встановлюється в ній і не змінюється в часі. Ніякі процеси в системі при цьому не відбуваються.**

Приклад. У циліндричній посудині з водою і поршнем над нею рівноважний тиск парів над поверхнею води довільно встановлюється відповідним температурі посудини. Якщо зовнішньою умовою перемістити поршень в нове положення, тиск парів над поверхнею води збільшиться. Це викличе мимовільну їх конденсацію. В

результаті через деякий час тиск парів прийме початкове значення, тобто система знову опиниться в рівновазі, хоча положення поршня стало новим.

Застосовуючи принцип Ле-Шательє до конкретних процесів, ми можемо встановити, які параметри потрібно змінити, щоб викликати необхідні для виробництва зміни в стані системи.

Правило фаз Гіббса. *Встановлює залежність між кількістю компонентів системи K , кількістю фаз f , числом ступенів її свободи S і дозволяє встановити кількість змінних, що визначають рівновагу системи, які можуть бути обрані довільно.*

$$S = K - f + 2 \quad (2.5)$$

У багатокомпонентній багатофазній системі частина параметрів може змінюватися незалежно, тобто їм можна задавати довільні значення; частина параметрів, що залишилася, є залежною; їх зміни автоматично підлаштовуються до змін незалежних параметрів.

Приклад. У закритій посудині з розчином етилового спирту у воді число фаз $f = 2$ (пара і рідина); кількість компонентів $K = 2$ (вода і спирт); кількість ступенів свободи $S = 2 - 2 + 2 = 2$. Параметрами, що визначають стан цієї системи, являються температура, тиск і концентрація спирту. Довільні значення можуть бути задані тільки для двох параметрів, наприклад, для концентрації спирту і температури. Тиск же (посудина має бути закрита, щоб система була замкненою) встановлюється довільно і визначається заданими параметрами.

2.4. РУШІЙНА СИЛА ПРОЦЕСУ

Будь-яке перенесення речовини або енергії не відбувається сам по собі. Причина перенесення - наявність в системі нерівноваги. Для характеристики цієї нерівноваги скористаємося відомими з фізики електрики поняттями потенціалу і поля.

Подібно до електричного поля, що утворюється навколо точкового заряду в просторі, точкове джерело теплоти утворює **теплове температурне тіло**. Це справедливо для точкового джерела будь-якого виду енергії і маси. Позначимо характеристику «поля».

Поле – це сукупність значень якої-небудь величини в кожній точці розглянутого простору.

Якщо мова йде про джерело теплоти, то температура в просторі навколо нього залежить від положення точки і від часу.

$$T = f(x, y, z, \tau). \quad (2.6)$$

У разі, якщо змін температури у часі немає, вираз спрощується і мова йде про стаціонарне поле на відміну від першого нестационарного.

$$T = f(x, y, z). \quad (2.7)$$

Кожна точка температурного поля характеризується своїм потенціалом. Тоді рушійна сила процесу є **різниця потенціалів** в двох точках розглянутого простору.

Різниця потенціалів у двох точках температурного поля є різниця температур або рушійна сила (наприклад, температура нагрівальної пари і температура продукту).

$$T = T_1 - T_2 \quad (2.8)$$

Аналогічно в якості рушійної сили інших технологічних процесів виступає:

- різниця концентрацій (наприклад концентрація цукру в буряках C_1 і концентрація цукру в екстрагенті C_2).

$$\Delta C = C_1 - C_2 \quad (2.9)$$

Різниця тисків (до фільтрувальної перегородки P_1 і після неї P_2)

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.10)$$

В цілому в ряді процесів рушійною силою є механічна.

Розглянемо точкове джерело теплоти в плоскому перетині простору (рис. 2.3). Легко уявити навколо цього джерела деякі криволінійні поверхні, уздовж яких температура залишається постійною. Нехай на поверхні А підтримується температура $T = \text{const}$, а на поверхні В температура вище на ΔT , тобто $T + \Delta T = \text{const}$.

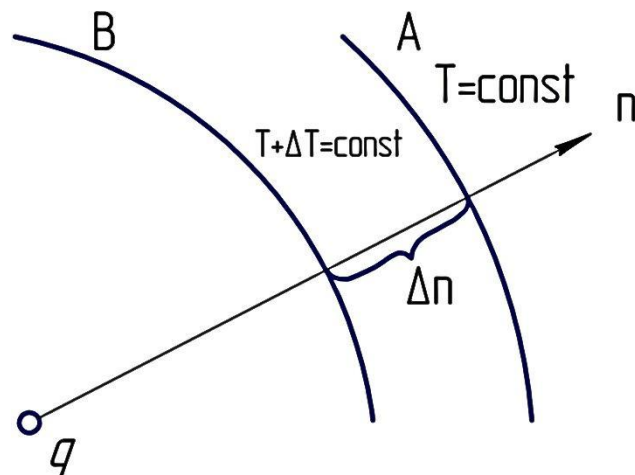


Рис. 2.3. Ізотермічні поверхні температурного поля.

Швидкість зміни температури ΔT від поверхні А до поверхні В можна характеризувати відношенням ΔT до відрізка, на якому ця зміна досягнута. Очевидно, що найбільша швидкість досягається в напрямку нормалі до поверхні n .

Таким чином, відношення $\Delta T / n$ характеризує максимальну швидкість зміни температури.

$$\lim \left(\frac{\Delta T}{\Delta n} \right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{dT}{dn}, \quad \bar{n} = \overline{q \text{ grad} T} \quad (2.11)$$

Градiєнт – величина векторна, яка показує, що температура збільшується в напрямку до джерела, тобто назустріч потоку теплоти.

Подібним чином для характеристики поля концентрації C маємо для одного напрямку.

$$q \text{ grad} C = \frac{dC}{dn} \bar{n} \quad (2.12)$$

Поняття «градієнт» – універсальне для характеристики будь-якого поля.

2.5. ЗАКОНИ КІНЕТИКИ ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСУ

Кінетика – це вчення про швидкості і механізми гідромеханічних, теплових і масообмінних процесів.

Кінетика є науковою основою створення нових і вдосконалення існуючих процесів в харчовій технології. Знання кінетичних закономірностей процесів необхідно для розрахунку основних розмірів апаратів. Загальні кінетичні закономірності процесів харчової технології, за винятком механічних процесів, формуються у вигляді загального закону.

Загальний закон кінетики – швидкість процесу прямо пропорційна рушійній силі і обернено пропорційна опорі.

$$j = \frac{dE}{F d\tau} = \frac{\Delta}{R} = K \Delta \quad (2.13)$$

де j – швидкість процесу; E – кількість маси і енергії; F – площа, крізь яку проходить маса або енергія; τ – тривалість процесу; Δ – рушійна сила; R – опір; K – коефіцієнт швидкості, зворотний опорі.

У загальному випадку рушійною силою процесу є різниця потенціалів, а в окремих випадках – перепад тисків між входом потоку в апарат і виходом потоку з апарату (для гідромеханічних процесів), температури або концентрації.

При розгляді процесів різної природи було помічено, що їх кінетичні рівняння аналогічні.

Для теплових процесів кінетичне рівняння має вигляд:

$$\frac{dQ}{Fdt} = \frac{1}{R_T} \Delta t = K_T \Delta t \quad (2.14)$$

де Q – кількість переданої теплоти, кДж; F – поверхня теплообміну, m^2 ; τ – час процесу, с; Δt – рушійна сила процесу переходу теплоти, град; R – опір переходу тепла; K_T – коефіцієнт теплопередачі, кДж/($m^2 \cdot c$), град, $K_T = 1/R$.

Тепловий потік, q – кількість теплоти, яка переноситься через одиницю поверхні в одиницю часу.

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau}$$

Для масообмінних процесів кінетичне рівняння має аналогічний вид:

$$\frac{dM}{Fdt} = \frac{1}{R_M} \Delta C = K_M \cdot \Delta C \quad (2.15)$$

де M – маса переданої речовини, кг; F – площа поверхні масообміну, m^2 , R_M – опір масопередачі; ΔC – рушійна сила процесу масопередачі, виражена різницею концентрацій, кг/ m^3 , K_M – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність передачі маси $\frac{кг}{m^2 \cdot c \cdot кгm^3}$

Звідки масовий потік визначиться:

$$m = K_M \cdot \Delta C \quad \text{або} \quad m = \frac{M}{F \cdot \tau}, \quad (2.16)$$

де m – масовий потік, кг/($m^2 \cdot c$).

Для гідромеханічних процесів, наприклад для фільтрації, кінетичне рівняння може бути записано у вигляді:

$$\frac{dV}{F \cdot dt} = \frac{1}{R_\Gamma} \cdot \Delta P = K_\Gamma \cdot \Delta P \quad (2.17)$$

де V – об'єм фільтрату, m^3 , F – площа поверхні фільтра, m^2 ; ΔP – гідравлічний опір фільтру; $K_\Gamma = 1/R_\Gamma$ – коефіцієнт провідності фільтруючого середовища.

Тоді швидкість фільтрування гідромеханічного процесу визначиться:

$$\omega = \frac{V}{F \cdot \tau} \quad (2.18)$$

де ω – швидкість фільтрування, $m^3/(m^2 \cdot c)$.

Рівняння (2.17) відомо в науці, як **рівняння фільтрації Дарсі**.

Аналіз кінетичних рівнянь дозволяє визначити загальний принцип інтенсифікації процесів: для збільшення швидкості протікання процесу необхідно збільшити рушійну силу і зменшити опір.

Основні процеси харчової переробної технології можна охарактеризувати наступним чином (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Характеристика основних процесів

Процеси	Рушійна сила	Перенесення	Приклади технологічних процесів
Механічні	Механічна сила	Кількість руху	Подрібнення, різання, сортування, пресування
Гідромеханічні	різниця тисків	Маси рідини	Відстоювання, фільтрування, сепарація, псевдозрідження, перемішування
Теплообмінні	Різниця температур	Теплоти	Нагрівання, охолодження, випарювання, конденсація, заморожування
Масообмінні	Різниця концентрацій	Маси компонентів	Абсорбція, адсорбція, екстракція, кристалізація, сушіння, перегонка

Дана характеристика торкається лише основних процесів харчових виробництв. Сюди не увійшли багато процесів, характерні для окремих галузей, таких, як: хімічні, біохімічні, мікробіологічні. Всі ці процеси вивчаються в розділах спеціальної технології.

2.6. ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОБУДОВИ АПАРАТІВ

Вимоги, що пред'являються до апаратів.

При створенні нового технологічного процесу, нових апаратів і машин та їх розрахунках, оцінці існуючих процесів та роботи діючої апаратури, враховується цілий ряд вимог, що пред'являються до машин та апаратів.

Доцільно побудований апарат повинен задовольняти експлуатаційним, технологічним, конструктивним, естетичним, екологічним вимогам і вимогам технічної безпеки і промсанітарії.

Технологічні вимоги.

Ці вимоги є основними при конструюванні і розрахунку апаратури. Вони враховують:

- характер процесу – безперервність (потоковість) напівнеперервність, періодичність.
- агрегатний стан матеріалу, який переробляється;
- продуктивність – при цьому враховується об'єм, форма, габарити і номенклатура апаратури, що випускається заводами, резерв продуктивності на випадок ремонту, а також економічні, будівельно-монтажні та інші можливості.
- температурний режим процесу і спосіб оптимального його здійснення.
- характер теплообмінних середовищ, використання теплоносіїв в кожному конкретному випадку (гаряча вода, масло, насичений пар, димові гази, полум'я, електричний струм; в якості охолоджувачів – вода, повітря, холодильні агрегати.
- технологічні умови здійснення процесу – під атмосферним тиском, у вакуумі;
- тривалість обробки – прагне до більш короткочасної обробки продуктів, так як при цьому краще зберігаються їх властивості;
- корозійні властивості продукту на стінки апарату;
- вплив матеріалу апарату на властивості продукту, що переробляється в ньому.

Конструктивні вимоги.

В основному ці вимоги зводяться до того, щоб апарат мав невелику масу, належну міцність, стандартні і легко замінені деталі, а монтаж, обслуговування і чищення його були б зручними і нетрудомісткими. Для зменшення маси вибирають таку його форму, при якій відношення бічної поверхні до його об'єму F_a/V_a , було б мінімальним. Таке відношення мають апарати кульової форми з плоским дном. Ця умова витримується при відношенні висоти апарату до його діаметру H/D рівним 2.

Геометричні розміри апарату безперервної дії, в якому обробляється велика кількість продуктів G (кг/с) визначаються наступним чином. При відомому часі перебування продукту в апараті корисний його об'єм можна визначити з виразу:

$$V_{\Pi} = \frac{G \cdot \tau}{\rho}, \quad (2.19)$$

де V_{Π} – корисний об'єм апарату, m^3 ; G – кількість оброблюваного продукту (продуктивність), kg/s ; τ – час перебування продукту в апараті, s ; ρ – густина продукту, kg/m^3 .

З урахуванням коефіцієнта наповнення апарату, повний об'єм дорівнює:

$$V = \frac{V_{\text{п}}}{\varphi} \quad (2.20)$$

де V – повний об'єм апарату, м^3 ; φ – коефіцієнт поповнення апарату.

При відомій швидкості проходження продукту через апарат, площа його поперечного перерізу визначиться:

$$F = \frac{V_{\text{п}}}{\omega} \quad (2.21)$$

де F – площа поперечного перерізу апарату, м^2 ; ω – швидкість проходження продукту через апарат, м/с .

Довжина або висота апарату для перебування продукту з часом визначиться:

$$L = \omega \cdot \tau, \quad (2.22)$$

де L – довжина або висота апарату, м .

Для апаратів, в яких процеси не супроводжуються інтенсивним спіненням рідини і паротворенням, коефіцієнт наповнення $\varphi = 0,8 \dots 0,85$, а для апаратів з інтенсивним пароутворенням та інтенсивним випаровуванням $\varphi = 0,5 \dots 0,6$.

Експлуатаційні вимоги.

Відповідність апарата цільовому призначенню. Цільове призначення апарату полягає у створенні оптимальних умов для проведення технологічного процесу. Ці умови визначаються типом процесу, агрегатним станом оброблюваного продукту, його хімічним складом і фізичними властивостями (в'язкість, пружність, пластичність, текучість).

Такими умовами можуть бути, наприклад, нагрівання і змішування, що забезпечують рівномірну і швидку обробку продукту без перегріву, розкладання органічної речовини і відсутність мертвих зон в апараті. Апарату повинна бути надана форма, яка забезпечила б необхідні технологічні умови протікання процесу (тиск, при якому відбувається процес; швидкість руху і ступінь турбулізації потоку оброблюваних мас; створення необхідного контакту фаз в апараті; механічні, теплові, електричні і магнітні впливи).

Розглянемо елементарний приклад. Потрібно підігріти і перемішати в'язкий розчин, що містить зважені частинки термонестійкої речовини (наприклад, розчин цукру, який містить кристали цукру). Для цієї мети можуть бути застосовані два апарати. В апараті (рис.2.4) неминуче осадження частинок твердої речовини на дні і в кутах. У цих місцях відбуватиметься пригорання і руйнування продукту.

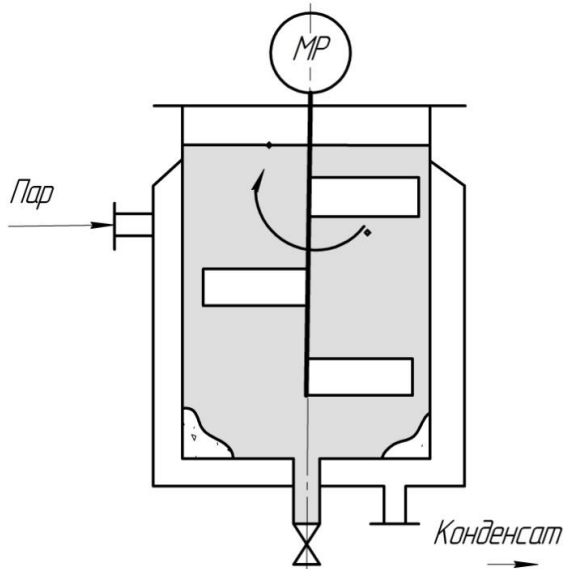


Рис. 2.4. Схема мішалки, що не задовольняє технологічним вимогам

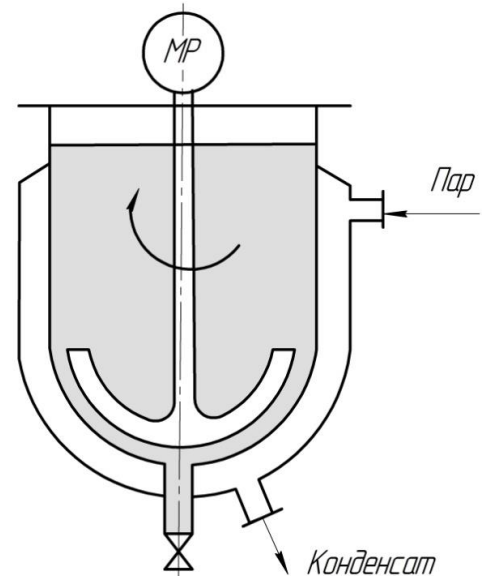


Рис. 2.5. Схема мішалки, що задовольняє технологічним вимогам

Отже, форма цього апарата не створює необхідних для протікання процесу умов. Більшою мірою задовольняє цільовому призначенню апарату зображений на рис. 2.5. Апарат має сферичне днище, поєднане з циліндричним корпусом і мішалку якірного типу. Все це запобігає утворенню осаду і пригоранню його на стінках днища. З наведеного прикладу видно, що для того, щоб сконструювати апарат, необхідно знати і враховувати властивості оброблюваної системи. Нехтування до експлуатаційних вимог веде до псування продукту.

Висока інтенсивність роботи апарату. Однією з основних характеристик є його **продуктивність** – кількість сировини, що переробляється в апаратах за одиницю часу, або кількість готового продукту, який видається апаратом за одиницю часу. При виробленні масової продукції продуктивність виражається в масових або об'ємних одиницях за одиницю часу.

Інтенсивність роботи апарату – це його продуктивність, віднесена до будь-якої основної одиниці, яка характеризує даний апарат. Наприклад, інтенсивність роботи сушарки виражається кількістю видаленої з матеріалу вологи за 1 годину, віднесеної до 1 м^3 об'єму сушарки, інтенсивність роботи випарного апарату – кількість води, яка випаровується за 1 годину, віднесена до 1 м^2 поверхні нагріву.

Очевидно, що для досягнення великої продуктивності при малих габаритних розмірах апаратів, інтенсифікація процесу є основним завданням виробництва. Шляхи, якими вона досягається, різні для різноманітних типів апаратів.

Стійкість матеріалу апарату до корозії. Матеріал, з якого побудований апарат, повинен бути стійким при впливі на нього оброблюваних середовищ. У свою чергу, продукти взаємодії середовища і матеріалу не повинні володіти шкідливими властивостями в тому випадку, якщо продукт використовується для харчування.

Мала витрата енергії. Енергоємність апарату характеризується витратою енергії на одиницю сировини або продукції, що переробляється.

Доступність для очищення, огляду і ремонту. Для правильної експлуатації апарату його піддають систематичному огляду, чищенню та поточному ремонту. Конструкція апарату повинна забезпечувати можливість виробляти ці операції без тривалих зупинок.

Вимоги технічної естетики.

При розробці конструкцій апаратів і машин вимоги технічної естетики в найзагальнішому вигляді зводяться до того, щоб все вироблене людиною було не тільки корисно, а й красиво. Належний зовнішній вигляд апаратів в поєднанні з раціональним оформленням його, освітленістю і мікрокліматом в цеху знижує зорове і загальне стомлення робітника, полегшує працю, підвищує його продуктивність, сприяє отриманню продукту високої якості. Як кажуть авіатори – красивий літак, як правило, і добре літає.

Охорона природи і використання природних ресурсів.

По мірі прискорення технічного прогресу велику небезпеку для природного кругообігу в природі представляють відходи виробництв і споживання. Зростає інтенсивність всіх видів електромагнітного випромінювання і взаємодії шумового ефекту, що шкідливо впливають на навколишнє середовище та його мешканців.

Вода – одне з найважливіших природних багатств. Забруднення водних джерел викликає додаткові, капітальні та експлуатаційні витрати на очищення води. Використання в харчовій промисловості недостатньо чистої води погіршує якість продуктів харчування і прискорює знос апаратів

Унікальною особливістю мінерально-сировинної бази України є наявність практично всіх видів корисних копалин. Разом з тим слід зазначити, що прискорене зростання видобутку і часом нераціональне використання природних ресурсів, теплової та інших видів енергії і води викликає побоювання в забезпеченні ними виробничих споживачів на перспективу. Визначення меж подальшого виробничого **використання природних ресурсів з подальшим їх відтворенням** стає життєво важливою необхідністю. З цією метою слід виконувати такі вимоги:

1. Організувати посилений контроль за шкідливими викидами харчових виробництв, більш ефективно використовувати очисні установки і споруди.

2. Встановити граничні норми забруднення, враховуючи раціональні особливості контрольованої території.

3. Встановити сувору відповідальність керівників переробних підприємств за забруднення навколишнього середовища і нераціональне використання природних ресурсів.

4. Організувати поступовий перехід до безвідходної технології, як виробництва, так і не виробничих сфер.

5. Створити спеціальні галузі, що використовують в якості сировини відходи виробництва і споживання.

Інженерні вимоги.

До цих вимог належать – безперервність процесу і точність виробництва, механізація технологічних процесів і ліквідація ручної праці, автоматизація управління і регулювання, безпека роботи і охорони праці, зручність обслуговування, боротьба з шумом, зменшення маси і габаритів машин і апаратів.

Вимоги технічної безпеки при роботі і обслуговуванні апаратів і машин являються дуже важливими, так як від їх виконання залежить життя і здоров'я працюючих. Тому апарати розраховують і виготовляють з належним запасом міцності, обладнують запобіжними пристроями і захищають рухомі частини. В цьому відношенні найбільш безпечні герметично закриті апарати безперервної дії, в яких контроль і управління процесом автоматизовані.

Санітарно-гігієнічні вимоги до апаратів харчових підприємств повинні сприяти запобіганню бактеріального, механічного або хімічного забруднення або псування одержуваних продуктів харчування. При цьому апарати повинні бути герметичними, легко доступними для очищення і дезінфекції. Для їх виготовлення слід застосовувати такі матеріали, які при взаємодії з продуктами не утворює шкідливих для здоров'я людини речовин.

Ергономіка – наука про пристосування умов праці до людини інтенсивного виробництва має велике значення. Ергономіка розглядає практичні питання, що виникають при організації роботи людини з одного боку, і механізмів та елементів матеріального середовища з іншого.

В сучасних умовах, коли людина, що керує процесом, має справу з інтенсивними операціями, що швидко протікають, виникає нагальна потреба пристосування їх до фізіологічних і психологічних можливостей людини для забезпечення умов найбільш ефективної роботи, яка не створює загрози здоров'ю людини і виконується їм при меншій витраті сил. При побудові

апаратів вимоги ергономіки полягають в тому, щоб трудовий процес апаратника був пристосований до його фізичних і психологічних можливостей. Це повинно забезпечити максимальну ефективність праці та усунути можливу загрозу для здоров'я.

Економічні вимоги.

При проектуванні нового або раціоналізації існуючого процесу або апарату орієнтуються на оптимальні, економічні та технологічні режими його роботи. Величезне значення має інтенсифікація процесів, так як дозволяє досягти найбільшого виходу продукції і поліпшення її якості при меншій витраті енергії, полегшити працю апаратів.

Економічні вимоги, що пред'являються до апаратів, можуть бути розділені на дві категорії:

- Вимоги до проектування і спорудження апаратів;
- Вимоги до побудованої машини, яка знаходиться в експлуатації.

З точки зору цих вимог вартість проектування, спорудження та експлуатації машини повинна бути максимально низькою. Апарати, що задовольняють експлуатаційним і конструктивним вимогам, неминуче відповідають також і економічним вимогам. При впровадженні нової техніки і більш сучасних апаратів, може статися, що більш сучасний апарат виявиться дорожчим. Однак в цьому випадку, як правило, вартість експлуатації апарату зменшується, а якість продукції зростає і таким чином впровадження нового апарату стає доцільним.

При проектуванні апарату необхідно прагнути, щоб процес, який протікає в ньому, здійснювався в оптимальному варіанті. Завдання оптимізації полягає в тому, щоб вибрати такий варіант, при якому величина, яка характеризує роботу апарату (критерій оптимальності), має оптимальне значення. В якості критерію оптимальності найчастіше вибирають собівартість продукції. В такому випадку перед проектувальниками ставиться завдання – спроектувати апарат з такими даними, які забезпечать мінімальну собівартість продукції.

Інтенсифікація виробничих процесів.

На підставі накопиченого виробничого досвіду визначилися головні шляхи інтенсифікації до раціоналізації процесів:

1. Раціонально здійснювані виробничі процеси повинні протікати безперервно і стаціонарно; бажано щоб всі компоненти процесу мали повну безперервність руху.

2. Процеси повинні протікати можливо швидше; для цього необхідно створити найкращі умови контактування реагуючих тіл, наприклад, збільшити поверхню контакту. Прискорення процесу може бути досягнуто

зменшення товщини суміжної плівки рідини або газу, що утворюється на поверхні розділу фаз реагуючих компонентів, а також збільшенням швидкості руху рідини і газу.

3. Збереження ступеня рівномірності руху компонента по перетину апарату.

4. З точки зору напрямку руху компонентів, краще протиточні процеси, при яких найбільшою мірою використовується рушійна сила і процеси, що відбуваються з найбільшим збереженням протипотока компонентів без їх перемішування.

5. Процеси повинні протікати поточно без повернень і навіть бажано без циркуляції, щоб продукти знаходилися мінімальний час при високій температурі.

6. Повністю витримувати оптимальні технологічні умови протікання процесу.

7. Застосування нових технологічних процесів з використанням високих температур і тисків, глибокого вакууму.

8. Впровадження комбінованих способів підведення теплоти із застосуванням струмів високої і промислової частоти, ультразвука.

Матеріали для виготовлення апаратів.

Апарати харчових виробництв виготовляють з різноманітних матеріалів. При виборі їх керуються такими правилами:

а) матеріал повинен мати достатню механічну міцність для даних умов роботи, а також здатність оброблятися тими методами, які необхідні для надання йому потрібної форми; такими методами являються електрична і газова зварка, різання, згинання тощо;

б) матеріали і з'єднувальні шви повинні мати достатню стійкість проти впливу середовища і бути стійкими проти корозії;

в) за можливості слід вибирати недефіцитні матеріали.

Хімічна стійкість матеріалів:

Корозією металів називається процес руйнування металів внаслідок хімічної або електричної взаємодії із зовнішнім середовищем.

Корозійні процеси можуть бути розділені на дві великі групи:

***Перша група електрохімічної корозії** – руйнування матеріалу обумовлюється наявністю місцевих електричних струмів (гальванічна корозія); цей вид корозії особливо активно протікає в тому випадку, коли в конструкції є контакт декількох металів з різними електродними матеріалами;

***Друга група хімічної корозії** виникає за дії на метал сухих газів і рідких тіл, не здатних проводити електричний струм.

Для оцінки інтенсивності процесу корозії застосовують глибинний або масовий показники корозії.

Глибинний показник корозії П при рівномірній корозії вимірюється зменшенням товщини металу (в мм) за рік.

Масовий показник корозії К показує зменшення маси матеріалу (кг), віднесеної до 1 м² поверхні за 1 годину.

Зв'язок між цими показниками представлений наступним виразом:

$$П = \frac{К \cdot d \cdot D \cdot 1000}{\rho}, \quad (2.23)$$

де П – глибинний показник корозії, мм/рік; К – масовий показник корозії, кг/(м²·год); d – кількість годин у добі, год; D – кількість днів у році; ρ – щільність металу, кг/м³; 1000 – переведення м у мм.

В таблиці 2.2 наведена швидкість корозії, група і 10-бальна шкала оцінки корозійної стійкості металу.

При виборі металу для апарату рекомендується обмежуватися першими трьома класами і тільки при відсутності металів цих класів можна застосовувати метали четвертого класу.

Однак при цьому метал повинен бути захищений від корозії шаром корозійно-стійкого матеріалу. Стійкість одного і того ж матеріалу різна в різних середовищах. Таким чином, для кожного середовища повинен бути підібраний відповідний матеріал.

Таблиця 2.2. Корозійна стійкість матеріалу.

Група стійкості	Характеристика	Швидкість корозії, мм на рік	Бали
1	Абсолютно стійкі	Менш 0,00	0
2	Досить стійкі	0,001...0,005	1
		0,005...0,01	2
3	Стійкі	0,01...0,05	3
		0,05...0,1	4
4	Знижено стійкі	0,1...0,5	5
		0,5...1,0	6
5	Недостатньо стійкі	1,0...5,0	7
		5,0...10,0	8
6	Нестійкі	Понад 10	9

Метали в харчовому апаратобудуванні

Найбільш поширеними металами і сплавами в харчовому апаратобудуванні являються сталь, чавун, мідь, алюміній, латунь, бронза.

Сталь. Сталі, які використовуються в харчовому машинобудуванні можна розбити на дві групи:

1) Конструкційні, які застосовуються в загальному машинобудуванні при роботі в неагресивних середовищах;

2) Сталі, які мають особливі властивості (нержавіючі, кислототривкі, жаростійкі і жароміцні).

У більшості галузей харчової промисловості (бурякоцукровій, спиртовій, кондитерській тощо) середовища не відрізняються великою агресивністю, тому можна застосовувати звичайні вуглецеві сталі. Для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в неагресивних середовищах (колінчасті вали компресорів, вали центрифуг), застосовуються якісні вуглецеві сталі підвищеної міцності та високої пружності, а також конструкційні, якісні, низьколеговані і леговані сталі.

Якщо середовище агресивне настільки, що застосування конструкційних сталей стає неможливим (наприклад, середовищем являються кислотні і лужні розчини, або коли робота здійснюється при високих температурах) застосовуються спеціальні сталі: нержавіючі, кислототривкі, жаростійкі і жароміцні.

Сучасні нержавіючі, кислототривкі сталі представляють собою сплави заліза з хромом. Додатково ці сталі легують нікелем, молібденом, титаном, марганцем, що покращує їх опірність.

Жаростійкі сталі здатні протистояти корозійному руйнуванню гарячих газів (повітря, топкові гази). Застосовуються для виготовлення підігрівачів повітря, муфелей, апаратури печей. Найбільш широке застосування в промисловості отримали хромисті сталі. Застосовуються також хромисті сталі з вмістом Si і Al. В якості легуючих речовин використовують молібден і вольфрам. Гранична робоча температура жаростійких сталей може досягати 1500 °С.

Жароміцні сталі надають високий опір впливу статичних навантажень при високих температурах (високий опір повзучості). Ці сталі являються і жаростійкими. Основою більшості жароміцних сталей є система залізо-хром-нікель.

Чавун. Чавун широко застосовується в харчовому апаратуробудуванні для відливання як порівняно невеликих деталей, так і великих апаратів, які цілком виконуються з чавуну. З чавуну виготовляють фільтр пресові рами, деталі насосів, компресорів, поршневі кільця, труби, з'єднувальні елементи труб. Цінними властивостями чавуну є його високі ливарні якості. Додавання до чавуну легуючих елементів (Cr, Ni, Mo) підвищує його хімічну стійкість і жароупорність. Так хромисті чавуни з успіхом застосовуються для

виготовлення топок, частин барабанних сушарок і інших деталей, що працюють при високих температурах. Застосовуються також чавунні апарати з покриттям з емалі.

Мідь. Мідь та її сплави мають високу корозійну стійкість і теплопровідність, що пояснює їх широке застосування при виготовленні харчових апаратів, особливо теплообмінних. Крім того, як і в гарячому так і в холодному стані мідь має високу електропровідність і пластичність. Остання властивість дозволяє надавати мідним листам найрізноманітнішу форму шляхом витягання. Мідь допускає згинання фальцами, з'єднання заклепками, лютування на міцному лютці і зварювання. Відмінною особливістю міді є те, що при низьких ($-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах її механічні властивості не знижуються а навіть підвищуються. Мідь широко застосовується для побудови ректифікаційних апаратів спиртового виробництва, випарних апаратів кондитерського і рафінадного виробництва, випарних і перегінних апаратів лікеро-горілчаного виробництва.

Механічні властивості і ливарні якості міді невисокі, тому в харчовій промисловості застосовуються її сплави – бронза і латунь.

Бронза. Сплав міді з оловом, алюмінієм, кремнієм, берилієм, марганцем або свинцем. Хімічна стійкість алюмінієвих і кременистих бронз не нижче ніж оловянистих.

Найбільше застосування мають цинові бронзи. Вони містять до 13,8% олова, застосовуються для корпусів насосів, клапанів, шестерень антифрикційних деталей кранів та іншої апаратури масою до 1 т.

Латунь. Сплав міді з цинком. Крім того, застосовуються складні латуні, що містять добавки олова, алюмінію, нікелю та марганцю. Вони застосовуються у вигляді литих виробів, легко піддаються зварюванню.

Алюміній. Широко застосовується для виготовлення апаратів харчових виробництв, особливо пивоварного і молочного. Чистий алюміній має велику електрохімічну активність, але в умовах роботи апаратів його поверхня швидко покривається окисною захисною плівкою, яка запобігає його руйнуванню. Алюміній випускається у вигляді листів, труб і прокату різних профілів. Алюміній має гарну теплопровідність, досить високу міцність, малу щільність, легко вальцюється, штампується і обробляється різанням; він добре зварюється, але має невисокі ливарні властивості. Крім алюмінію, застосовують його сплав з міддю (3,8...5,2 % Cu) – **дюралюміній**. Антикорозійні властивості цього сплаву нижче, ніж у чистого алюмінію.

Олово. Має гарну стійкість в середовищах, що містять органічні кислоти. Воно застосовується для покриття сталеві і мідної апаратури, для

захисту від окиснення (лудіння), вживається також як складова частина лютців.

Неметалеві матеріали.

Крім металів, в харчовому апаратобудуванні застосовують і неметалеві матеріали:

- а) неорганічного походження;
- б) органічного походження.

До першої групи належать гірські породи і штучні силікатні матеріали, отримані шляхом повного розтоплення сировини (скла).

До другої групи належать дерево, вугілля, пластичні матеріали. Група пластичних матеріалів вельми різноманітна. Сюди входять пластичні маси, отримані на основі полімеризації смол, асфальто-піскові матеріали, матеріали на основі каучуку. Пластичні маси легші, ніж метали, та їх застосування зменшує масу апаратів. Вони мають високу механічну стійкість і добре піддаються механічній обробці. Вартість виробів із пластмас нижче вартості виробів з металу.

Скло. Воно застосовується в якості заміника міді і стали, при виготовленні апаратури і трубопроводів. Застосування скла підвищує гігієнічні умови виробництва продуктів харчування. Скло застосовується на заводах фруктових вод, виноробних підприємств, а також на молочних підприємствах. Воно може застосовуватися для транспортування сипучих тіл, наприклад борошна, пневмотранспортом.

Основними перевагами скла є прозорість, хімічна стійкість, малий коефіцієнт термічного розширення. Скло не гігроскопічно і не горюче. Гідравлічний опір скляних трубопроводів менше ніж металевих.

Основний недолік скла – крихкість. Скляні труби поділяються на три класи:

- * СТБ – безнапірні;
- * СТ – 4 – на тиск 0,4 МПа;
- * СТ – 8 – на тиск 0,8 МПа.

Вони працюють в інтервалі температур від – 50 до +150 °С за умови, що різка зміна температури не перевищує 40 °С. Недоліком скляних труб є складність з'єднання окремих частин. Тонкостінні скляні труби діаметром до 60 мм можна з'єднати газовим зварюванням.

Бакеліт. Синтетичний продукт, отриманий в результаті взаємодії феноло-формальдегідних смол; використовується головним чином у вигляді лаків, одержуваних розчиненням цих смол в органічних розчинниках (етиловий спирт). Бакелітові лаки наносять на металеві поверхні для захисту від корозії.

Фаоліт. Матеріал, що отримується з смоли при змішуванні її з кислототривким наповнювачем (азбестом, графітом). Фаоліт випускається у вигляді листів. Він може застосовуватися при температурах від -30°C до $+120^{\circ}\text{C}$. Фаоліт піддається всім видам механічної обробки і має значну міцність.

Текстоліт. Шаруватий матеріал, отриманий пресуванням смуг тканини фенол- або крезолальдегідними смолами. Текстоліт досить міцний, піддається механічній обробці, має велику хімічну стійкість.

Вініпласт. Тверда пластична маса, яка отримується при тепловій та механічній обробці поліхлорвінілової смоли з деякими добавками. Вініпласт піддається різним видам механічної обробки, склеюванню, електричному та газовому зварюванню. Він має високу хімічну стійкість і значну механічну міцність.

Поліетилен. Високомолекулярний продукт, отриманий при полімеризації етилену. Поліетилен з молекулярною масою близько 20000 – твердий еластичний хімічно стійкий матеріал. При температурі 30°C стійкий до впливу концентрованих мінеральних кислот і лугів. Нерозчинний в спирті. Витримує температуру від -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$; добре обробляється різанням, штампуванням і зварюванням. Випускається у вигляді листів, стрижнів, труб і плівок.

Вибір матеріалу при проектуванні апаратів.

Тривалість роботи апарату в значній мірі залежить від правильного вибору матеріалу для його виготовлення. З іншого боку, матеріал, з якого побудований апарат, призначений для приготування харчових продуктів, повинен відповідати санітарно-гігієнічним вимогам. Тому вибір матеріалу повинен бути обґрунтований з двох точок зору. При виборі матеріалу для побудови апарату необхідно враховувати властивості середовища і температуру, при якій буде проводиться робота. Потрібно мати на увазі, що агресивне середовище знижує механічні якості металів. Так, при одночасному впливі агресивного середовища і закономірних навантажень, зменшується межа втомної міцності металів.

При конструюванні апаратів, що містять електроліти, необхідно уникати застосування в конструкції різнорідних металів. При контакті двох різнорідних металів утворюється гальванічна пара, яка призводить до швидкого руйнування апарату. Гальванічні пари утворюються також і при контакті елементів з одного і того ж матеріалу, але піддаваних різній механічній обробці. Пари можуть виникнути і внаслідок структурної неоднорідності металів.

З гігієнічної точки зору повинно бути продумане питання про вплив продуктів взаємодії матеріалу, апарату і середовища на харчову або смакову якість продукту. Так, наприклад, спирт, одержуваний в брагопeregінних апаратах, виконаних з чавуну, що містить сірку, має поганий смак і запах.

Контрольні питання до теми 2

1. Яку форму прийме рівняння матеріального балансу для потоку рідини?
2. Що таке рушійна сила процесу?
3. Як виражається рушійна сила процесу?
4. Чим визначається рівновага системи?
5. Напишіть основне кінетичне рівняння.
6. Назвіть процеси, де здійснюється перенесення тепла.
7. Що є рушійною силою масопередачі?
8. Наведіть приклади процесу масоперенесення.
9. Який стан системи називається рівноважним?
10. Яка різниця між енергетичним і тепловим балансами?
11. Що визначає принцип Ле-Шательє?
12. Яку залежність встановлює правило фаз Гіббса?
13. Надайте характеристику тепловому температурному полю.
14. Що таке градієнт?
15. Напишіть формулу визначення температурного градієнта.
16. Що є тепловим потоком, напишіть формулу його визначення?
17. Як визначається швидкість фільтрування гідромеханічного процесу?
18. Що переноситься в теплообмінних процесах?
19. Які параметри входять в формулу енергетичного балансу?
20. Що таке кінетика?
21. Що переноситься в масообмінних процесах?
22. Які процеси відносяться до теплообмінних?
23. Що переноситься в механічних процесах?
24. Які процеси відносяться до механічних?
25. Що переноситься в гідромеханічних процесах?
26. Які процеси відносяться до гідромеханічних?
27. Що переноситься в теплообмінних процесах?
28. Які процеси відносяться до теплообмінних?
29. Що враховують технологічні вимоги до апаратів?
30. Як оцінюється корозія глибинним показником?
31. Як визначається корозія масовим показником?
32. Які сталі застосовуються в харчовому апаратобудуванні?
33. Де в апаратобудуванні застосовуються жаростійкі сталі?

34. Які деталі і вироби виконуються з чавуну для виготовлення апаратів?
35. Які властивості має мідь?
36. Дайте характеристику основним сплавів міді.
37. На які групи діляться неметалеві матеріали?
38. Перерахуйте основні переваги скла.
39. Назвіть основні класи скла.
40. Перерахуйте основні види пластичних мас і дайте їх характеристику.

Тести для перевірки знань

1. Який закон визначає густину потоку?
 1. Закон перенесення маси і енергії.
 2. Закон термодинамічної рівноваги.
 3. Закон кінетики протікання процесів.
 4. Рівняння нерозривності потоку.
2. Яке рівняння представляє енергетичний баланс процесу?
 1. $E_A + E_B + E_C + E_{пр} = E_D + E_{пот} + E_E + E_{тр}$.
 2. $M_A + M_B + M_C = M_D + M_F$.
 3. $Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5$.
 4. $\omega_1 S_1 = \omega_2 S_2 = \omega_3 S_3$
3. Яке рівняння представляє матеріальний баланс?
 1. $\sum M_{входа} = \sum M_{выхода}$.
 2. $\sum Q_{введенной} = \sum Q_{выведенной}$.
 3. $\sum E_{входа} = \sum E_{выхода}$.
 4. $\sum V_{в начале проц} = \sum V_{в конце процесса}$
4. Який принцип або правило встановлює залежність між числом компонентів і числом фаз?
 1. Правило Гіббса.
 2. Правило Ле-Шательє.
 3. Загальний закон кінетики
 4. Закон термодинамічної рівноваги
5. Яке рівняння визначає рушійну силу процесу фільтрування?
 1. $\Delta P = P_1 - P_2$.
 2. $\Delta t = t_1 - t_2$.
 3. $\Delta C = C_1 - C_2$.
 4. $\Delta m = m_1 - m_2$
6. Градієнт – векторна величина, показує:

1. Що температура збільшується в напрямку до джерела теплоти.
 2. Що температура зменшується в напрямку до джерела теплоти.
 3. Що температура залишається постійною в області джерела тепла.
 4. Що температура поширюється на всі боки від джерела тепла.
7. Що являє собою термін «кінетика»?
1. Вчення про швидкості і механізми процесів.
 2. Закон термодинамічної рівноваги.
 3. Закон збереження маси і енергії.
 4. Закон перенесення маси і енергії.
8. Як формулюється загальний закон кінетики?
1. Швидкість процесу прямо пропорційна рушійній силі і обернено пропорційна опору.
 2. Якщо систему вивести з рівноваги, в ній самовільно почнуться зміни, які повертають її в новий стан.
 3. Число ступенів свободи системи прямо пропорційне числу компонентів і числу фаз.
 4. Стан системи, при якому необоротне перенесення речовини відсутнє, називається рівноважним.
9. Які кінетичні рівняння описує масообмінний процес?
1. $\frac{dM}{Fdt} = \frac{1}{R} \Delta C.$
 2. $\frac{dQ}{Fdt} = \frac{1}{R} \Delta t.$
 3. $\frac{dV}{FdT} = \frac{1}{R} \Delta P.$
 4. $\frac{dW}{Fdt} = K \cdot \Delta$
10. Яке перенесення виконується в гідромеханічних процесах?
1. Перенесення маси рідини.
 2. Перенесення кількості руху.
 3. Перенесення маси компонентів.
 4. Перенесення енергії рухомого потоку.
11. Що враховують технологічні вимоги до апаратів?
1. Продуктивність, температурний режим, тривалість обробки.
 2. Маса апарату, міцність, корисний об'єм, зручне обслуговування.
 3. Інтенсивність роботи, витрата енергії, цільове призначення апарату.

4. Продуктивність, технологічний цикл, час завантаження і вивантаження.
12. Які вимоги відносяться до охорони природи?
1. Контроль за шкідливими викидами, граничні норми забруднення, безвідходні технології.
 2. Запобігання бактеріального і хімічного забруднення природи відходами переробних виробництв.
 3. Боротьба з шумом і вібрацією, запобігання незаконній вирубці лісу, боротьба з пожежами.
 4. Вимоги до запиленості навколишнього середовища.
13. Який показник оцінює величину корозії зменшенням товщини металу?
1. Глибинний показник корозії.
 2. Масовий показник корозії.
 3. Об'ємний показник корозії.
 4. Поверхневий показник корозії.
14. За якою формулою визначається корисний об'єм апарату?
1. $V = \frac{G \cdot \tau}{\rho}$.
 2. $V = \frac{V'}{\phi}$.
 3. $V = \frac{4\pi \cdot R^3}{3}$.
 4. $V = \frac{Pa}{\tau}$.
15. З яких основних металів складається бронза?
1. Сплав міді з оловом.
 2. Сплав міді з цинком.
 3. Сплав міді з нікелем.
 4. Сплав олова з нікелем.
16. Які сталі здатні протистояти корозії руйнування гарячими газами?
1. Жаростійкі сталі.
 2. Кислототривкі сталі.
 3. Нержавіючі сталі.
 4. Конструктивні сталі.

ТЕМА 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ

3.1. МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ

Розвиток будь-якої науки починається зі спостереження або з експериментального дослідження. Результати експериментів дають фактичний матеріал, на базі якого висловлюються гіпотези і розвивається теорія. Далі теоретичні висновки втілюються в практичні рекомендації, які перевіряються на об'єктах промислового виробництва. Найбільш доцільне поєднання теорії та експерименту в наукових дослідженнях досягається моделюванням досліджуваних або новостворюваних об'єктів.

Моделюванням називається метод вивчення існуючого або створюваного об'єкта, при якому замість об'єкта (оригіналу) вивчається модель (інший об'єкт, що заміщає оригінал), а результати кількісно поширюються на оригінал.

Основний результат моделювання полягає в передбаченні поведінки оригіналу в робочих умовах виробництва на підставі розрахунку необхідних параметрів оригіналу за вимірними параметрами моделі.

Методи моделювання засновані на подібності різних об'єктів.

Подібними називаються такі об'єкти, у яких відповідні параметри, що визначають стан об'єкта в просторі і часі, відрізняються тільки масштабом фізичних величин.

До моделювання ставляться такі основні вимоги:

❖ Досліди на моделях повинні проводитися швидше і бути простими, зручними, економічними та безпечними, ніж досліди на оригіналі;

❖ Повинні бути відомі однозначні правила – алгоритми, за якими виконується розрахунок параметрів оригінала на основі випробування моделі;

❖ Структура, пристрій і призначення моделі повинні відповідати основним цілям моделювання, так як жодна модель принципово не здатна повністю відобразити оригінал і будь-яке моделювання носить наближений характер.

При будь-якому способі моделювання, слід дотримуватись таких умов однозначності:

* геометрична подібність необхідна як при фізичному, так і при математичному моделювання фізичних полів;

* тимчасова подібність також необхідна як при фізичному, так і при математичному моделюванні. Фізичний сенс її полягає в тому, що в

процесах, що змінюються в часі, подібність фізичних величин в моделі і в оригіналі надходить в схожі моменти часу від початку процесу;

* подібності фізичних величин необхідно дотримуватися у всіх випадках моделювання;

* подібність початкових умов обов'язкова також при фізичному і математичному моделюванні, через те, що перебіг процесу в часі визначається властивостями самого процесу і початковими умовами; при деяких початкових умовах система може бути стійкою, при інших – нестійкою, що є неприпустимим;

* подібність граничних умов також необхідна для «окреслення» області протікання явища; на геометричній межі ділянки можуть протікати інші явища, які не залежать від досліджуваного, але впливають на нього.

Таким чином, сутність моделювання полягає у відтворенні досліджуваного процесу в зручному і обґрунтованому масштабі.

Порядок здійснення моделювання:

1. Складають математичний опис процесу у вигляді фізичних рівнянь і умов однозначності.

2. Виводять критерії подібності, та з них виділяють критерій, що містить шукану величину; цей критерій виражається в неявній функції інших критеріїв, званих визначальними.

3. З умови рівності визначальних критеріїв у моделі і в зразку вибирають константу подібності для кожної з фізичних величин.

4. На основі цих даних розраховують і виготовляють модель, робочий об'єм якої геометрично подібний робочому об'єму промислового апарату; масштаб моделі визначають з урахуванням розмірів і продуктивності апарату, забезпечуючи необхідні швидкості, витрати, температури та інші величини для робочих тіл.

5. Вживають заходів, щоб при проведенні дослідів визначальні критерії в моделі змінювалися в тих же межах, що і в промисловому апараті.

3.2. АНАЛІТИЧНИЙ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення процесу і отримання кількісних взаємозв'язків між фізичними і геометричними величинами використовують експериментальний і кількісний методи.

Експериментальний метод. Всі експериментальні дослідження на великих промислових апаратах занадто коштовні. Тому будують діючі моделі апаратів, на які впливають залежності між режимними параметрами та на основі цих залежностей складають розрахункові рівняння. Однак проводять дослідження і на промислових установках.

На підставі попереднього аналізу досліджуваного завдання відбирають фактори, які визначально або суттєво впливають на шуканий результат. Відкидання чинників пов'язано з пошуками компромісів між простотою аналізу та точністю опису досліджуваного явища. В результаті експериментальних досліджень, виконуваних за певним планом і з необхідною повторністю виявляють залежності між факторами в графічній формі або у вигляді розрахункових рівнянь.

Експериментальний метод має наступні переваги:

- можливість досягнення високої точності виведених закономірностей;
- достатня достовірність отриманих результатів;
- висока ймовірність отримання залежностей або фізичних характеристик об'єкта дослідження, які ніяким іншим методом знайти не вдається (наприклад, ступінь чорноти матеріалу).

Разом з тим, експериментальний метод досліджень має суттєві недоліки:

- встановлення взаємозв'язку між окремими численними фізичними та геометричними величинами в експерименті виявляється громіздким і трудомістким;

- в ньому відображується лише індивідуальні особливості досліджуваного явища, які не можуть бути використані для дослідження інших явищ;

- велика трудомісткість, обумовлена, як правило, значним числом факторів, що впливають на досліджуване явище.

Аналітичний метод опису процесу, заснований на виведенні диференціальних рівнянь математичної фізики, дозволяє отримати найбільш загальні зв'язки між досліджуваними величинами, відображаючи цілий клас явищ, що характеризуються загальним механізмом процесу. Для виділення конкретного явища необхідно з множини можливих розв'язків диференційного рівняння отримати єдиний. Це, в свою чергу, вимагає задання додаткових умов і рівнянь, так званих **умов однозначності** (геометричних, фізичних, початкових, граничних).

Умови однозначності включають:

- а) відомості про геометричні параметри досліджуваного об'єкта (форма, розміри);

- б) дані про фізичні властивості середовища;

- в) дані про стан об'єкта в початковий момент часу (початкові умови);

- г) умови, що характеризують стан даного об'єкту на границі з навколишнім середовищем (граничні умови).

У сукупності необхідно скласти і вирішити цілу систему диференціальних рівнянь, складність якої пов'язана зі складністю описуваних явищ. При цьому виявляється, що в більшості випадків сучасна математика не в змозі отримати точних рішень.

Перевага аналітичного методу полягає в тому, що отримані диференціальні рівняння слушні для всього класу явищ (теплообмін, масоперенесення тощо).

Однак цей метод має і суттєві недоліки:

❖ Складність аналітичного опису більшості технологічних процесів, особливо процесів, що супроводжуються тепло- і масоперенесенням; цим пояснюється та обставина, що подібних розрахункових формул відомо сьогодні мало;

❖ Неможливість в багатьох випадках отримати рішення диференціальних рівнянь аналітичним шляхом за допомогою відомих в математиці формул.

Процеси харчової технології характеризуються великою кількістю і різноманітністю параметрів, значною кількістю внутрішніх зв'язків між ними. Щоб обмежити великий потік інформації про процес, створюють його модель, яка відображає окремі явища досліджуваного процесу.

Застосовуються два методи моделювання:

1) **Фізичне моделювання** – при якому вивчення даного процесу відбувається на фізичній моделі. При цьому фізичний процес замінюється моделювальним алгоритмом. Фізична модель є реальним об'єктом, втіленим в металі, приладом, оснащенням, робочою (досліджуваною) речовиною, має однакову з досліджуваним об'єктом природу і відтворює його властивості. Наприклад, нагрівання великого металевого валу в промисловій печі можна моделювати нагріванням малого валу в лабораторній печі, виготовленого з іншого матеріалу. Потім встановлюється адекватність моделі до досліджуваного процесу.

2) **Математичне моделювання** – передбачає математичний опис моделі досліджуваного процесу.

При математичному моделюванні використовують також властивість ізоморфності диференціальних рівнянь, яке є відображенням єдності законів природи і дозволяє за допомогою однотипних диференціальних рівнянь описати різні за своєю фізичною природою явища.

Існує аналогія між процесами, різними за своєю сутністю, електричними, гідромеханічними, тепловими і масообмінними. Ці процеси описуються однотипними диференціальними рівняннями:

- Перенесення електрики:

$$J = \frac{1}{R} \frac{dU}{dx};$$

- Перенесення кількості енергії (закон тертя Ньютона):

$$E = -\mu \cdot \frac{d\theta}{dx};$$

- Перенесення речовини:

$$m = -D \frac{dc}{dx};$$

- Перенесення теплоти:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx};$$

де $\frac{dU}{dx}$, $\frac{d\theta}{dx}$, $\frac{dc}{dx}$, $\frac{dt}{dx}$ – градієнти відповідно напруги, швидкості, концентрації і температури.

Якщо ввести відповідні змінні коефіцієнти, то будь-який з перелічених процесів можна змоделювати перенесенням електрики.

3.3. ТЕОРІЯ ПОДІБНОСТІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ

Аналітичний і експериментальний методи окремо не дозволяють вирішити задачі, пов'язані з удосконаленням процесів і проектуванням прогресивних конструкцій апаратів, оскільки експериментальний метод не дає можливості поширити результати експерименту на подібні явища, а аналітичний виявляється не спроможним при переході від класу явищ, описуваних диференціальним рівнянням, до конкретних (одиночних явищ).

В той же час об'єднання експериментального і аналітичного методів утворило основу теорії подібності.

Теорія подібності – це вчення про подібні явища, тобто вчення про методи дослідження явищ в своїх, характерних для кожного явища, змінних, що представляють собою безрозмірні степеневі комплекси, складені з величин, визначальних сутність явища.

Теорія подібності дає можливість використовувати переваги експериментального і аналітичного методів і одночасно усувати їх недоліки. Це досягається завдяки тому, що теорія подібності:

- встановлює правила, як треба ставити досліди і як обробляти їх результати, щоб при проведенні невеликого числа експериментів можна було узагальнити дослідні дані, отримуючи єдині рівняння для всіх подібних явищ;
- використовує математичне формулювання задачі і прийняті умови однозначності, але при цьому не потрібно рішення задачі аналітичним шляхом.

Теорія подібності базується на трьох теоремах, які відповідають на три основних практичних питання:

- а) які величини необхідно вимірювати при експериментальному дослідженні явища?
- б) як обробляти результати експерименту, щоб мати можливість узагальнювати дослідні дані для всіх подібних явищ?
- в) які явища подібні досліджуваному?

Розрізняють наступні подібності:

* Геометрична – воно передбачає, що схожі розміри даного тіла і йому подібного паралельні, а їхнє відношення виражається постійною величиною;

* Часова – воно вимагає, щоб подібні точки або частини геометрично подібним траєкторіям, проходили геометрично подібні шляхи в проміжки часу, відношення яких виражається постійною величиною;

* Фізична – воно вимагає, щоб в розглянутих подібних системах відношення фізичних констант двох будь-яких подібних точок або частинок подібно розміщених в просторі і в часі були постійними;

* Подібність початкових і граничних умов – воно передбачає, що початковий стан і стан на границях системи подібні за умови наявності геометричної, часової та фізичної подібності.

Відношення подібних величин в межах кожної системи буде також постійним і безрозмірним, тобто відношення геометричних розмірів, часу і фізичних констант в даній системі рівні відношенням тих же величин в подібній системі.

Безрозмірні числа відношень називають *інваріантами подібності* і позначають буквою *i* – першої в слові *idem* (те ж саме). Якщо інваріанти подібності представляють відношення простих однорідних величин, то вони називаються *симплексами*. Інваріанти подібності, виражені відношенням складних різнорідних величин, називаються *критеріями подібності*.

Геометрична подібність. Подібність фізичних явищ має багато спільного з геометричною подібністю. В геометрії подібними називають фігури однакової форми, у яких схожі кути рівні, а схожі сторони пропорційні. Під формою фігур розуміється цілий клас геометричних фігур, об'єднаних загальними властивостями. Для плоских трикутників загальною властивістю є рівність суми внутрішніх кутів величині π .

У подібних фігур (рис. 3.1) відношення схожих сторін і висот:

$$\frac{l_1}{l'_1} = \frac{l_2}{l'_2} = \frac{l_3}{l'_3} = \frac{h}{h'} = C_{l1}, \quad (3.1)$$

тобто є постійною величиною C_{l1} , яка називається *константа подібності* або *коефіцієнт подібного перетворення*.

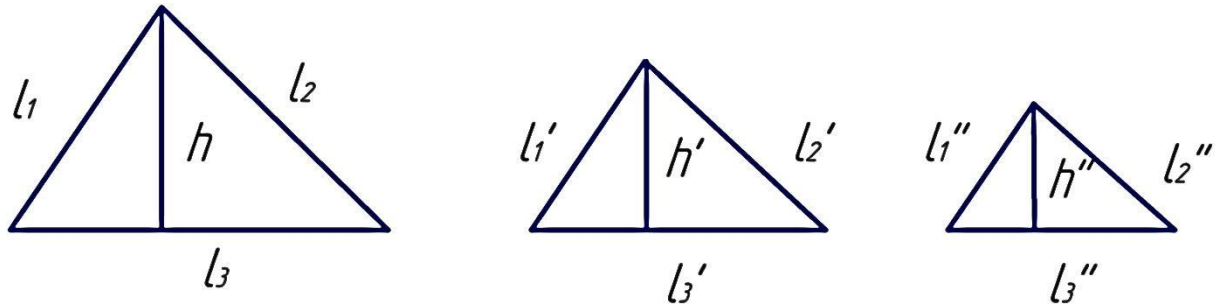


Рис.3.1. Геометрична подібність фігур

За допомогою константи подібності можна порівнювати між собою тільки дві подібні фігури:

$$\frac{l_1}{l_1''} = \frac{l_2}{l_2''} = \frac{l_3}{l_3''} = \frac{h}{h''} = C_{l2}, \quad C_{l1} \neq C_{l2} \quad (3.2)$$

Якщо в якості масштабу виміру взяти один з лінійних розмірів трикутника (подібну сторону або висоту трикутника), то для всіх подібних трикутників:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{l_2'}{l_1'} = \frac{l_2''}{l_1''} = i_1; \quad \frac{l_1}{h} = \frac{l_1'}{h'} = \frac{l_1''}{h''} = i_2, \quad (3.3)$$

де i – інваріант подібності.

Часова подібність. Вона дотримується, якщо відхилення між подібними інтервалами часу процесу виражається постійною величиною. Подібні інтервали часу процесу – це інтервали, протягом яких завершуються аналогічні стадії розглядуваних процесів. Часова подібність процесів називається гомохронністю (однорідністю в часі).

Часова подібність характеризується константою часової подібності:

$$\frac{\tau_1''}{\tau_1'} = \frac{\tau_2''}{\tau_2'} = \frac{\tau_3''}{\tau_3'} = \dots = \frac{\tau_i''}{\tau_i'} = C_\tau, \quad (3.4)$$

де $\tau_1', \tau_2', \tau_3', \tau_i'$ – інтервали часу в першому процесі; $\tau_1'', \tau_2'', \tau_3'', \tau_i''$ – інтервали часу в другому процесі.

Наприклад, тривалість нагріву суміші до температури кипіння в першому апараті становить τ_1' , а у другому τ_1'' . Тривалість випаровування певної кількості води становить відповідно τ_2' і τ_2'' . Тоді часова подібність процесу буде характеризуватися співвідношенням:

$$\frac{\tau_1'}{\tau_1''} = \frac{\tau_2'}{\tau_2''} = C_\tau \quad (3.5)$$

У випадку, коли $C_\tau = 1$, має місце синхронність процесів, що є окремим випадком гомохронності.

Фізична подібність. Передумовою подібності полів фізичних явищ обов'язково повинна бути геометрична подібність, тобто фізичні поля подібні, якщо в подібних точках геометрично подібних систем відношення фізичних величин виражено постійними значеннями відповідних констант подібності:

$$\frac{p'}{p} = C_p; \quad \frac{\mu'}{\mu} = C_\mu; \quad \frac{\lambda'}{\lambda} = C_\lambda; \quad \frac{c'}{c} = C_c, \quad (3.6)$$

де $\frac{p'}{p}$, $\frac{\mu'}{\mu}$, $\frac{\lambda'}{\lambda}$, $\frac{c'}{c}$ – відношення відповідно тисків, в'язкостей, теплопровідності і концентрацій в подібних точках геометрично подібних систем.

Формулюючи, що саме розуміється під подібністю фізичних явищ, необхідно уточнити ряд термінів:

- **однойменні величини** – величини, що мають один і той же фізичний зміст і однакову розмірність;
- **подібні точки системи** – точки, що відповідають геометричній подібності;
- **подібні моменти часу** – моменти, що надходять після закінчення періодів часу, що мають спільний початок відліку і пов'язаних з константою часової подібності.

Для прикладу розглянемо подібність руху в'язкої рідини в виробничому трубопроводі і його зменшеній моделі (рис.3.2). Геометрична подібність об'єктів і моделі можлива при рівності відношень всіх подібних лінійних розмірів натури і моделі:

$$\frac{L'''}{L''} = \frac{D'''}{D''} = C_1 = \text{const} \quad (3.7)$$

де L'' і L''' – відповідно довжина натури і моделі; D'' і D''' – відповідно діаметр натури і моделі.

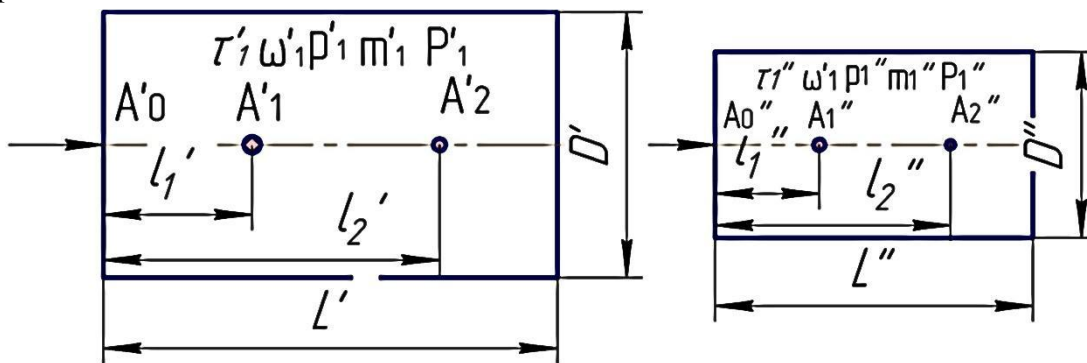


Рис.3.2. Схеми фізичної подібності реального об'єкта і моделі.

Точки A'_0 і A''_0 є подібними, тому що обидві знаходяться на вході в розглядувані об'єкти.

Точки A'_1 і A'_2 будуть подібними точками A''_1 і A''_2 в тому випадку, коли:

$$\frac{l'_1}{l''_1} = \frac{l'_2}{l''_2} = C_1, \quad (3.8)$$

де l'_1 , l''_1 і l'_2 , l''_2 – шляхи, прохідні частинками рідини від входу до подібних точок в трубопроводі і моделі; C_1 – константа геометричної подібності.

Таким чином, відповідно до формулювання подібності фізичних явищ, фактори швидкостей в даному виробничому трубопроводі і його моделі будуть подібними в тому випадку, якщо дотримується наступна умова для подібних точок:

$$\frac{\omega'_0}{\omega''_0} = \frac{\omega'_1}{\omega''_1} = \frac{\omega'_2}{\omega''_2} = C_\omega = \text{const} \quad (3.9)$$

де $\omega'_0, \omega'_1, \omega'_2$ – швидкості в трубопроводі; $\omega''_0, \omega''_1, \omega''_2$ – швидкості в подібних точках моделі.

Подібність початкових і граничних умов. Аналітичне дослідження елементів, розташованих на границі системи, вкрай складне, необхідно перш за все враховувати, що розташовуючись на границі системи вони будуть взаємодіяти з навколишнім середовищем. Ця взаємодія ніяк не позначена в основних рівняннях задачі, тому необхідно додатково поставити граничні умови.

Подібність граничних умов полягає в тому, що відношення всіх значень величин, що характеризують ці умови, для подібних точок в подібні моменти часу зберігається постійним.

В основних рівняннях позначений початок процесу, тому вводиться поняття про початкові умови.

Подібність початкових умов означає, що в початковий момент, коли починається вивчення процесу, дотримується подібність полів фізичних величин, що характеризують процес. Граничні та початкові умови разом складають **крайові умови** (умови на просторово-часових «краях» системи).

3.4. ТЕОРЕМИ ПОДІБНОСТІ СИСТЕМ

Основні теореми подібності відповідають на три основних практичних питання, що виникають при постановці модельних або натурних дослідів:

- а) які величини потрібно визначати в досліді;
- б) в якій формі слід представляти кількісні результати дослідів;
- в) на які промислові апарати можна розповсюдити результати модельних дослідів.

Перша теорема подібності – при подібності систем завжди можуть бути знайдені такі безрозмірні комплекси величин, які для подібних точок даних систем однакові, тобто **подібні між собою явища мають чисельно рівні критерії подібності** (за Ньютоном).

Перша теорема подібності може бути сформульована також наступним чином: **у подібних явищ індикатори подібності дорівнюють одиниці** (за М.В. Кирпичовим).

Для доказу цієї теорії розглянемо рівноприскорений рух тіл, описуваний загальним законом механіки – другим законом Ньютона:

$$f = ma = m \frac{d\omega}{d\tau} \quad (3.10)$$

де f – сила, Н; m – маса, кг; ω – швидкість, м/с; τ – час, с.

Для двох подібних систем це рівняння запишемо двічі:

$$f_1 = m_1 \frac{d\omega_1}{d\tau_1}; \quad f_2 = m_2 \frac{d\omega_2}{d\tau_2}$$

Фізичні величини для двох систем відрізняються тільки масштабом, тому

$$f_1 = C_f f_2; \quad m_1 = C_m m_2; \quad \omega_1 = C_\omega \cdot \omega_2; \\ \tau_1 = C_\tau \cdot \tau_2; \quad d\omega_1 = C_\omega \cdot d\omega_2; \quad d\tau_1 = C_\tau d\tau_2.$$

Розділимо вихідні рівняння двох систем одне на інше:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{d\omega_1}{d\omega_2} \cdot \frac{d\tau_2}{d\tau_1} \quad \text{або} \quad C_f = C_m \frac{C_\omega}{C_\tau}. \quad (3.11)$$

Отже, при подібності двох систем:

$$\frac{C_f C_\tau}{C_m C_\omega} = j = 1 \quad (3.12)$$

Комплекс множників подібного перетворення j називається **індикатором подібності**; як бачимо, для двох свідомо подібних явищ він дорівнює одиниці відповідно до формулюванням М.В. Кирпичова. Таким чином, для двох або ряду подібних явищ можна записати:

$$\frac{f_1 \cdot \tau_1}{m_1 \cdot \omega_1} = \frac{f_2 \cdot \tau_2}{m_2 \cdot \omega_2} \quad \text{і} \quad \frac{f_1 \cdot d\tau_1}{m_1 \cdot d\omega_1} = \frac{f_2 \cdot d\tau_2}{m_2 \cdot d\omega_2} \quad (3.13)$$

Числова рівність величин (3.13) записується так:

$$\frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega} = \text{inv (інваріантно, незмінно), або}$$

$$\frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega} = \text{idem (одне і теж)}$$

Отриманий комплекс (3.13) називається **критерієм Ньютона**

$$N_e = \frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega} \quad (3.14)$$

Критерій Ньютона – головний критерій механічної подібності і характеризує відношення імпульсу діючої на частку сили до сили інерції.

Друга теорема подібності – будь-яка залежність між змінними, що характеризують будь-яке явище, може бути представлена у вигляді залежності між відповідними критеріями в формі рівняння подібності (критеріального рівняння).

Критерії подібності, які складені тільки з величин, що входять в умови однозначності, називають **визначальними**.

Критерії, що включають також величини, які не є необхідними для однозначної характеристики даного процесу і самі залежать від цих умов, називають **визначуваними**.

Кожен з критеріїв є визначальним, залежить від формулювання завдання. Так, наприклад, якщо визначуваним є деякий критерій K_1 , то рівняння зручніше представляти у вигляді степеневі функції, що виражає залежність визначуваного критерію K_1 , що містить шукану величину, від визначальних критеріїв K_2, K_3, \dots, K_n , що відображають різні сторони процесу:

$$K_1 = c \cdot K_2^m \cdot K_3^n \dots K_n^r \quad (3.15)$$

Коефіцієнти c, m, n, r , що входять в рівняння подоби, визначаються дослідним шляхом.

Друга теорема подібності відповідає на питання, як обробляти результати дослідів, проведених на моделях: їх треба надавати у вигляді функціональної залежності між критеріями подібності.

Для того, щоб отримати критеріальне рівняння, необхідно вирішити наступні питання:

- скільки критеріїв подібності має входити в критеріальне рівняння, яким описується явище, що нас цікавить;
- що собою представляють критерії, які повинні входити в критеріальне рівняння;
- як визначити значення постійних коефіцієнтів і показників степеня в критеріальних рівняннях.

В якості відповіді на перше питання наведемо приклад. Закон Пуазейля – рух рідини в трубах при ламінарному режимі записується в наступному вигляді:

$$\Delta p = \frac{32\mu l \omega}{d^2} \quad (3.16)$$

де Δp – різниці тисків, Па; μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с; l – довжина труби, м; ω – швидкість течії рідини, м/с; d – діаметр труби, м.

Провівши певні розрахунки і перетворення, дане явище може бути представлено у вигляді залежності між трьома безрозмірними комплексами. Дійсний рух рідини в трубопроводах з гладкими стінками в межах значень Рейнольдса $4000 < Re < 10^5$ описується критеріальним рівнянням:

$$E_u = 0,158 R_e^{-0,25} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^n \quad (3.17)$$

де E_u – критерій Ейлера; R_e – критерій Рейнольдса; $\left(\frac{1}{d}\right)$ – критерій – симплекс або параметричний критерій.

У рівняння (3.17) входять два критерії-комплекси – E_u і R_e і один критерій – симплекс $\left(\frac{1}{d}\right)$. Критерії-комплекси складають з фізичних величин з неоднаковими розмірностями, а критерії-симплекси з величин однакової розмірності.

Важливою перевагою рішення диференціальних рівнянь у вигляді критеріальних рівнянь є те, що критерії об'єднують кілька змінних.

Іншою перевагою критеріальних рівнянь є їх універсальність, тому що використання в них узагальнених змінних (критеріїв) дозволяє застосовувати їх для цілої групи подібних між собою явищ, а не тільки для даного одиничного явища.

Третя теорема подібності – подібні ті явища, які описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь і у яких дотримується подібність умов однозначності.

Подобою умов однозначності при ідентичності диференціальних рівнянь, що описують процеси, відповідає рівність визначальних критеріїв подібності. Отже, третя теорема подібності може бути сформульована так: **явища подібні, якщо визначальні критерії чисельно рівні.**

Умови однозначності – це граничні і початкові умови, що дозволяють з великого числа рішень системи диференціальних рівнянь виділити єдине, що відповідає умовам даної задачі.

Критерії, що містять хоча б одну величину, що не входить в умови однозначності, називають **не визначальними**.

3.5. ОТРИМАННЯ КРИТЕРІЇВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЯВИЩ ІЗ ВІДОМИХ КРИТЕРІЇВ-КОМПЛЕКСІВ.

Розглянемо спосіб отримання критеріїв досліджуваних явищ з відомих критеріїв-комплексів. Скористаємося критерієм Ньютона для визначення критеріїв, що описують процеси, які протікають під дією різних сил.

а) розглянемо процес, що протікає під дією сили тяжіння і відцентрової сили.

Запишемо критерій Ньютона (рівняння 3.14)

$$N_e = \frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega}$$

Запишемо силу тяжіння $f = m \cdot g$.

$$N_e = \frac{m \cdot g \cdot \tau}{m \cdot \omega} = \frac{g \cdot \tau}{\omega} \quad (3.18)$$

Цей комплекс завжди менше одиниці, тому в інженерних розрахунках користуються оберненою величиною:

$$F_r = \frac{1}{N_e} = \frac{\omega}{g \cdot \tau} = \frac{a}{g} \quad (3.19)$$

де F_r – критерій Фруда, який є основним критерієм, що характеризує розглядувані процеси.

б) розглянемо процеси, що протікають під дією сил тиску. На елементарний об'єм рідини кубічної форми зі стороною l , що знаходиться в спокої, діє різниця тисків Δp , яка і забезпечує рух цього об'єкту. Результуюча сила, що діє на поверхню цього об'єкта:

$$f = \Delta p \cdot l^2 \quad (3.20)$$

Маса елементарного об'єму:

$$m = \rho \cdot l^3$$

Тривалість процесу отримуємо діленням шляху, який також позначаємо через l , на швидкість:

$$\tau = \frac{l}{\omega}$$

Підставляючи отримані значення f , ω і τ в рівняння (3.14), критерій Ньютона, отримаємо:

$$N_e = \frac{\Delta p \cdot l^2}{\rho l^3} \cdot \frac{1}{\omega^2} = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2} = E_u \quad (3.21)$$

де E_u – критерій Ейлера, який є головним критерієм, що характеризує процеси, які відбуваються під дією сил тиску.

в) Розглянемо процеси, що протікають при русі в'язких рідин. При русі в'язких рідин швидкість шарів різна. Відповідно до закону Ньютона сила тертя між шарами:

$$f = \mu \cdot F \cdot \frac{d\omega}{dl} \quad (3.22)$$

де $\frac{d\omega}{dl}$ – градієнт швидкості в перпендикулярному напрямку до швидкості руху потоку; F – площа зіткнення шарів; $F = l^2$.

Використовуючи раніше прийняті перетворення m і τ , а також f і F , отримаємо з критерію Ньютона (3.14)

$$N_e = \frac{\mu \cdot l^2 \cdot \omega}{l} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{\rho \cdot l^3 \cdot \omega} = \frac{\mu}{\omega \cdot l \cdot \rho} \quad (3.23)$$

Оскільки ця величина завжди менше одиниці, то в розрахунках використовують обернену величину:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{\omega \cdot l \cdot \rho}{\mu} = R_e \quad (3.24)$$

де R_e – критерій Рейнольдса, який є головним критерієм, що характеризує процеси, що протікають при русі в'язких рідин.

Аналогічним чином можна отримати критерії Архімеда, Грасгофа тощо.

Крім цього способу, виведення критеріїв здійснюють з диференціальних рівнянь або методу аналізу розмірностей.

Визначення постійних коефіцієнтів і показників ступеня в критеріальних рівняннях.

Розглянемо це на прикладі критеріального рівняння (3.17)

$$E_u = 0,158 R_e^{-0,25} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^n,$$

за умови, що довжина труби l значно перевищує її діаметр ($l \gg d$), тоді рівняння (3.17) набуде вигляду:

$$E = 0,158 R_e^{-0,25} \quad (3.25)$$

Розглянемо метод визначення коефіцієнта 0,158 і показника ступеня – 0,25.

У загальному вигляді це рівняння можна представити як

$$E_u = A \cdot R_e^m \quad (3.26)$$

Після логарифмування цього рівняння отримаємо:

$$\lg E_u = \lg A + m \cdot \lg R_e \quad (3.27)$$

У логарифмічних координатах – це рівняння прямої лінії. На графіку (рис.3.3) наносять досвідчені точки і через них проводять пряму лінію.

З зіставлення виразів (3.28) і (3.29) отримаємо $m = \operatorname{tg} \alpha$. З графіку

(рис.3.3) знаходимо $\lg A$ і по цій величині визначаємо справжнє значення коефіцієнта A .

У випадку, коли в рівнянні три критерії, коефіцієнти m і A знаходять не по одному, а по двом графіками.

У таблиці 3.1. наведено перелік основних критеріїв подібності, які найбільш часто зустрічаються в задачах харчової технології.

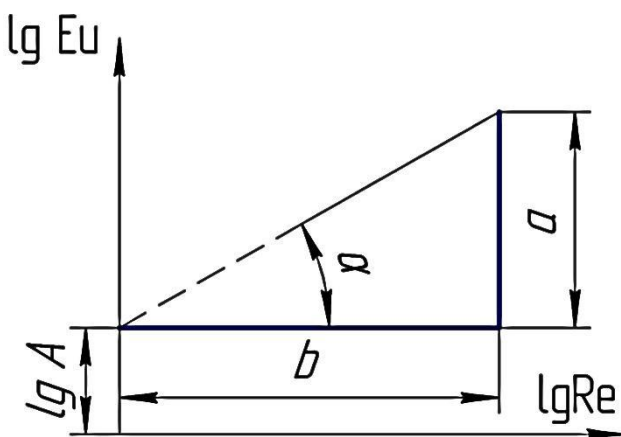


Рис. 3.3. Експериментальний графік логарифмічного критеріального рівняння

З рівняння (3.27) визначаємо показник ступеня m :

$$m = \frac{\lg E_u - \lg A}{\lg R_e} \quad (3.28)$$

З рисунка 3.3 отримаємо:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lg E_u - \lg A}{\lg R_e} = \frac{a}{b}. \quad (3.29)$$

Таблиця 3.1. Основні критерії подібності

Критерій	Формули	Фізичний зміст	Параметри
Критерій Рейнольдса (критерій режиму течії рідини)	$R_e = \frac{\omega \cdot l}{\nu}$	Відношення сил інерції до сил в'язкісного тертя в потоці	ω – швидкість; l – довжина; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості.
Критерій Фруда (критерій подібності сил інерції і ваги)	$F_r = \frac{g \cdot l}{\omega^2}$	Відношення сили інерції до сил ваги	g – прискорення вільного падіння
Критерій Ейлера (критерій подібності полів тиску)	$E_u = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}$	Міра відношення сил тиску і швидкісного напору	Δp – перепад тиску; ρ – густина.
Критерій Лагранжа (критерій подібності сили тиску і тертя)	$L_a = \frac{\Delta p \cdot l}{\mu \cdot \omega}$	Міра відношення сил тиску і тертя	μ – динамічний коефіцієнт в'язкості
Критерій Галілея (критерій подібності силових полів при вільному падінні)	$G_a = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho^2}{\mu^2}$	Відношення в'язкого тертя і ваги в потоці	–
Критерій Архімеда (критерій піднімальної сили і сили тертя)	$A_2 = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2}$ $= \frac{\Delta \rho}{\rho}$	Відношення сил: Архимедової, що виникає в результаті різниці щільностей і в'язкісного тертя	$\Delta \rho$ – різниця щільностей
Критерій Грасгофа (критерій вільної теплової конвекції)	$G_r = \frac{g \cdot l^3}{\omega^2} \beta \cdot \Delta t$	Відношення сил: піднімальної, що визначає тепловий конвективний рух і в'язкісного тертя	β – коефіцієнт об'ємного розширення; Δt – різниця температур

Критерій Нуссельта (безрозмірний коефіцієнт тепловіддання)	$Nu = \frac{a \cdot l}{\lambda}$	Характеризує співвідношення інтенсивності теплових потоків, що передаються тепловідданням і теплопровідністю	a – коефіцієнт тепловіддання; λ – теплопровідність рідини
Критерій Пекле (критерій подібності молекулярного і конвективного теплоперенесення)	$Pe = \frac{\omega \cdot l}{a}$	Міра відношення молекулярного і конвективного теплоперенесення	-
Критерій Біо (критерій крайової теплової подібності)	$Bi = \frac{a \cdot l}{\lambda}$	Міра відношення внутрішнього та зовнішнього термічних опорів при передачі теплоти ззовні тепловідданням і всередині тіла теплопровідністю	λ – теплопровідність твердої стінки; l – визначальний розмір
Критерій Фур'є (критерій теплової гомохронності)	$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$	Характеризує зв'язок швидкості зміни температурного поля з фізичними властивостями і розмірами тіла	-
Критерій Прандтля (тепловий критерій фізичних властивостей середовища)	$Pr = \frac{\nu}{a}$	Відношення здатності середовища передавати рух тертям і передавати теплоту.	-

Контрольні питання до теми 3.

1. Що називається моделюванням?
2. Які об'єкти називаються подібними?
3. Які вимоги пред'являються до моделювання?
4. Яких умов потрібно дотримуватися при моделюванні?

5. Назвіть пункти послідовності проведення моделювання.
6. У чому полягає експериментальний метод дослідження?
7. Назвіть основні переваги експериментального методу.
8. Які недоліки має експериментальний метод дослідження?
9. На чому заснований аналітичний метод дослідження?
10. Які відомості включають умови однозначності?
11. У чому полягають переваги аналітичного методу досліджень?
12. Які недоліки аналітичного методу досліджень?
13. У чому полягає сутність фізичного моделювання?
14. Яка аналогія існує між процесами, різними за своєю сутністю?
15. Що являє собою теорія подібності?
16. Які правила встановлює теорія подібності?
17. На які питання відповідає теорема подібності?
18. Які види подібностей розрізняють при наукових дослідженнях?
19. Що називається інваріантом подібності?
20. Коли інваріанти подібності називаються симплексами?
21. Коли інваріанти подібності називаються критеріями подібності?
22. Що являє собою геометрична подібність?
23. Що називається константою подібності або коефіцієнтом подібного перетворення?
24. Коли дотримується часова подібність?
25. Що є передумовою подібності полів фізичних явищ (фізична подібність)?
26. У чому полягає подібність граничних умов?
27. Як формулюється перша теорема подібності?
28. Що означає індикатор подібності?
29. Як формулюється друга теорема подібності?
30. Які критерії подібності називаються визначальними?
31. Які критерії подібності називаються означуваними?
32. Які критерії подібності називаються невизначальними?
33. Що називається умовами однозначності?
34. Які питання потрібно вирішити, щоб отримати критеріальне рівняння?
35. Як формулюється третя теорема подібності?
36. Назвіть фізичний зміст критерію Рейнольдса.

Тести для перевірки знань.

1) Яке рівняння процесу характеризує перенесення кількості енергії?

1. $E = -\mu \frac{dv}{dx},$

2. $J = \frac{1}{R} \cdot \frac{dU}{dx},$

3. $M = -D \frac{dc}{dx}.$

4. $Q = -\lambda \frac{dt}{dx}$

2) У якого виду подібності подібні розміри тіла і йому подібного паралельні, а їхнє відношення виражається постійною величиною?

1. Геометрична подібність.

2. Часова подібність.

3. Фізична подібність.

4. Подібність граничних умов.

3) Як називається відношення складних різнорідних величин?

1. Критерії подібності.

2. Симплекси.

3. Константи подібності.

4. Інваріанти подібності.

4) Яке співвідношення параметрів визначає геометричну подібність?

1. $\frac{\tau_1''}{\tau_1'} = \frac{\tau_2''}{\tau_2'} = \frac{\tau_3''}{\tau_3'},$

2. $\frac{l_1'}{l_1''} = \frac{l_2'}{l_2''} = \frac{l_3'}{l_3''},$

3. $\frac{\omega_0'}{\omega_0''} = \frac{\omega_1'}{\omega_1''} = \frac{\omega_2'}{\omega_2''}.$

4. $\frac{p_1''}{p} = c_p.$

5) Як формулюється перша теорема подібності?

1. Подібні між собою явища мають чисельно рівні критерії подібності.

2. Будь-яка залежність між змінними, що характеризують явище, може бути представлена у вигляді критеріального рівняння.

3. Явища подібні, якщо їх визначальні критерії чисельно рівні.

4. Подібні ті явища, які описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь.

6) Які константи характеризують фізичну подібність?

1. $C_p; C_\mu; C_\lambda;$

2. $C_l; C_\tau;$

3. $C_l; C_{l2}; i$.
4. $K_1; K_2; ; K_3; .$
- 7) Коли відхилення всіх значень величин для подібних точок в подібний момент часу зберігається постійним?
1. При подібності граничних умов.
 2. При подібності початкових умов.
 3. При подібності крайових умов.
 4. При подібності всіх перерахованих умов.
- 8) Який комплекс множників подібного перетворення називається індикатором подібності?
1. $\frac{c_f c_\tau}{c_m c_\omega} = j$;
 2. $\frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega} = \text{idem}$;
 3. $\frac{\omega \cdot l}{v} = \text{inv}$.
 4. $m_1 \frac{d\omega_1}{d\tau_1} = f_1$.
- 9) Як формулюється друга теорема подібності?
1. Будь-яка залежність між змінними, що характеризують явище, може бути представлена у вигляді критеріального рівняння.
 2. У подібних явищ індикатори подібності дорівнюють одиниці.
 3. Явища подібні, якщо їхні визначальні критерії чисельно рівні.
 4. Подібні ті явища, які описуються системою диференціальних рівнянь.
- 10) Як називаються критерії подібності, складені тільки з величин, що входять в умови однозначності?
1. Визначальні критерії подібності.
 2. Визначувані критерію подібності.
 3. Невизначальні критерії подібності.
 4. Всі відповіді неправильні.
- 11) Як називаються критерії, що містять хоча б одну величину, що не входить в умови однозначності?
1. Невизначальні критерії подібності.
 2. Визначальні критерії подібності.
 3. Визначувані критерію подібності.
 4. Функціональні критерії подібності.
- 12) Який фізичний зміст критерію Фруда?
1. Відношення сили інерції і сили ваги.
 2. Відношення в'язкого тертя і ваги в потоці.

3. Відношення сил інерції і сил в'язкісного тертя в потоці.

4. Відношення в'язкого тертя і сили інерції в потоці.

13) Яка формула визначає критерій Рейнольдса?

1. $\frac{\omega \cdot l}{\nu}$;

2. $\frac{f \cdot \tau}{m \cdot \omega}$;

3. $\frac{\Delta l}{\mu \cdot \omega}$.

4. $\frac{g \cdot l}{\omega^2}$

14) Які фізичні параметри представляють критерій Ейлера?

1. Критерії подібності полів тисків.

2. Критерій подібності силових полів при вільному падінні.

3. Критерій піднімальної сили і сили тертя.

4. Критерій подібності сили тиску і тертя.

15) Як формулюється третя теорема подібності?

1. Подібні ті явища, які описуються системою диференційних рівнянь з дотриманням подібності умов однозначності.

2. Подібні між собою явища мають чисельно рівні критерії подібності.

3. Будь-яка залежність між змінними явища може бути представлена у вигляді критеріального рівняння.

4. У подібних явищ індикатори подібності дорівнюють одиниці.

РОЗДІЛ II. МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ

ТЕМА 4. ПРОЦЕСИ ПОДРІБНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І СИРОВИНИ

4.1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ.

Переробка сировини і отримання харчових продуктів передбачає, що кожен наступний процес впливає на попередній. Таким чином, ланцюжок технологічних процесів вибудовується в напрямку, протилежному руху сировини і напівфабрикатів.

Для приготування тіста необхідно мати борошно, яку одержують розмелюванням зерна і сортування продуктів помелу. Для успішного розчинення шматків твердої речовини в рідині бажано роздрібнити шматки або навіть перетворити їх у порошок. Подрібнюють зерно, солод, сіль, цукор, горіхи, какао-боби, соняшникове насіння, овочі, фрукти, м'ясо, тестову масу. Треба зауважити, що подрібнення є одним з найбільш енергоємних процесів.

Подрібнення – процес механічного впливу на продукт робочими органами, який призводить до подолання сил взаємного зчеплення і руйнування продукту під дією зовнішніх навантажень, а також до збільшення поверхні твердих матеріалів.

У харчовій промисловості подрібнення застосовується в для наступних цілей:

- Для підготовки сировини до приготування їжі;
- Надання продукту необхідної консистенції;
- Порціонування продукту;
- Утилізація відходів сировини і залишків їжі;
- Для збільшення поверхні твердих матеріалів з метою підвищення швидкості біохімічних і дифузійних процесів при переробці фруктів і овочів.

Способи подрібнення (рис.4.1) підрозділяють на наступні: роздавлювання, розколювання, розламування, різання, розпилювання, стирання, дроблення.

При **роздавлюванні** (рис.4.1, а) під дією статичного навантаження, створюваного силою F на натискну плиту, визначальними являються напруги стиснення. Під їх дією матеріал деформується по всьому об'єму. При цьому внутрішнє напруження в ньому поступово підвищується і з досягненням внутрішньої напруги вище межі міцності стиску матеріал руйнується і утворюються частинки різного розміру і різної форми. У чистому вигляді

роздавлювання реалізується дуже рідко, тільки в щіткових дробарках. У ряді інших таких подрібнювачів воно супроводжується стиранням.

При **розколюванні** (рис. 4.1, б) в матеріалі виникають переважно згинальна напруга. Процес розколювання здійснюється за рахунок створення великих концентрацій навантажень в місцях матеріалу з клиноподібними робочими органами, на які впливає сила F . Цей спосіб використовується, наприклад, в діскозубих дробарках, призначених для подрібнення досить великих в'язких матеріалів.

Процес **розламування** (рис. 4.1, в) здійснюється за рахунок впливу згинальних сил F . Розміри і форма одержуваних часток приблизно такі ж, як і при розколюванні.

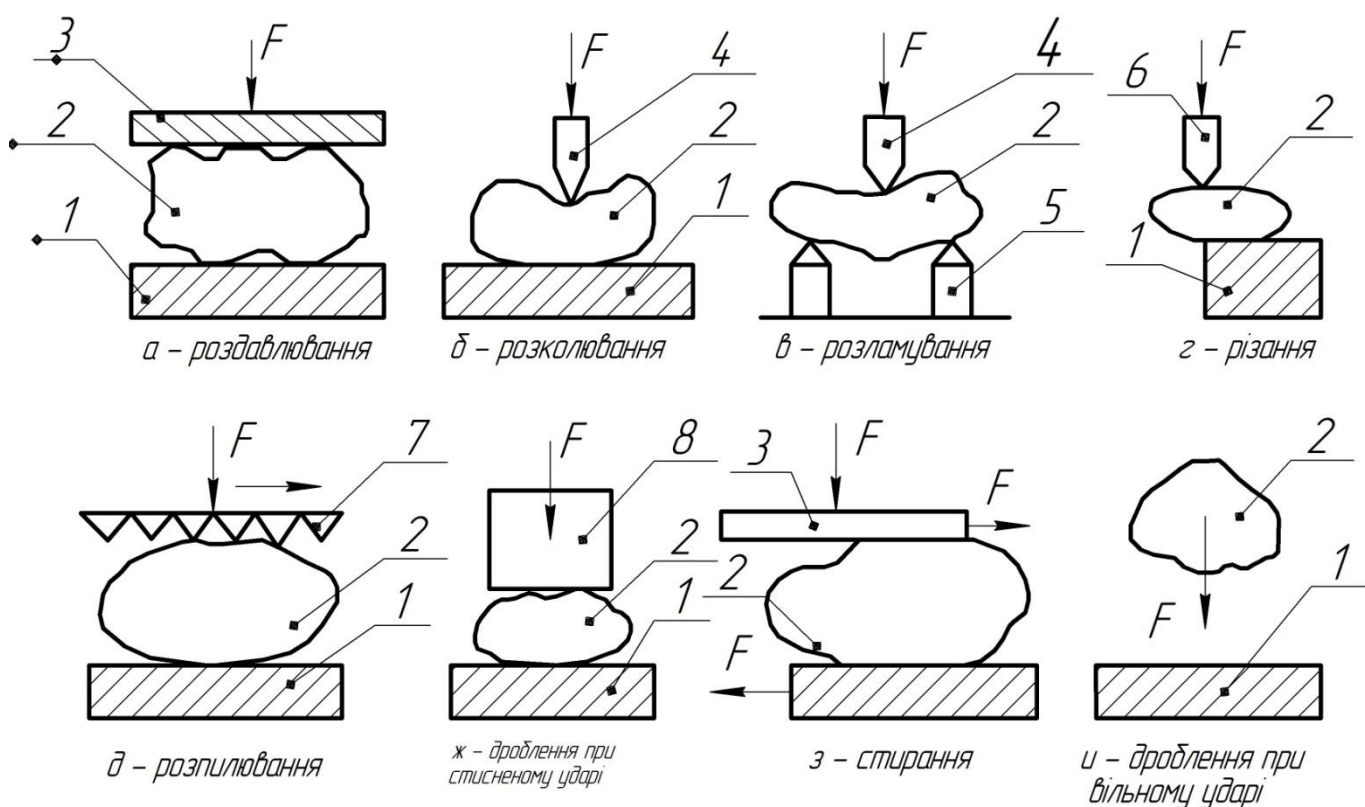


Рис. 4.1 Способи подрібнення продуктів:

1 – опорна плита; 2 – подрібнюваний матеріал; 3 – натискна плита; 4 – клиноподібний робочий інструмент; 5 – опори; 6 – ніж; 7 – пила; 8 – ударяючий інструмент.

Процес **різання** (рис. 4.1, г) здійснюється лезами (ножами), під дією яких створюється зусилля F , спрямоване під певним кутом до подрібнюваного матеріалу. Крім того, ножі здійснюють рух в площині, паралельній площині поділу матеріалу. При різанні в матеріалі виникають напруги зсуву. Різання використовується в подрібнювачах для плодів,

фруктів і овочів, а також туш тварин, причому сировину можна подрібнювати на частини заздалегідь обраних розмірів і форм.

Розпилюванням (рис. 4.1, д) здійснюється за рахунок використання пил, зуби яких представляють собою ножі. Подрібнення відбувається при натисненні на пилу та її переміщенні в площині подрібнення. Процес розпилювання дозволяє отримати шматки необхідних розмірів.

Процес **стирання** (4.1, з) застосовується при тонкому і колоїдному помелах. При стиранні руйнування відбувається головним чином від напруження зсуву. На матеріал діють сили які виникають при переміщенні опорної і натискної плит в протилежні сторони. На натискну плиту робить зовнішній вплив сила F . Стирання в комбінації з роздавлуванням – один з найбільш економічних способів подрібнення і використовується в середньоходових (валкових і кульових млинах, бігунках, валкових і конусних дробарках).

Процес **дроблення** за рахунок удару здійснюється під дією динамічних навантажень на продукт, в результаті яких виникають динамічні напруги, що призводять до його руйнування. Розрізняють вільний (рис. 4.1, і) і стиснений (рис. 4.1 ж) удари. При стисненому ударі тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача, при вільному – в результаті зіткнення з робочим органом або іншим подрібнюваним тілом. Подрібнення ударом застосовується в роторних і молоткових дробарках, молоткових та струменевих млинах, дезінтеграторах, частково в барабанних млинах.

Залежно від кінцевих задач процесу подрібнення потрібно дотримуватись певних умов:

1) Продукт подрібнюють до необхідної крупності. Однорідне дроблення продуктів до певної крупності в залежності від його виду і цільового призначення сприяє кращому засвоєнню поживних речовин. Наявність пилоподібних частинок погіршує умови харчування та може викликати попадання в дихальні шляхи.

2) У продуктах подрібнення повинні бути відсутніми металеві, мінеральні та інші домішки, які являються випадковими або утворюються в результаті зносу робочих органів машин.

3) Нагрівання продуктів в процесі подрібнення мусить бути мінімальним, що забезпечується надійною роботою аспіраційних установок і підтриманням робочих органів подрібнюючих машин в справному технічному стані.

Процеси подрібнення поділяються на дроблення (грубе, середне, дрібне), подрібнення або помел (грубий, середній, тонкий, надтонкий і колоїдний помел) і різання. Різання застосовують, коли потрібно не тільки

зменшити розміри шматків, а й надати їм певну форму (овочі і фрукти, цукеркова і тістова маса, м'ясо). Грубе й середнє подрібнення роблять сухим способом, а дрібне і тонке – мокрим способом, зазвичай у воді. При мокрому подрібненні частинки мають більш рівномірну величину. При цьому різко знижується утворення пилу і спрощується вивантаження готового продукту.

Залежно від розмірів найбільших шматків початкового і подрібненого матеріалу, розрізняють кілька класів дроблення і помелу. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Класифікація дроблення і помелу.

Вид процесу	Розмір шматків, мм		Ступінь подрібнення
	До подрібнення D	Після подрібнення d	
Дроблення:			
Крупне	1500...300	300...100	2...6
Середнє	300...100	50...10	5...10
Дрібне	50...10	10...2	10...50
Помел:			
Грубий	1...5	0,10...0,04	10...125
Середній	0,10...0,04	0,015...0,005	6...20
Тонкий	0,10...0,04	0,005...0,001	20...100
Надтонкий	0,100	<0,001	>100

Критерії оцінки ефективності процесу подрібнення. Основними критеріями оцінки ефективності процесу подрібнення харчових продуктів являються: ступінь подрібнення, питома енергоємність процесу і питома навантаження на робочий орган подрібнювальної машини.

Ступень подрібнення дорівнює:

$$i = \frac{D}{d} \quad (4.1)$$

де D – середній розмір частки продукту до подрібнення, м; d – середній розмір частки після подрібнення, м.

Характерний лінійний розмір шматків неправильної геометричної форми визначається як середня геометрична величина:

$$d_{CP} = \sqrt[3]{l \cdot b \cdot h} \dots \dots \dots (4.2)$$

де l – максимальна довжина шматка, м; b – максимальна ширина, м; h – максимальна висота, м.

Ступінь подрібнення i може бути визначена як відношення сумарної поверхні частинок продукту після подрібнення S_K до сумарної поверхні частинок початкового продукту S_H .

$$i = \frac{S_K}{S_H} \dots \dots \dots (4.3)$$

Наприклад, в борошномельній промисловості ступінь подрібнення зернопродуктів залежно від призначення системи, кінематичних параметрів робочих органів машин становить $i = 20 \dots 50$, а в комбікормовій промисловості для деяких видів сировини вона може досягати $i = 300 \dots 400$.

При переробці зерна на борошномельних заводах для оцінки ступеня подрібнення прийнятий інший показник, званий *загальним витяганням* I (%).

$$I = \Pi - H \dots \dots \dots (4.4)$$

де Π – кількість прохідних часток, що містяться в продукті, (%); H – кількість таких же прохідних часток, що містяться в продукті, який надійшов в машину для подрібнення:

$$\Pi = \frac{100 \cdot M_1}{M_1 + C_1} \quad i \quad H = \frac{100 \cdot M_2}{M_2 + C_2} \dots \dots \dots (4.5)$$

де M_1 – маса прохідних часток, отриманих при просіюванні подрібненого продукту через сито заданого розміру, кг; C_1 – маса сходових частинок, отриманих при просіюванні подрібненого продукту через сито заданого розміру, кг; M_2 – маса прохідних часток в продукті, що надійшов на подрібнення, кг; C_2 – маса сходових частинок в продукті, що надійшов на подрібнення, кг.

Важливим критерієм оцінки ефективності процесу подрібнення є питома енергоємність:

$$\Delta A = \frac{A}{S_K - S_H} \dots \dots \dots (4.6)$$

де A – робота, витрачена на подрібнення продукту з початковою площею поверхні S_H до кінцевої площі поверхні подрібнених частинок S_K , (кг·м/м²).

Для зменшення енергоємності процесу подрібнення потрібно знижувати оберт продукту в технологічному процесі, використовувати раціональні режими підготовки та подрібнення продукту, скорочувати напруженість технологічного циклу, правильно підбирати геометричні та кінематичні параметри подрібнюючих машин.

Подрібнення в відкритих і закритих циклах. (рис. 4.2)

При подрібненні у відкритому циклі (рис. 4.2, а) продукт проходить через измельчающую машину один раз. У відкритому циклі проводять крупне й середнє дроблення, коли не потрібно отримувати зерна кінцевого продукту певного розміру.

Якщо у початковому матеріалі є домішка дрібнички, то її не подають у подрібнювач, а після попереднього відсіювання приєднують до кінцевого продукту.

При подрібненні в замкненому циклі (рис. 4.2, б) матеріал неодноразово проходить через дробарку. Подрібнений продукт з подрібнювача надходить в класифікувальний пристрій, за допомогою якого шматки, що перевищують встановлений кінцевий розмір, знову транспортуються на повторне дроблення. Робота по замкненому циклу застосовується при тонкому подрібненні. При цьому завдяки попередній і перевірній класифікації в подрібнювач практично не потрапляє «нічого зайвого». При здійсненні багатостадійного розмелу подрібнююча машина останньої стадії зазвичай працює в замкненому циклі.

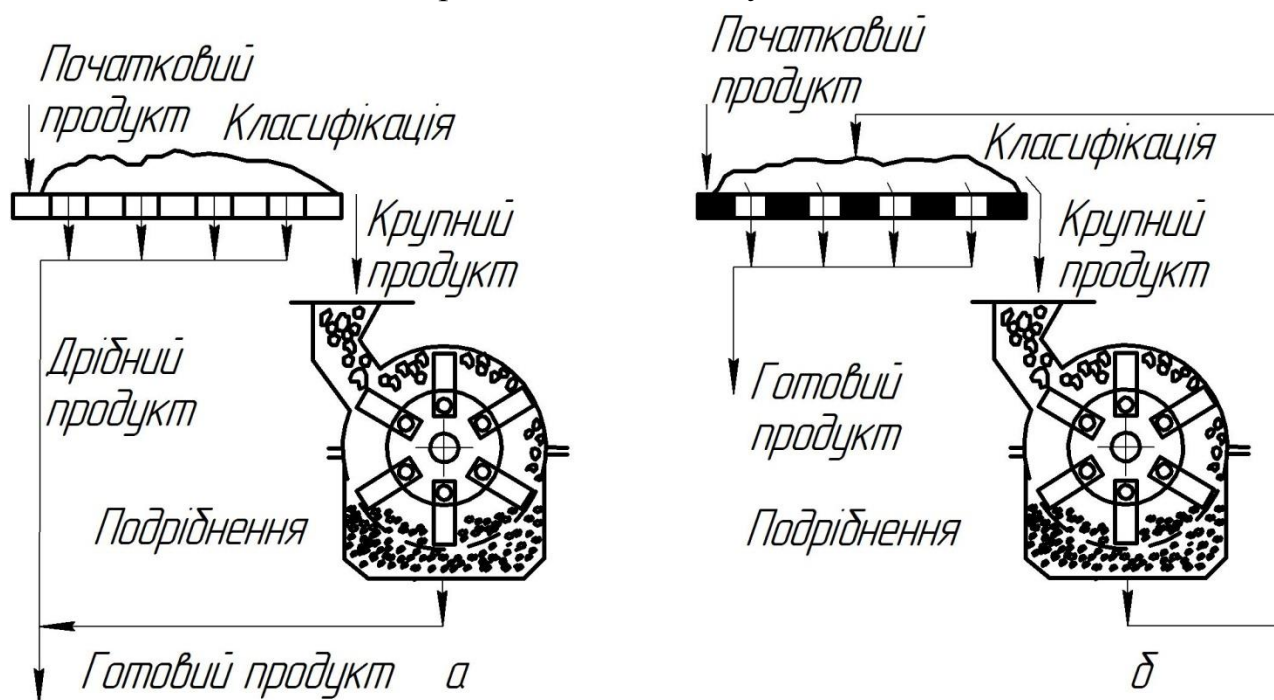


Рис. 4.2. Схеми циклів подрібнення:

а – відкритий цикл з попередньою класифікацією; б – замкнений цикл з суміщеними попередньою і перевірною класифікацією.

При подрібненні в замкненому циклі процес будують послідовно. Використовуючи відмінності структурно-механічних властивостей складових частин суміші, кожну стадію процесу здійснюють так, щоб були отримані частинки, що відрізняються одна від одної тими чи іншими фізичними властивостями. Це в подальшому полегшує поділ сипкої суміші сепаруванням на фракції, кожна з яких складається з частинок більш-менш однорідних за складом.

Наприклад, подрібнення пшениці і жита в сортове борошно засноване на використанні відмінностях структурно-механічних властивостей ендосперми і оболонок, які ще більше зростають після гідротермічної обробки зерна. Щоб не допустити надмірного подрібнення оболонок, в

основу побудови складного помелу покладено метод вибіркового подрібнення зерна та його частинок. Цей метод в поєднанні з оптимальними формами робочих органів подрібнюючих машин та їх кінематичними параметрами дозволяє так вести процес, щоб можна було звести до мінімуму дроблення оболонок і витягти з зерна максимальну кількість ендосперму.

4.2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ДРОБЛЕННЯ

Дроблення – процес поділу твердих тіл на частини під дією механічних сил, без надання їм певної форми або розміру.

Для руйнування матеріалу зовнішні сили повинні долати сили взаємного зчеплення частинок матеріалу. При цьому витрачається робота, визначення величини якої є однією з головних проблем в теорії подрібнення. Робота, яка витрачається на дроблення, складається з декількох величин:

- 1) Роботи на об'ємну деформацію руйнованих шматків матеріалу.
- 2) Роботи на створення нових поверхонь, утворюваних при зменшенні розміру шматків.
- 3) Роботи на створення тепла, що виникає при роботі подрібнювальних машин і даремно втрачається в навколишній простір.

Поряд із законами розподілу часток продуктів подрібнення, за їх розмірами, теорія подрібнення вивчає функціональні залежності між витратами енергії на процес дроблення матеріалу і ступенем подрібнення.

Витрати енергії на подрібнення продуктів залежать від фізико-механічних властивостей подрібнюваного продукту (межа міцності матеріалу σ_p , його модуль пружності E); геометричних параметрів (об'єм або лінійний розмір); ступеня подрібнення, обраного способу подрібнення, а також від продуктивності дробарки.

Для визначення роботи подрібнення, ще в дев'ятнадцятому столітті було запропоновано дві енергетичних теорії: поверхнева і об'ємна.

Поверхнева теорія – робота, необхідна для подрібнення тіла, витрачається на подолання сил молекулярного тяжіння по поверхні руйнування матеріалу: звідки випливає, що дана робота прямо пропорційна площі новоствореної поверхні.

$$A_r = f(\Delta S) \dots \dots \dots (4.7)$$

де ΔS – площа новоствореної поверхні.

Ця теорія сформульована німецьким вченим П. Ріттінгіром в 1867 році

Якщо взяти тіло кубічної форми з ребром D (рис. 4.3) і подрібнити його до часток-кубиків з ребром d , то число отриманих частинок $N_r = D^3/d^3 = \lambda^3$. Площа новоствореної поверхні при цьому становитиме $\Delta S = S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}} =$

$6d^2 \cdot N_2 - 6D^2$. Замінивши в цьому рівнянні $N_r = \lambda^3$ і $d^2 = D^2/\lambda^2$, отримаємо наступне рівняння: $\Delta S = \frac{6D^2}{\lambda^2} \cdot \lambda^3 - 6D^2$. Скоротимо λ і винесемо $6D^2$ за дужки.

Отримаємо значення приросту питомої площі поверхні $\Delta S = 6D^2 \cdot (\lambda - 1)$

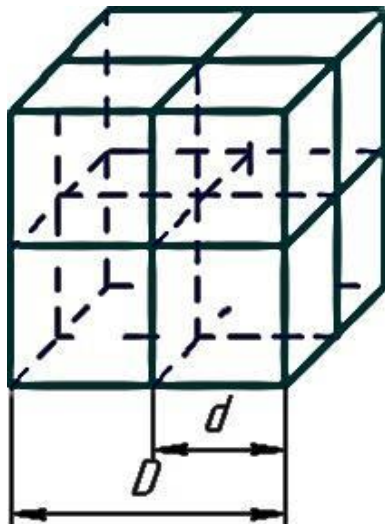


Рис.4.3. Дроблення шматка твердого матеріалу

Якщо робота A_0 витрачається на утворення одиниці площі нової поверхні, то повна робота по Ріттингеру, витрачена на процес подрібнення, складатиме:

$$A_r = A_0 \cdot \Delta S = 6A_0 D^2 \cdot (\lambda - 1) \quad (4.8)$$

Якщо у формулі (4.8) питому роботу A_0 ступінь подрібнення прийняти за постійні величини то повна робота на подрібнення:

$$A_r = K_r \cdot D^2 \dots \quad (4.9)$$

де K_r – коефіцієнт пропорційності.

Об'ємна теорія – робота, необхідна для подрібнення, витрачається на деформацію матеріалу до досягнення граничної руйнівної деформації. Або, витрати роботи на подрібнення матеріалу прямо пропорційні об'єму деформованої частини матеріалу. Розроблена російським вченим – механіком В. Л. Кирпичовим в 1874 році.

$$A_k = f \cdot \Delta V \dots \dots \dots \quad (4.10)$$

де ΔV – зменшення об'єму шматків матеріалу в результаті їх деформації перед руйнуванням.

На підставі закону Гука роботу деформації (Н · м) матеріалу при стисненні можна визначити за співвідношенням:

$$A_k = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{2E} \dots \dots \dots (4.11)$$

де σ – руйнівне напруження стиснення, Н/м; E – модуль пружності матеріалу, Н/м².

Як видно з рівняння (4.11), робота, що витрачається на руйнування матеріалу, залежить від руйнівного напруження і модуля пружності матеріалу. Якщо прийняти умову, що для даного матеріалу руйнівне напруження стиснення і модуль пружності матеріалу величини постійні, то можна записати, що $K_k = \sigma^2/2E$ і враховуючи, що $\Delta V \approx D^3$, отримаємо:

$$A_K = K_K \cdot \Delta V = K_K \cdot D^3 \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

де K_K – коефіцієнт пропорційності.

Рівняння (4.12) має назву рівняння Кирпичова-Кіка. Об'ємна теорія дає точніші результати в розрахунках процесу грубого подрібнення, при якому основна частина енергії витрачається на пружні деформації тіла.

Прихильники поверхневої і об'ємної теорій понад півстоліття вели гостру дискусію між собою, намагаючись довести перевагу однієї з них, але зробити цього не вдалося, тому що як перша, так і друга теорії не враховують впливу конкретних умов процесу подрібнення на його енергоємність (дисперсність матеріалу, конструкція подрібнювачів, режими роботи і тощо).

У зв'язку з цим з'явилася третя «примирення» теорія «примирення» Ф. Бонда (1952 р.) для випадку, коли слід брати до уваги обидва рівняння (4.9) і (4.12).

Теорія Ф. Бонда – робота, що витрачається на дроблення, пропорційна середньому геометричному від об'єму і площі поверхні подрібнюваного шматка:

$$A_B = K\sqrt{V \cdot S} = K\sqrt{K_K \cdot D^3} \cdot \sqrt{K_R \cdot D^2}$$

або

$$A_B = K_B \cdot D^{2,5} \quad \dots\dots\dots(4.13)$$

де K_B – коефіцієнт пропорційності.

Академік П.А. Ребиндер вперше (1928 р.) запропонував оцінювати роботу подрібнення за формулою, що враховує недоліки поверхневої і об'ємної теорій. Ця формула виражає основний закон подрібнення.

Основний закон подрібнення – повна робота подрібнення дорівнює сумі робіт, що витрачаються на деформації в деформовуваній частини об'єму руйнованого шматка і на утворення нових поверхонь:

$$A = f(\Delta V) + f_1(\Delta S) \dots\dots\dots(4.14)$$

де ΔV – об'єм деформованої частини тіла; ΔS – приріст питомої площі поверхні матеріалу.

Рівняння Ребиндера в розгорнутому вигляді можна записати так:

$$A = A_V + A_S = K_V \cdot \Delta V + K_S \cdot \Delta S \dots\dots\dots(4.15)$$

де A_V – робота, що витрачається на деформації в деформовуваній частини тіла; A_S – робота, що витрачається на утворення нових поверхонь; K_V і K_S – коефіцієнти пропорційності.

4.3 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МАШИН.

Відповідно до прийнятої термінологією все машини, призначені для подрібнення харчової сировини, називаються подрібнювачами. Кожен тип подрібнювачів охоплює велику групу машин, що відрізняються конструктивним виконанням і схемою організації робочого процесу (рис.4.4.).

Незважаючи на різноманіття конструктивних форм подрібнювачів, можна сформулювати деякі загальні вимоги, які повинні задовольняти будь-яку машину:

- 1) Конструкція машини повинна забезпечувати можливість швидкої і легкої зміни всіх зносних частин, особливо робочих елементів.
- 2) Продукт подрібнення повинен складатися з шматків однакового розміру з малим розкидом значень.
- 3) Конструкція машини повинна допускати по можливості швидке перекладання робочих органів при зміні ступеня подрібнення.
- 4) При подрібненні сухих матеріалів повинно забезпечуватися мінімальне пилоутворення.
- 5) Роздроблений до необхідного ступеня матеріал повинен негайно видалятися з подрібнювача, щоб уникнути зайвого подрібнення, сполученого із зайвою тратою енергії.
- 6) Подрібнювачі повинні мати по можливості меншу масу.
- 7) Машини повинні бути обладнані запобіжними пристроями, які запобігають поломам при попаданні в робочу зону інших предметів і запобігають аварії всієї конструкції.

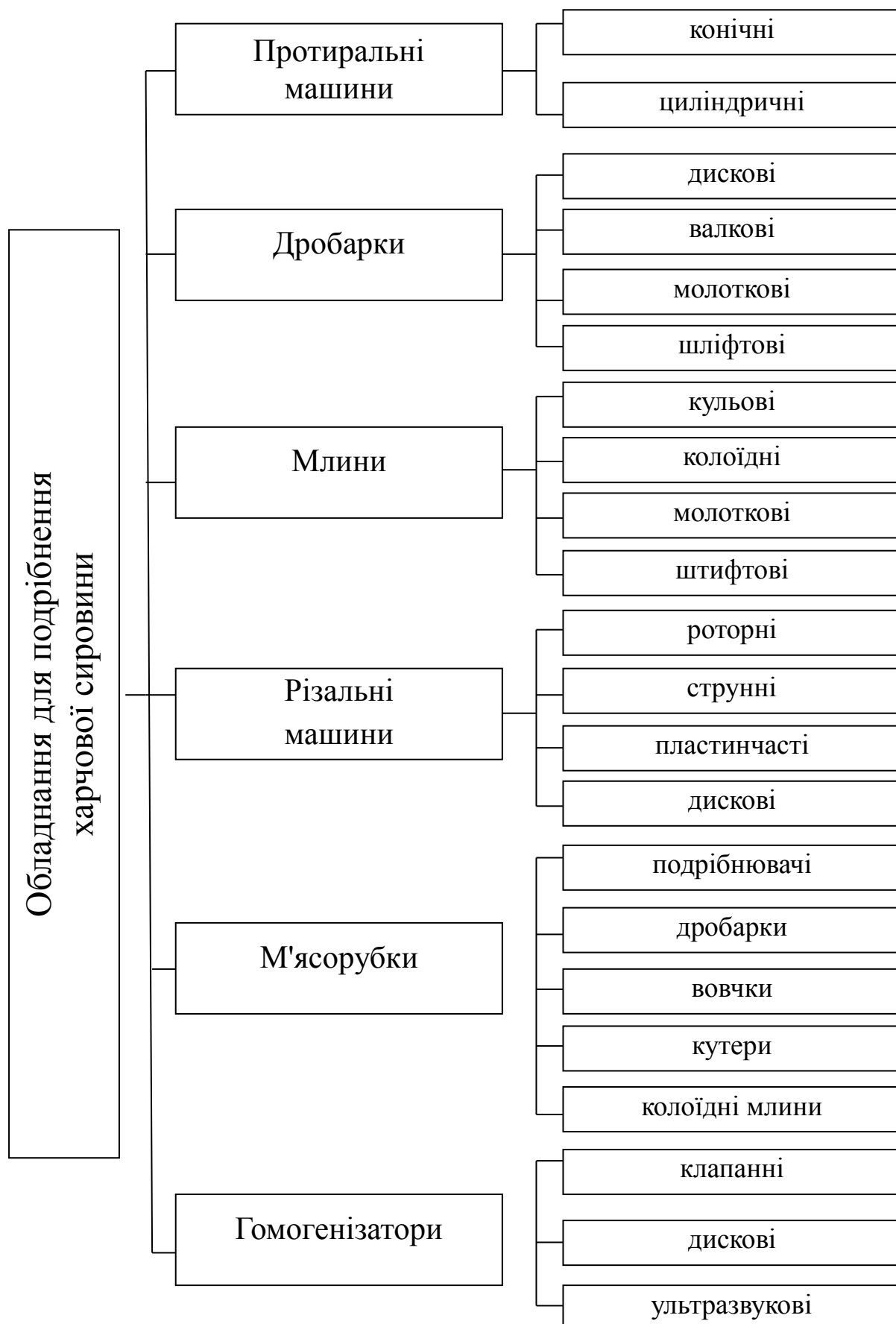


Рис. 4.4. Класифікація обладнання для подрібнення харчової сировини.

4.4. КОНСТРУКЦІЇ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МАШИН

В даному розділі розглянуті конструкції дробарок і млинів. Пристрій і робота інших подрібнювачів надані в складних дисциплінах.

Дискові дробарки. Для дрібного і тонкого подрібнення зерна, солоду, сухарів, макухи та інших продуктів використовують дискові дробарки з рифленими дисками (рис. 4.5., А). Прообраз дискових дробарок – кам'яні жорна, здавна застосовувалися різними народами для розмелювання зерна. У дискову дробарку з вертикальними рифленими дисками початковий продукт потрапляє за допомогою шнекового живильника в проміжок між дисками.

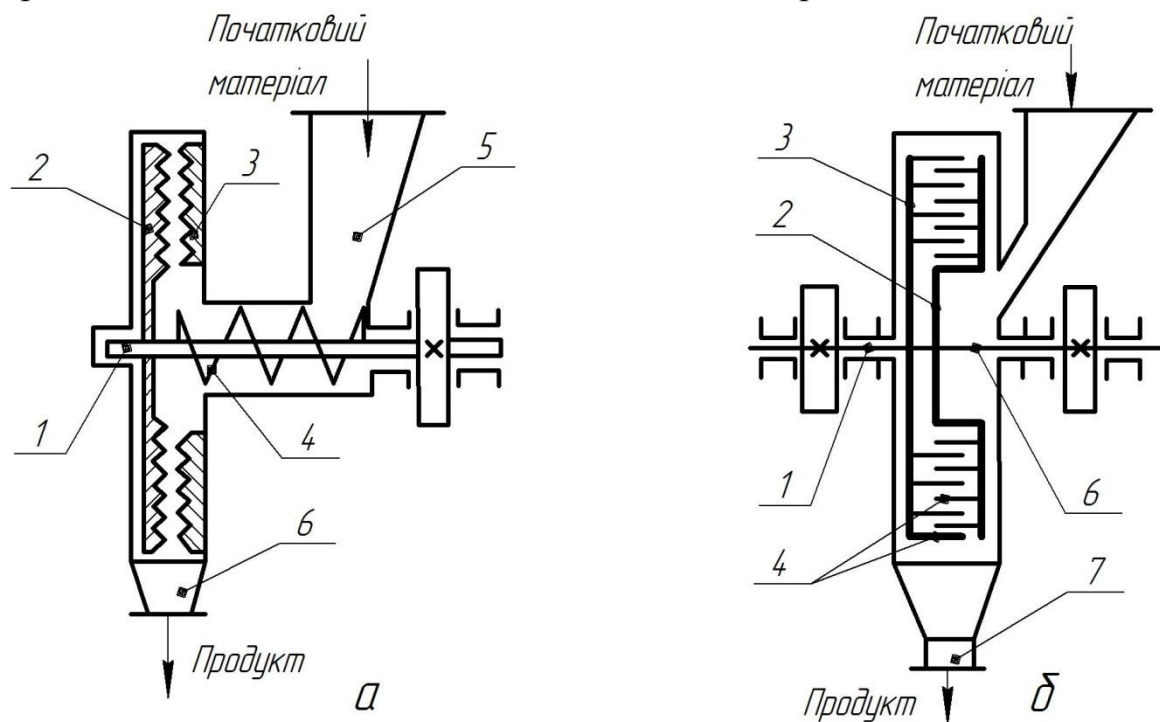


Рис. 4.5. Дискові дробарки:

а) – с рифленими дисками: 1 – обертовий вал; 2 – обертовий диск; 3 – нерухомий диск; 4 – шнековий живильник; 5 – завантажувальний бункер; 6 – патрубок для виведення подрібненого матеріалу; б) – дезінтегратор: 1 – вал, який обертає лівий диск; 2 – правий диск; 3 – лівий диск; 4 – штифти; 5 – завантажувальний бункер; 6 – вал, який обертає правий диск; 7 – патрубок для випуску подрібненого матеріалу.

Один з цих дисків нерухомий, інший обертається на горизонтальному валу. В результаті обертання цього диску продукт подрібнюється, переміщуючись між рифлями до периферії дисків. Обертовий диск за допомогою регулюючого пристрою може переміщатися в горизонтальному напрямку, тим самим змінюється ступінь дроблення. Швидкість на колі диску при дробленні зерна становить 7...8 м/с.

Інша модернізація дискових дробарок – дезінтегратори (рис.4.5, б), на дисках яких по концентричних колах встановлені штифти. Штифти одного

диска проходять по концентричних зазорам між штифтами іншого. Один з дисків може бути нерухомим або обертатися з меншою швидкістю, ніж інший. Ступінь подрібнення на дискових дробарках регулюється відстанню між дисками і залежить від форми і розмірів рифлів або штифтів. Діапазон колових швидкостей робочих органів машини становить 7...68 м/с. Продуктивність дискових дробарок коливається від 0,5 до 20 т/год.

Валкові дробарки. Служать для середнього, дрібного і тонкого подрібнення. Дроблення матеріалу відбувається шляхом стиснення і стирання. Якщо вальці виготовляють рифленими, матеріал ще і розколюється. У промисловості використовуються валкові дробарки, що відрізняються за кількістю валків (одне -, двох - і чотирьох-валкові), формі і швидкості обертання валків, роду приводу. Найбільшого поширення набули на борошномельних, круп'яних і комбікормових заводах.

Початковий матеріал надходить до валкової дробарки з бункера, зтягується парою обертових назустріч один одному гладких циліндричних валків 1 і 2 в зазор між ними і дробиться в основному шляхом роздавлювання (рис. 4.6).

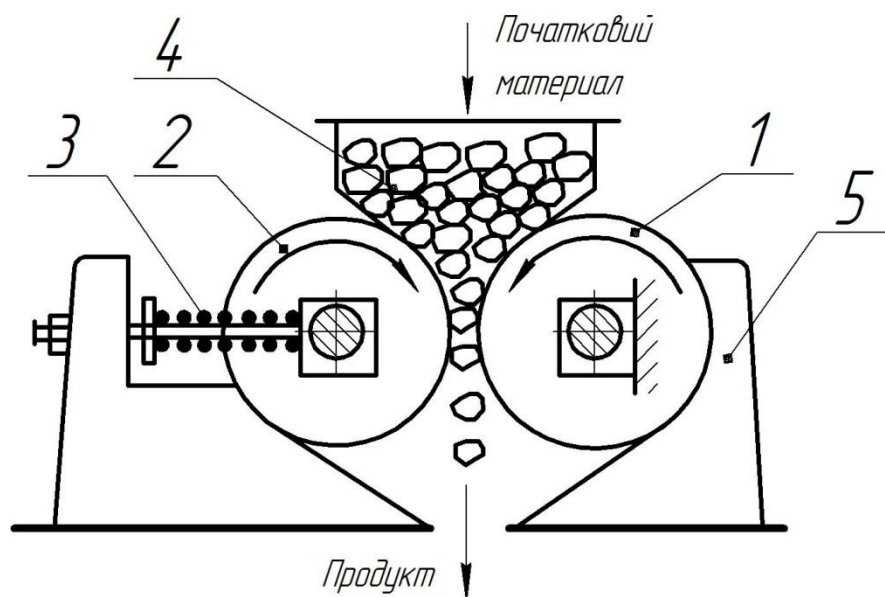


Рис. 4.6. Схема валкової дробарки:

1 – валок с підшипниками; 2 – валок с рухомими підшипниками; 3 – пружина; 4 – бункер; 5 – корпус.

Валки розміщені в корпусі 5, причому валок 1 обертається в нерухомо встановлених підшипниках, а валок 2 – в ковзних підшипниках, які утримуються в заданому положенні за допомогою пружини 3. При попаданні в дробарку стороннього предмета надмірної твердості рухливий валок відходить від нерухомого, і предмет випадає з дробарки, усуваючи можливість поломки.

Робочий процес полягає в тому, що матеріал, який надходить в робочу зону, захоплюється валками і деформується. Кут α між радіусом валка, проведеним в початкову точку контакту шматка матеріалу і лінією центрів $O_1 - O_2$ називається **кутом захоплення**. (рис.4.7).

Сила ваги шматка матеріалу G створює реакцію валка P , спрямованого по його радіусу. Сила P розкладається на вертикальну складову $P \cdot \sin \alpha$, яка виштовхує матеріал з робочої зони, і тангенціальну складову, створювану силою тертя:

$$F = P \cdot f \dots \dots \dots (4.16)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу об валок.

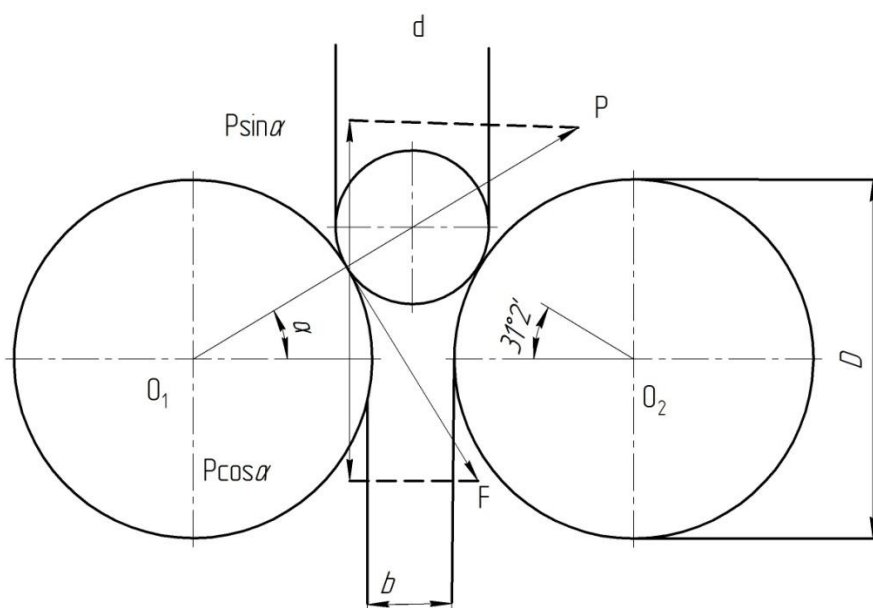


Рис. 4.7. Схема для визначення мінімально допустимого діаметра вальців.

тангенціальна складова F створює вертикальну складову $F_B = P \cdot f \cdot \cos \alpha$, яка затягує матеріал в робочу зону. Отже, матеріал буде втягуватися в міжвальцевий простір лише в тому випадку, якщо кут α буде менше кута тертя.

Звідси очевидно, щоб частка була затягнута вальцями, необхідно виконання наступної нерівності:

$$2P \cdot \sin \alpha < 2P \cdot f \cdot P \cos \alpha, \dots \dots \dots (4.17)$$

звідки

$$\frac{2P \cdot \sin \alpha}{2f \cdot P \cdot \cos \alpha} < f, \quad \text{або} \quad \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} < f \dots \dots \dots (4.18)$$

Коефіцієнт тертя в даному випадку зручніше представити виразом $f = \text{tg} \varphi$, де $\varphi = \text{arc tg} f$ – кут тертя. Тоді нерівність (4.18) можна записати так:

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\varphi.$$

Згідно представленої схеми (рис. 4.7) можна скласти наступну рівність:

$$D + b = D \cos \alpha + d \cos \alpha, \dots \dots \dots (4.19)$$

звідки

$$D = \frac{d \cos \alpha - b}{1 - \cos \alpha} \dots \dots \dots (4.20)$$

Через те, що мінімально допустимий діаметр валків за умовою захоплення шматків валками, тобто з урахуванням того, що граничне значення кута захоплення α має дорівнювати куту тертя φ , мінімально допустимий діаметр вальців D_{\min} буде визначатися за формулою:

$$D_{\min} = \frac{d \cos \varphi - b}{1 - \cos \varphi} \dots \dots \dots (4.21)$$

У валкових дробарках кут захоплення α зазвичай становить 18° . Найбільший розмір подрібнених шматків в 20 ... 25 разів менше діаметра валків. Колова швидкість валків коливається в межах від 3 до 6 м/с.

Граничну частоту обертання валків (хв^{-1}) знаходять, виходячи з умови виключення проковзування шматків матеріалу по поверхні валків, за формулою:

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{g \cdot \rho \cdot \alpha \cdot D}} \dots \dots \dots (4.22)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу про валок ($f=0,3$); ρ – щільність матеріалу, кг/м^3 ; α – розмір шматків початкового матеріалу, м; D – діаметр валка, м.

Об'ємна ($\text{м}^3/\text{год}$) і масова (кг/год) продуктивність валкової дробарки визначаються за виразами:

$$Q = 60bL\pi Dn; \dots \dots \dots (4.23)$$

$$M = 60bL\pi Dn\rho\varphi, \dots \dots \dots (4.24)$$

де b – ширина щілини між валками, м; L – довжина валка, м; D – діаметр валка, м, n – частота обертання валка, м^{-1} ; ρ – щільність матеріалу, кг/м^3 ; φ – коефіцієнт розпушення; $\rho\varphi$ –насипна щільність матеріалу, кг/м^3 .

Молоткові дробарки застосовуються у харчових виробництвах для дроблення зерна, картоплі, солоду, макухи, компонентів комбикормів, відходів на борошномельних заводах.

Фізична сутність процесу подрібнення зерна в молоткових дробарках полягає в поділі матеріалу на окремі частини ударом робочими органами (молотками) і стирання об нерухому перфоровану деку.

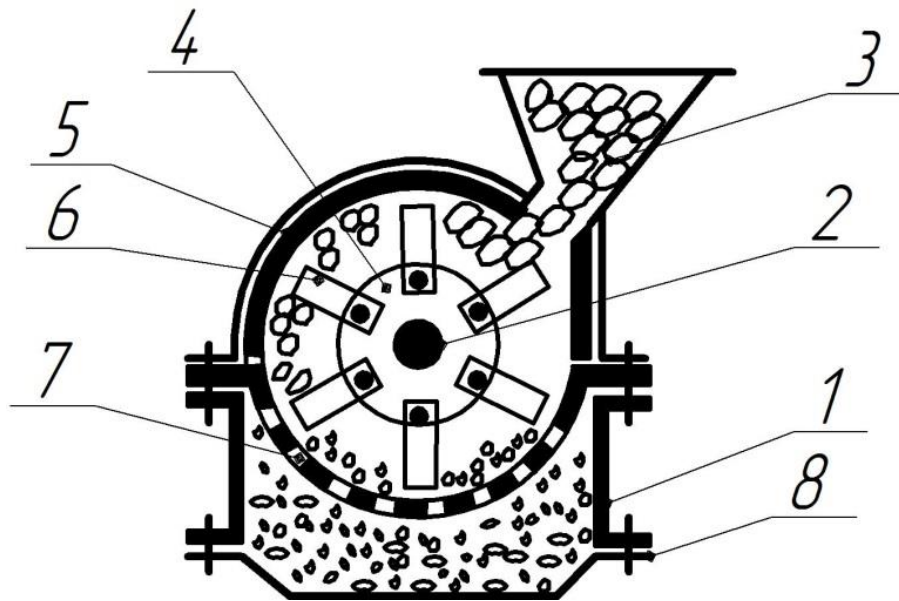


Рис. 4.8. Схема молоткової дробарки:

1 – корпус дробарки; 2 – ротор; 3 – завантажувальний патрубок; 4 – маточина ротора; 5 – зубчаста (рифлена) дека; 6 – молоток; 7 – сито; 8 – піддон дробарки.

Молотковий ротор встановлений на чавунній станині. Барабан складається з ряду дисків, розділених прокладками. Диски стягнуті болтами і гайками по колу. Крізь диски проходять стрижні, на які надіті молотки.

Обертювий молотковий ротор оточений нерухомою обичайкою, що складається з рифленої деки і циліндричного сита. У зазор між декою і обертювими молотками підводиться продукт, який підлягає дробленню.

У молоткових дробарках застосовується два види сит: з прямокутними або круглими отворами і лускаті сита. Отвори мають конусну форму, що розширюється у напрямку виведення продукту, що виключає забивання отворів прохідний фракцією. При установці лускатих сит і збільшенні розміру отворів продуктивність дробарок підвищується, але знижується ступінь подрібнення.

Продукт в молотковій дробарці подрібнюється при досягненні ротором мінімальної колової швидкості, при якій руйнується продукт в результаті удару. Ступінь подрібнення можна регулювати підбором розмірів сит, а в деяких конструкціях дробарок – розміщенням деки.

Ефективність дробарки при розломі окремих матеріалів залежить головним чином від розташування, числа і форми молотків, а також від розмірів і форми рифлів на внутрішній поверхні деки. На ступінь подрібнення продукту впливають величина зазорів між молотками, нерухомою декою і ситом, розмір отворів сита, колова швидкість молоткового ротора, яка досягає 100 м/с. Тому в обертювих частинах

дробарки розвиваються великі напруги, які різко виростають зі збільшенням частоти обертання ротора, оскільки відцентрова сила пропорційна квадрату колової швидкості. З цієї ж причини молоткові ротори вимагають ретельного балансування. Недостатнє балансування обертаючих частин дробарки може не тільки викликати неспокійний хід машини (вібрацію), але і бути причиною аварії.

Швидко обертовий молотковий ротор дробарки, діючи як вентиляторне колесо, нагнітає повітря крізь отвори сита, при цьому повітря видаляє подрібнений продукт. Завдяки повітряному потоку, створюваному молотковим ротором, іноді можна передавати продукти розмелювання на невеликі відстані без застосування будь-якого транспортувального пристрою. Продукт, що виходить з молоткової дробарки, можна транспортувати механічно за допомогою норій, шнеків і стрічкових транспортерів. Однак, при цьому дуже важко боротися з запиленням приміщень, тому що підвищений тиск всередині дробарки створює потік запиленого повітря з робочого простору дробарки назовні.

Тому дуже часто застосовують вентилятор, вбудований в дробарку або окремий, який відсмоктує весь розмелений продукт і нагнітає його разом з повітрям в спеціальне осадний пристрій (циклон). В цьому випадку всередині дробарки створюється розрідження, припиняється пиловиділення, відбувається охолодження продукту і всієї машини, зменшується небезпека засмічення отворів сит, оскільки вони безперервно продуваються повітрям. Насаджувати робоче колесо вентилятора безпосередньо на вал дробарки вимогами техніки безпеки заборонено.

Робочі швидкості молотків. У сучасних конструкціях дробарок швидкість молотків знаходиться в межах від 40 до 80 м/с, а в дробарках комбікормових заводів – до 100 м/с і вище. Щоб отримати в дробарці дійсну швидкість співударів молотків з початковим матеріалом, рівну руйнівній швидкості, робочу швидкість молотків потрібно призначати вище, так як необхідно врахувати швидкість циркуляції повітряно – продуктового шару в камері.

Мінімальна окружна швидкість молотків, при якій руйнується матеріал в моменти удару, може бути визначена із **закону кількості руху**:

$$m \cdot (V_2 - V_1) = P \cdot \tau \quad \dots\dots\dots(4.25)$$

де m – маса подрібнюваної частки матеріалу, кг; V_1 – швидкість частинки до удару, м/с; V_2 – швидкість частинки після удару, м/с; P – середня сила опору частки руйнуванню, Н; τ – тривалість удару, с.

Дослідженнями встановлено, що руйнівне зусилля при стисненні Р для різних культур різне. Значення руйнівного зусилля при вологості 13 ... 15% представлено в таблиці 4.2.

На підставі експериментальних даних встановлено, що тривалість удару $t = 10^{-5}$ с. Початкова швидкість зернівки V_1 в момент зустрічі з молотком приймається рівною нулю. Отже, середня швидкість частинок після удару, при якому відбувається їх руйнування, може бути визначено за формулою:

$$V_2 = \frac{P \cdot t}{m} \dots \dots \dots (4.26)$$

Таблиця 4.2. Руйнівне зусилля для різних культур.

Найменування с– г. культури	Руйнівне зусилля Р(Н)
Просо	14...16,8
Пшениця	120...280
Кукурудза	180...220
Ячмінь	120...180
Овес	100...120
Жито	115...180
Рис	120...200
Гречка	26...32
Горox	160...20

Розділивши отриману швидкість на коефіцієнт відновлення при непружному ударі K_B можна розрахувати окружну швидкість ротора, при якому досягається ефективне подрібнення продуктів:

$$V_P = \frac{V_2}{K_B}; \quad 0 < K_B < 1 \dots \dots \dots (4.27)$$

На практиці швидкість молотків приймають: $V_M = (1,61 \dots 11,2) \cdot V_P$.

Параметри барабана дробарки. При розрахунку і проектуванні дробарок слід враховувати наявність двох типів барабанів, що відрізняються співвідношенням розмірів їх діаметрів D і довжини L.

У барабанів нового типу до 50 % їх маси зосереджено в пакетах молотків, пальців і шайб близько від осі обертання барабана, в результаті осьовий момент інерції барабана відносно невеликий. У конструктивному відношенні ці барабани більш металомісткі. Однак вони легше піддаються динамічному врівноваженню. Для такої конструкції достатньо забезпечити

тільки статичне зрівноважування. Для цих типів барабанів співвідношення коливається в межах:

$$k_1 = \frac{D}{L} = 1 \dots 2 \dots \dots \dots (4.28)$$

У барабанів другого типу маса молотків з пальцями і шайбами становить лише 17 ... 18% від всієї маси барабана.

Пакети молотків віддалені від осі обертання барабана на значну відстань, в результаті такі барабани відрізняються великими значеннями осьового моменту інерції і махового моменту ($G \cdot D^2$). У конструктивному відношенні ці барабани виявляються менш металомісткі, але вимагають ретельного балансування. Співвідношення довжини і діаметру:

$$k_2 = \frac{D}{L} = 4 \dots 7 \dots \dots \dots (4.28)$$

Зв'язок між розмірами барабана і його продуктивністю виражається через показник питомого навантаження q_H .

Питомим навантаженням дробарки називається відношення секундної розрахункової продуктивності до площі діаметральної проекції барабана ($D \cdot L$):

$$q_H = \frac{q_p}{D \cdot L} \dots \dots \dots (4.30)$$

де q_H – питома навантаження, кг/(с · м³); $q_H = 2 \dots 3$ кг/(с · м³); при $V_p = 70 \dots 80$ м/с; q_p – секундна розрахункова продуктивність, кг/с.

Зі співвідношення (4.28), (4.29) довжина барабана буде дорівнювати:

$$L = \frac{D}{k} \dots \dots \dots (4.31)$$

Підставивши рівняння (4.31) у формулу (4.30), визначимо діаметр барабана:

$$D = \sqrt{\frac{k \cdot q_p}{q_H}} \dots \dots \dots (4.32)$$

Урівноваження на удар молотків і дисків барабана. При конструюванні молоткових дробарок з великими окружними швидкостями робочих органів, необхідно рахуватися з можливим виникненням інерційних сил через невірноваженості ротора, значення яких можуть досягати великих величин. Найбільш сильні удари відбуваються при зустрічі частинок з кінців молотків, коли останні займають найвище робоче положення. Ці удари при недостатній конструкції молотків передаються на всю машину і швидко виводять її з ладу.

Для зниження ударного впливу молотків на машину, ударна реакція молотків повинна бути врівноважена на силу удару. Це досягається за умови відсутності або незначності ударної реакції у вісях підвісу молотків.

Основні параметри ротора з молотками показані на рисунку 4.9.

Виходячи з умов рівноваги молотка і закону зміни кількості руху в момент удару визначено, що молоток забезпечує безударну роботу при дотриманні наступної рівності його конструктивних розмірів (рис. 4.9)

$$r^2 = l \cdot c \dots \dots \dots (4.33)$$

де r – радіус інерції молотка відносно осі підвісу, м; l – відстань від осі отвору молотка до його робочого кінця, м; c – відстань між центром ваги маси і віссю отвору молотка, м.

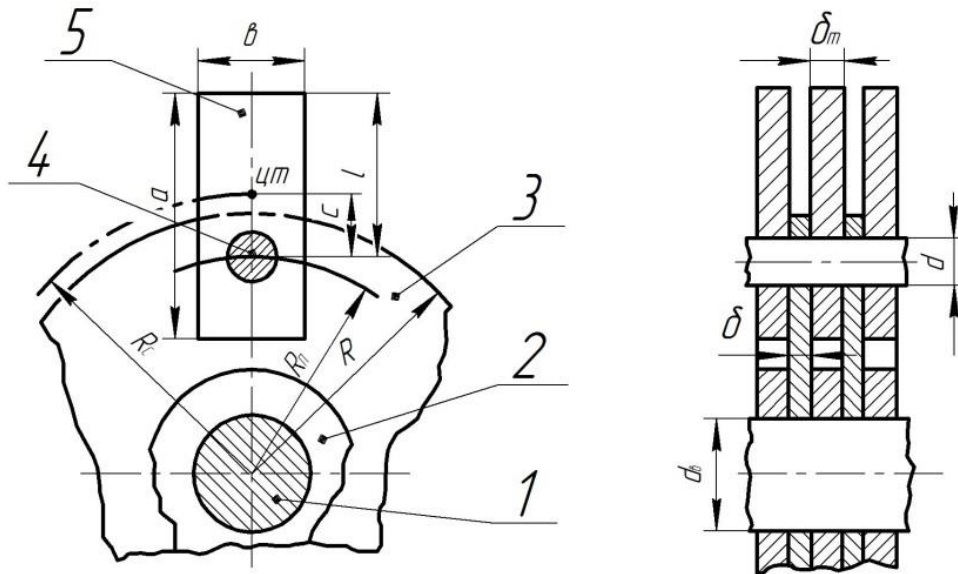


Рис. 4.9. Розрахункова схема ротора з молотками:

- 1 – вал ротора; 2 – проміжне кільце; 3 – диск; 4 – вісь молотків; 5 – молоток.

Для прямокутного молотка з одним отвором квадрат радіуса інерції відносно центра маси дорівнює:

$$r_c = \frac{a^2 + b^2}{12} \quad (4.34)$$

де a – довжина молотка, b – ширина молотка, м; r_c – радіус інерції молотка відносно центру маси.

Тоді радіус інерції молотка відносно осі підвісу визначимо:

$$r^2 = r_c^2 + c^2 \quad (4.35)$$

Зважаючи, що точка прикладання удару знаходиться на кінці молотка, отримаємо залежність:

$$l = c + 0,5a \quad (4.36)$$

Відстань від осі підвісу до центру маси молотка (рис. 4.9) має дорівнювати:

$$c = \frac{a^2 + b^2}{6 \cdot a} \quad (4.37)$$

Робочі розміри молотка з *двома отворами* при дотриманні умови зрівноваження його на силу удару можна визначити з наступних залежностей:

$$r_c^2 = 0,5 \cdot a \cdot c \quad (4.38)$$

$$c^2 + \left(\frac{a^2+b^2}{\pi d^2} - \frac{a}{2} \right) \cdot c - \frac{a \cdot b \cdot (a^2+b^2)}{6 \cdot \pi d^2} - \frac{d^2}{8} = 0 \quad (4.39)$$

позначимо через $A = \frac{a^2+b^2}{\pi d^2} - \frac{a}{2}$, $B = \frac{a \cdot b \cdot (a^2+b^2)}{6 \cdot \pi d^2} - \frac{d^2}{8}$;

де d – діаметр осі підвісу молотка, м.

Тоді отримаємо загальне квадратне рівняння:

$$c^2 + AC - B = 0$$

Знайдемо корінь загального квадратного рівняння:

$$c = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B} \quad (4.40)$$

Наявність другого отвору в молотку дозволяє шляхом перестановки використовувати при роботі ще два його робочих кута. У цьому випадку, однак, треба враховувати, що навіть знос одного робочого кута молотка, веде до порушення умови рівноваги на удар з усіма можливими наслідками.

Забезпечення стійкості руху молотка також залежить від правильності підбору розмірів молотка, диска барабана і діаметра барабана, які пов'язані наступною залежністю:

$$R_{\Pi} = \frac{D}{2} - l \quad (4.41)$$

де R_{Π} – радіус підвісу молотка, м; D – діаметр барабана, м; l – відстань від кінця молотка до осі його підвісу, м.

Для запобігання порушення усталеної роботи молоткових дробарок рекомендується, щоб відстань від осі підвісу молотка, до його зовнішньої робочої кромки, та й до осі ротора не були б рівні або досить близькі.

Кульові млини. Кульові і стрижневі млини застосовуються для тонкого дроблення, яке відбувається внаслідок удару і стирання матеріалу між кулями або стрижнями. Продукт знаходиться разом з кулями в порожнистому обертаючому барабані, покритому зсередини броньованими плитами.

Кульовий млин (рис. 4.10) завантажується кулями і матеріалом одночасно. Кулі виготовляють зі сталі, діабазу, порцеляни та інших твердих матеріалів. Розмір кулі залежить від розмірів матеріалу, що подрібнюється. Сталеві кулі мають діаметр 30 ... 35% його об'єму.

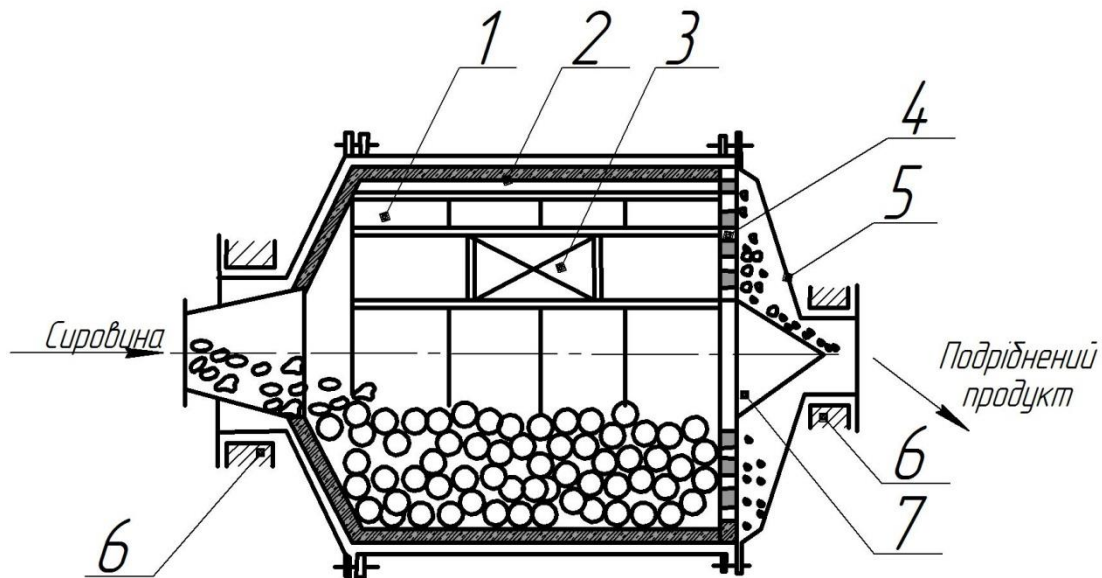


Рис. 4.10. Кульовий млин:

1 – корпус барабана; 2 – броньова плита; 3 – люк; 4 – гратниця; 5 – кришка задня; 6 – порожнисті цапфи; 7 – напрямний конус; 8 – кришка передня.

Поряд з кулями використовують також циліндричні стрижні. Осі стрижнів розташовуються паралельно осі корпусу млина. В кульових млинах подрібнення матеріалу відбувається під дією ударів падаючих куль або стрижнів і шляхом стирання його між кулями або стрижнями і внутрішньою поверхнею корпусу млина.

При обертанні кульового млина внаслідок тертя між стінкою млина і кулями останні піднімаються в напрямку обертання на таку висоту, поки кут підйому не перевищить кута їх природного укосу, після чого скочується вниз.

Зі збільшенням швидкості обертання млина зростає відцентрова сила і відповідно збільшується кут підйому куль доти, складова сили ваги куль не стане більше відцентрової сили. При порушенні цієї умови кулі падають, описуючи при падінні деяку параболічну криву. При подальшому збільшенні швидкості обертання млина відцентрова сила може стати настільки великою, що кулі будуть обертатися разом з млином. Щоб куля відірвалася від стінки млина, а не оберталася разом з корпусом, її сила тяжіння G або вага повинна перевищувати відцентрову силу P , що діє на кулі, тобто має бути дотримано умову:

$$P < G$$

Відцентрова сила визначається за формулою:

$$P = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (4.42)$$

де m – маса кулі, кг; ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с; r – внутрішній радіус барабана, м.

Сила тяжіння кулі визначиться з виразу:

$$G = m \cdot g \quad (4.43)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с².

При частоті обертання n (об/хв.)

$$\omega = \pi n / 30 \quad (4.44)$$

Тоді відцентрова сила:

$$P = m \cdot (\pi n / 30)^2 \cdot r \quad (4.45)$$

Замінімо r на $D/2$ і отримаємо наступне рівняння:

$$m \cdot (\pi n / 30)^2 \cdot D / 2 < G \quad (4.46)$$

де D – діаметр барабана, м.

З рівняння (4.46) визначаються мінімально певні обороти барабана млина:

$$n = \sqrt{\frac{G \cdot r \cdot 30^2}{m \cdot D \cdot \pi^2}} \quad (4.47)$$

Провівши перетворення і приймаючи, що $G/m = g = 9,81$, отримаємо:

$$n = 42,4 / \sqrt{D} \quad (4.48)$$

Таким чином, зі збільшенням діаметра барабана повинна зменшуватися частота його обертання. На практиці приймають значення частоти обертання (об/хв):

$$n = 32 / \sqrt{D} \quad (4.49)$$

Продуктивність кульового млина визначається експериментально, витрата енергії – на підставі емпіричних формул.

Колоїдні млини використовуються для дуже тонкого подрібнення суспензій. Подрібнення проводять мокрим способом, в малих зазорах між обертаючими деталями в присутності дисперсійного середовища (рідина або іноді газу), що запобігає злипанню роздроблених частинок. Розміри частинок, одержуваних при дробленні в колоїдних млинах, наближаються до розмірів колоїдних частинок і складають частки мікрометрів.

Колоїдний млин представляє собою дисковий млин, подрібнювальний механізм якого має різне виконання. Подрібнювальний механізм з корундовою (абразивною) шайбою (рис. 4.11) утворений з однієї нерухомої (статор) і однієї роторної шайби.

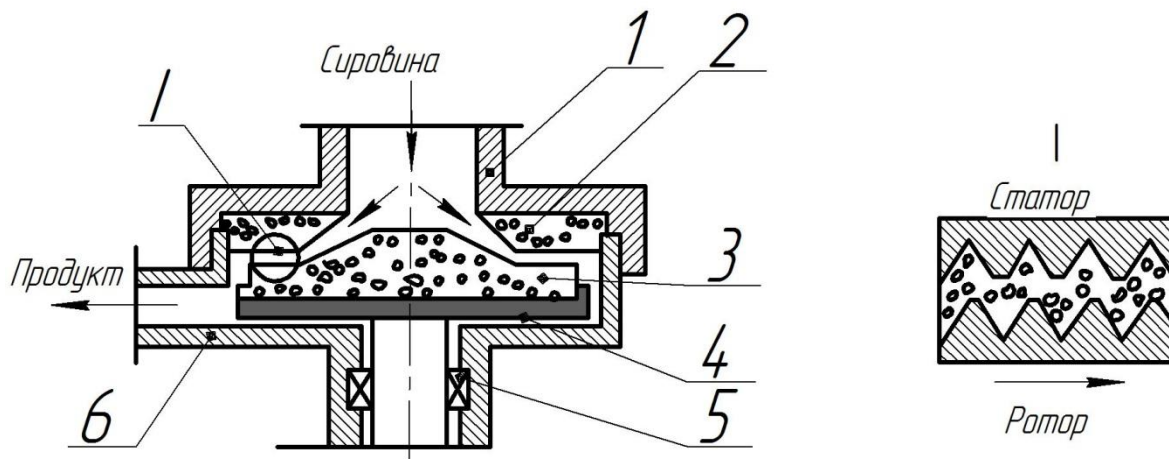


Рис. 4.11. Схема подрібнювального механізму млина з абразивною шайбою: 1 – верхній корпус млина; 2 – нерухома корундова шайба; 3 – роторна корундова шайба; 4 – ротор; 5 – підшипник; 6 – нижній корпус.

Під дією відцентрової сили в зазорі між шайбами відбувається тонке дроблення, розбивання, змішування і гомогенізація (область 1). Ротор млина обертається з частотою 3000 с^{-1} .

Дисмембратор призначений для подрібнення прянощів і інших продуктів. На відміну від дезінтеграторів мають один обертовий диск. Роль другого диска виконує кришка млина, на внутрішній поверхні якої по концентричних колах розташовані ряди нерухомих пальців.

Дисмембратор складається з литого корпусу, що утворює разом з відкидною кришкою робочу камеру, ротора зі знімним штифтовим диском, нерухомого диска зі штифтами, закріпленого на кришці, живильника з магнітним захистом, металозбірника і пневмоприймача.

Продукт надходить в живильник, де відбувається відбір металоманітних домішок, після чого по каналу порожнистої кришки відпадає в центр робочої камери в простір між дисками. На дисках по концентричних колах закріплені штифти таким чином, що штифти одного диска розташовуються в кільцевому просторі іншого диска. У просторі між нерухомим і рухомим дисками продукт завдяки багаторазовим ударам о штифти подрібнюється. Подрібнений продукт потрапляє до пневмоприймача і видаляється з дисмембратора пневмотранспортером. Продуктивність дисмембратор регулюється за допомогою заслінки в живильнику. Якщо вісь дисмембратора встановлена вертикально, то його називають **ентолейтором**.

Контрольні питання до теми 4.

1. Які способи подрібнення харчових продуктів ви знаєте?
2. Яка класифікація видів дроблення і помелу матеріалів в залежності від ступеня подрібнення?
3. Що називається ступенем подрібнення?
4. У чому полягає подрібнення в відкритих циклах?
5. У чому полягає подрібнення в замкнених циклах?
6. Якими критеріями оцінки ефективності характеризується процес подрібнення?
7. Які гіпотези домінують в оцінці витрат енергії при руйнуванні матеріалу?
8. У чому полягає гіпотеза П. А. Ребіндера по оцінці витрат енергії на подрібнення продукту?
9. У чому полягає узагальнений закон подрібнення?
10. Які особливості об'ємної теорії дроблення Ф. Кіка – В. Л. Кирпичева?
11. У чому полягає поверхнева теорія дроблення П. Ріттингера?
12. Як пов'язані енерговитрати на подрібнення матеріалів з розміром продуктів подрібнення?
13. Як класифікуються подрібнювальні машини?
14. Який принцип подрібнення реалізований в вальцових верстатах?
15. Перерахуйте вимоги до подрібнювальних машин.
16. Які млини застосовуються для дроблення і помелу зерна?
17. Які види деформації при дробленні ви знаєте?
18. Як визначити ступінь подрібнення?
19. Вкажіть область застосування молоткових дробарок.
20. Яких умов потрібно дотримуватися при подрібненні?
21. Дайте формулювання процесу дроблення.
22. В якому випадку матеріал буде втягнутий в межвальцевий простір?
23. Розкажіть про пристрій дезінтегратора.
24. Яка умова повинна дотримуватися в кульових млинах?
25. Розкажіть про пристрій дисмембратора.
26. Як влаштований і працює колоїдний млин?
27. Як влаштована молоткова дробарка?
28. Яким показником оцінюється ступінь подрібнення на борошномельних заводах.
29. З яких величин складається робота, витрачена на дроблення?

30. Який пристрій і принцип дії дискової дробарки з рифленими дисками?
31. Від яких параметрів залежить продуктивність валкової дробарки?
32. За яким законом визначається колова швидкість молотків.
33. Як характеризуються барабани першого типу молоткових дробарок, у яких $D/L = 1 \dots 2$?
34. Як характеризуються барабани другого типу молоткових дробарок, у яких $D/L = 4 \dots 7$?
35. Що називається питомим навантаженням дробарки?
36. За яких умов молоток забезпечує безударну роботу.
37. Як влаштована і працює кульовий млин.
38. За якою формулою визначаються мінімальні оберти барабана кульового млина.
39. Яка особливість конструкції ентолейтора.
40. Який кут у вальцьових дробарках називається кутом захоплення?
41. Яка сила виштовхує матеріал з робочої зони валкової дробарки.
42. Яка сила зтягує матеріал в робочу зону валкової дробарки.

Тести для перевірки знань.

- 1) За якою формулою визначається ступінь подрібнення матеріалу?
 1. $i = \frac{D_H}{d_k}$;
 2. $\beta = \frac{V}{V_k}$;
 3. $\varphi = \frac{S_0}{S}$;
 4. $\varepsilon = \frac{V_{ж}-V_{г}}{V_k}$
- 2) Формулювання основного закону подрібнення (П. А. Ребіндера).
 1. Повна робота подрібнення дорівнює сумі робіт на деформацію матеріалу і утворення нових поверхонь.
 2. Робота на подрібнення пропорційна середньому геометричному з об'єму і площі поверхні подрібнюваного шматка.
 3. Робота, необхідна для подрібнення тіла, прямо пропорційна площі новостворених поверхонь.
 4. Витрати роботи на подрібнення прямо пропорційні об'єму деформовуваної частини тіла.
- 3) Яка формула відповідає закону В. П. Кірпічова - Ф. Кіка?
 1. $A = K_0 \cdot \Delta V = K_1 \cdot D^3$
 2. $A = A_0 \cdot \Delta S = K_2 \cdot D^2$
 3. $A = K\sqrt{V} \cdot S = K_3 \cdot D^{2,5}$
 4. $A = K \cdot \Delta V = K \cdot \Delta S$
- 4) Який закон подрібнення описується формулою $A=K_3 \cdot D^{2,5}$?
 1. Закон Ф. Бонда.

2. Закон В. П. Кірпічова – Ф. Кіка.
 3. Закон П. Ріттінгера.
 4. Закон П.А.Ребіндера
- 5) Закон конструкції дробарок не використовується в харчовій технології?
1. Шнекові, гравітаційні.
 2. Валкові, молоткові.
 3. Дискові, зубчасті.
 4. Дезінтегратори, кульові.
- 6) В яких межах знаходиться робоча швидкість молотка дробарки?
1. $V_p = 40 \dots 80$ м/с
 2. $V_p = 15 \dots 35$ м/с
 3. $V_p = 90 \dots 100$ м/с
 4. $V_p = 120 \dots 150$ м/с
- 7) Які машини використовуються для надтонкого подрібнення?
1. Колоїдні млини.
 2. Валкові млини.
 3. Кульові і стрижневі млини.
 4. Дезінтегратори.
- 8) Який силовий вплив застосовується для дроблення зерна в молоткових дробарках?
1. Багаторазовий удар.
 2. Розколювання матеріалу.
 3. Розламування матеріалу.
 4. Роздавлювання матеріалу.
- 9) Основні умови, які повинні дотримуватися при роботі кульового млина?
1. Відцентрова сила кулі менше його сили тяжіння, $P < G$
 2. Відцентрова сила кулі більше його сили тяжіння, $P > G$
 3. Відцентрова сила кулі дорівнює його силі тяжіння, $P = G$
 4. Всі перераховані умови.
- 10) Основна відмінність дисмембратора від дезінтегратора.
1. Один обертовий диск, роль другого виконує кришка.
 2. Два обертових диска.
 3. Один обертовий і один нерухомий диски.
 4. Два обертових диска і один нерухомий посередині.
- 11) Як називається дисковий подрібнювач з вертикальною віссю?
1. Ентойлетор.
 2. Дезінтегратор.

3. Дисмембратор. 4. Колоїдний млин.

12) Від яких параметрів залежить продуктивність молоткової дробарки?

1. Від діаметра і довжини барабана.
2. Від кількості молотків на роторі.
3. Від довжини і кількості рифлів на деці.
4. Від оборотів молоткового ротора.

13) Як впливає співвідношення діаметра до довжини барабана $D/L = 1 \dots 2$ на його конструкцію?

1. До 50 % маси барабана зосереджена в пакетах молотків, осьовий момент інерції невеликий, велика металоємність.
2. До 20...40 % маси барабана зосереджена в пакетах молотків, невелика металоємність, потрібно балансування.
3. До 17...20 % маси барабана зосереджено в пакетах молотків, великий момент інерції, менш металомісткі.
4. До 55...65 % маси барабана зосереджено в пакетах молотків, малий момент інерції, мала висота і велика довжина дробарки

14) Як впливає співвідношення діаметра і довжини барабана $D/L = 4 \dots 7$ на його конструкцію?

1. 17...20 % маси барабана зосереджено в пакетах молотків, великий момент інерції, менш металомісткі, потрібно балансування.
2. 50 % маси барабана зосереджено в пакетах молотків, осьовий момент інерції невеликий, велика металоємність.
3. 55...65 % маси зосереджено в пакетах молотків, малий момент інерції, мала висота і велика довжина дробарка.
4. 20...40 % маси барабана зосереджено в пакетах молотків, малий момент інерції, мала висота і велика довжина дробарки.

15) Основна умова захоплення шматка валками дробарки.

1. Тангенс кута захоплення частки менший або дорівнює коефіцієнту тертя частинок о валок.
2. Тангенс кута захоплення частки більше коефіцієнта тертя частинок про валок.
3. Валки повинні мати рифл і обертатися назустріч один одному з різними кутовими швидкостями.
4. Зазор між валками повинен бути не менше $0,3 d$ частинки.

ТЕМА 5. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

5.1 СПОСОБИ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ МАТЕРІАЛІВ.

Різання – процес механічного поділу продукту по лінії його зіткнення з гострою кромкою леза шляхом стиснення і зсуву з метою отримання заданої форми розмірів і якості поверхневих шарів.

Різання харчових продуктів здійснюється для того, щоб відокремити від масиву продукту певну його частину, для поділу продукту на частини заданої форми і розміру, і для подрібнення продукту без пред'явлення вимог до форми частинок. Різання відбувається в полі гравітаційних, відцентрових, втягувальних або штовхальних сил, створюваних ріжучими органами машини.

При різанні одна частина матеріалу відділяється від іншої в результаті руйнування граничного шару. Руйнуванню матеріалу в зоні контакту його з ріжучим інструментом передують пружна і пластична деформації, величина яких залежить від будови матеріалу, швидкості деформування, фізико-механічних властивостей. Під дією прикладеної сили інструменту в продукті створюється спочатку пружна, а потім і пластична деформації і він руйнується по лінії найбільшого напруження тоді, коли воно стає рівним межі міцності матеріалу. Залежно від стану і характеру прикладання сили, матеріал руйнується при розтягуванні або зрізі. Робота різання витрачається на створення пружної та пластичної деформації, а також на подолання тертя інструменту о розрізуваний матеріал.

Процес різання розглядається як результат взаємодії системи: **пристрій-інструмент-матеріал** і характеризується режимом, який визначається швидкістю і глибиною різання, подачею матеріалу.

Умовно розрізняють два способи різання:

а) статичний – ріжучий інструмент переміщується нормально лезу: цей спосіб називають **рубанням**.

б) різання з ковзанням, або ковзне різання – ріжучий інструмент переміщається по двох взаємно перпендикулярним напрямкам – нормально і паралельно лезу.

Існують наступні способи різання: рубаючий, ковзний, вібраційний, лазерний і ультразвуковий (останні два способи поки не знайшли застосування в харчовій промисловості).

При різанні лезом матеріал руйнується під дією вершини двогранного кута, утвореного фасками ножа і вони, тобто заточені бічні грані, проникаючи

за лезом в утворений проріз матеріалу, можуть надавати додаткову дію в залежності від кута заточки ножа і коефіцієнта тертя його по матеріалу. Проте закони різання лезом визначаються безпосереднім впливом кромки леза на матеріал. Вплив леза на параметри процесу (зусилля, питома робота) залежить від властивостей розрізуваного матеріалу, способу різання та інших чинників. У разі різання без ковзання вплив леза на параметри процесу зменшується, визначальним стає кут заточування, товщина ножа, його форма.

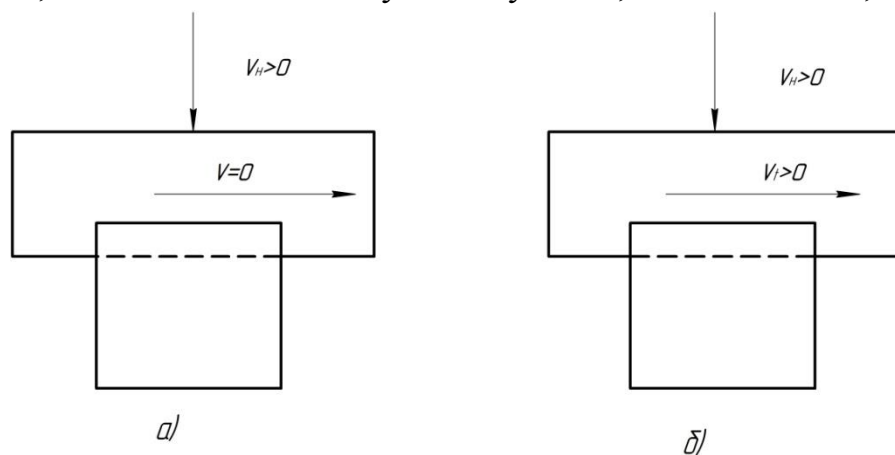


Рис. 5.1 Способи різання матеріалу:

а – статичний (рубання); б – ковзне різання

При різанні з ковзанням частки матеріалу в зоні безпосереднього зіткнення з лезом в процесі стиснення захоплюються його нерівностями і зміщуються в напрямку ковзання. Завдяки цьому, між зміщуваними і сусідніми частинками виникають дотичні напруження, замість нормальних, внаслідок чого характер руйнування матеріалу змінюється: замість стиснення відбувається інше руйнування – розрив або зсув частинок. Таким чином, зменшення зусилля різання при ковзанні пояснюється двома причинами:

- "пилкоподібністю" леза, що викликає захоплення матеріалу нерівностями кромки ножа;
- процес різання відбувається без ущільнення матеріалу і з меншою площею розрізу при однаковому переміщенні леза.

При обробці харчових матеріалів широко поширені як нормальне, так і ковзне різання. Нормальне різання (рубання) застосовують при поділі цукеркових охолоджених нескінченних джгутів на окремі корпуси гільйотинними ножами, тестової маси для його розподілу при формоутворенні. Ковзне різання здійснюють для хліба і сухарних плит, м'ясопродуктів та риби, халви і грильязу.

В процесі нормального різання різальний інструмент на початку значно локально ущільнює матеріал, а потім руйнує його, при цьому утворюються нові поверхні зрізу. Спосіб придатний в тих випадках, коли до

якості поверхні зрізу не пред'являють високих вимог, оскільки поверхня виходить шорсткою і часто утворюються відходи. Таким чином, спосіб нормального різання харчових продуктів слід застосовувати тільки у випадках, якщо передбачена подальша технологічна обробка (глазурування цукеркових корпусів, округлення і закачування тестових шматків тощо).

В результаті ковзного різання під дією різальної кромки інструменту створюється місцеве ущільнення матеріалу, при цьому утворюється більш гладка поверхня зрізу. Ковзне різання найбільш широко використовують при поділі харчових матеріалів.

5.2. ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.

Вхідні характеристики процесу різання, що не змінюються в часі:

- а) параметри різального інструменту – товщина, діаметр, кут заточки і нахилу, ширина;
- б) властивості сировини (при незмінних умовах навколишнього середовища);
- в) швидкість різання і подача (для простого виду різання).

Вихідні характеристики різання:

- а) зусилля різання і робота;
- б) період стійкості інструменту;
- в) якість зрізу;
- г) параметри коливань (для вібраційного способу).

Параметри даних характеристик є основними величинами, що визначають ефективність процесу.

У харчовій промисловості в даний час застосовують ножі найрізноманітніших форм – прямолінійні, криволінійні, кругові, серповидні, дискові, лопаткові, стрічкові, хрестоподібні тощо. Всі вони, по суті, є клинами, в яких розрізняють геометричні елементи, показані на рисунку 5.2.

Характер руху ножів також може бути різним: зворотно-поступальним, обертальним, коливальним.

Ножі мають форму двогранного однобічного або двобічного клина. Грань 2 однобічного клина є *робочою* або *лицьовою*. Плоска грань 1 називається *опорною*. У двобічному клині обидві грані є робочими. Лінія перетину граней 1 і 2 називається *різальною кромкою* 3 або *лезом*. Кут α між гранями 1 і 2 називається *кутом заточки* (для двобічного клина кут заточки дорівнює 2α).

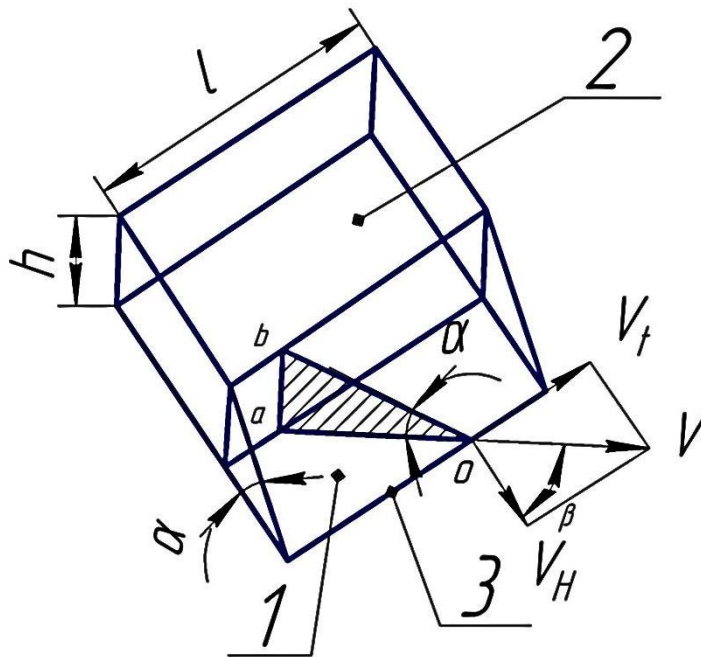


Рис. 5.2. Геометричні елементи одностороннього плоского ножа:
1 – опорна грань; 2 – робоча або лицьова грань; 3 – лезо.

Поряд з геометричними параметрами ножа, вирішальний вплив на ефективність процесу різання робить його кінематика, яка визначається швидкостями точок леза. У загальному випадку швидкість \mathbf{V} будь-якої точки леза відносно продукту змінна в часі і утворює з лезом гострий кут так, що її можна розкласти на нормальну \mathbf{V}_H і дотичну \mathbf{V}_T до леза складові (рис. 5.2.).

Кут між швидкістю \mathbf{v} точки леза і нормаллю до нього в цій точці називається *кутом ковзання леза* β .

Тангенс кута ковзання леза β називається *коефіцієнтом ковзання*:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{v_t}{v_H} = K_\beta \quad (5.1)$$

Розглянемо три випадки процесу різання:

У першому випадку, коли $v = v_t$, тобто $v_H = 0$ і $K_\beta = \infty$ – різання немає.

У другому випадку при $v = v_H$, коли $v_t = 0$ і $K_\beta = 0$ різання називають рубанням, або різанням без ковзання, але правильніше – це ударне рубання. Рубання засноване на тому, що клин, переміщаючись перпендикулярно, проникає в товщину продукту, ущільнює його верхній шар і створює в ньому контактні напруги.

У третьому випадку при $v \neq v_H$ має місце скісне або похиле різання з ковзанням. Різка заснована на тому, що ніж спочатку ущільнює (зминає)

продукт, як і при рубанні, потім на відміну від нього, перерізає продукт, утворюючи рівну поверхню зрізу.

Похиłe різання має перед нормальним значні переваги, оскільки при ньому значно зменшується нормальна до ле́за складова робочого зусилля на ножі, а це визначає менше злиття продукту і втрату їм соку і пористості. Це пояснюється дією декількох факторів:

- 1) так званої кінематичною трансформацією кута заточки ле́за.
- 2) перенесенням частини сили тертя продукту о ніж з нормального до ле́за на́пряму на дотичний.
- 3) пиляльним впливом мікрозубів ле́за на продукт.

Ефект кінематичної трансформації кута заточування полягає в тому, що при косому різанні фактичний або ефективний кут α^* , расклінюючи продукт і відгинаючи частки його від масиву, виявляється меншим, ніж конструктивний кут заточування ножа α (рис 5.2).

Оскільки тонко заточений ніж легше проникає в матеріал, трансформація α в α^* забезпечує зниження нормальної складової сили на ніж і на всі перераховані переваги похилого різання.

Робота, витрачувана на різання. Різання починається з попереднього стиснення, виражається формулою академіка В. П. Горячкіна:

$$A_{\text{сж}} = \frac{\mathcal{E} \cdot h_{\text{сж}}}{h} \quad (5.2)$$

де $A_{\text{сж}}$ – робота витрачувана на попереднє стиснення матеріалу, Дж; \mathcal{E} – умовний модуль стиснення матеріалу ле́зом, Дж (\mathcal{E} залежить від властивостей матеріалу, виду ножа, зусиль, прикладуваних до нього); $h_{\text{сж}}$ – висота стиснення шару, м; h – первісна висота матеріалу, подлежащего резанию, м.

В. П. Горячкін ввів поняття корисної роботи різання:

$$A_{\text{п}} = F_{\text{рез}} (h - h_{\text{сж}}) \quad (5.3)$$

де $F_{\text{рез}}$ – зусилля різання, Н; $A_{\text{п}}$ – корисна робота, Дж.

Тоді повна робота різання $A_{\text{полн}}$ дорівнює

$$A_{\text{полн}} = A_{\text{ст}} + A_{\text{п}} \quad (5.4)$$

В теорії різання важливе значення має коефіцієнт корисної роботи ле́за, який являє собою відношення:

$$K_{\text{р}} = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{полн}}} \quad (5.5)$$

Сила опору різанню. Сила опору, що сприймається ножем при різанні продукту, є рівнодіюча наступних складових:

$$P = P_{\text{рез}} + P_{\text{упр}} + P_{\text{тр}}, \quad (5.6)$$

де $P_{\text{рез}}$ – опір продукту різанню, тобто поділу його з утворенням нових поверхонь, Н; $P_{\text{упр}}$ – опір продукту пружним деформаціям, які викликаються проникненням в нього ножа, Н; $P_{\text{тр}}$ – сила тертя продукту о ніж, пов'язана з обтисненням його деформованим продуктом, Н.

Силу опору продукту різанню для всіх форм і видів руху леза пропонується визначати за виразом:

$$P_{\text{рез}} = lq_6 \cos\beta, \quad (5.7)$$

де l – проекція досить малої ділянки леза на напрям, перпендикулярний швидкості його середньої точки в продукті, м; q_6 – питомий опір нормальному різанню, Н/м; β – кут ковзання леза в цій точці, град.

Сили тертя на даній одиничній ділянці леза складатиме:

$$P_{\text{тр}} = f \cdot q_6 \cdot \cos^2\beta, \quad (5.8)$$

де f – наведений коефіцієнт тертя, що враховує заклинювання ножів в продукті.

Проекція сили тертя на напрям ковзання швидкості ножа буде дорівнювати:

$$P_{\text{тр}} \cdot \sin\beta = f \cdot q \cdot \cos^2\beta \cdot \sin\beta, \quad (5.9)$$

Тоді сума питомих сил власного різання складової сили тертя, діючих проти швидкості леза і складової сили тертя, що діють проти швидкості леза щодо продукту, виразиться рівнянням:

$$\begin{aligned} P &= l \cdot q \cdot \cos\beta + f \cdot q \cdot \cos^2\beta \cdot \sin\beta = q \cdot \cos\beta (1 + f \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta) = \\ &= q \cdot \cos\beta [1 + 0,5f \cdot \sin(2\beta)] \end{aligned} \quad (5.10)$$

Силу опору різанню називають **зусиллям різання**, величину якого необхідно знати для конструювання машин і пристроїв. Для зручності розрахунку і порівнянності результатів загальне зусилля різання зазвичай відносять до довжини різання.

Зусилля різання, що припадає на одиницю довжини леза, називається питомим зусиллям різання.

$$P_{\text{уд}} = \frac{P}{L_{\text{лез}}} \quad (5.10)$$

де $P_{\text{уд}}$ – питоме зусилля різання, Н/м; P – зусилля різання, Н; $L_{\text{лез}}$ – довжина леза, м.

Питомі зусилля, отримані на підставі експериментальних даних для різних продуктів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Питоме зусилля різання для різних сільськогосподарських продуктів.

Сільськогосподарська продукція:	$P_{уд}$, Н/м	Сільськогосподарська продукція:	$P_{уд}$, Н/м
Морква	14...16	Парне м'ясо	50...80
Капуста	10...12	Морожене м'ясо	230...300
Картопля	6...7	Варене м'ясо	27...50
Буряк	9...11	Сало	100...150
Цибуля	17...18	Мило	3,6...8,3

Різальна здатність леза. Здатність леза розділяти матеріал на частини з утворенням нових поверхонь за одиницю часу (m^2/c) називається різальною здатністю.

Різальна здатність робочих органів різних машин визначається за такими формулами:

для багатодискових і багатострічкових машин:

$$F = h v_{п} z_{о} \quad (5.12)$$

де F – різальна здатність, m^2/c ; h – середня товщина продукту, м; $v_{п}$ – швидкість подачі продукту, м/с; $z_{о}$ – кількість ножів;

для подрібнювальних машин з серпоподібними ножами:

$$F = 60 S z_{о} n \quad (5.13)$$

де S – площу розрізу шару продукту, m^2 ; n – частота обертання ножів, xv^{-1} ;

для машин з пластинчастими роторними або стрічковими ножами:

$$F = S_1 V_{п} / c \quad (5.14)$$

де S_1 – площа перерізу продукту в напрямку, перпендикулярному напрямку подачі, m^2 ; c – відстань між ножами по довжині продукції, м;

для вовчків (м'ясорубок):

$$F = \frac{\pi D^2}{4 \cdot 60} n (\varphi_1 \cdot k_1 + \varphi_2 \cdot k_2 + \dots + \varphi_i \cdot k_i) \quad (5.15)$$

де D – діаметр решітки, м; φ_i – коефіцієнт використання площі решітки під отвори (для промислових машин $\varphi_i = 0,2 \dots 0,5$); k_i – кількість лез на кожному ножі, шт.

Швидкість різання матеріалу. Під швидкістю різання розуміють швидкість точки леза різального інструменту по відношенню до точки на поверхні зрізу матеріалу в напрямку робочого руху з урахуванням напрямку подачі матеріалу.

Швидкість різання визначається за наступною формулою:

$$v_p = \sqrt{v_n^2 + v_c^2} \quad (5.16)$$

де v_n – швидкість подачі, або проекція швидкості проникнення різального інструменту на вісь, перпендикулярну лезу, м/с; v_c – швидкість ковзання або проекція швидкості різання на вісь, паралельну лезу, м/с.

При обертальному русі ріжучого інструменту (дискові ножі) за швидкість різання приймають швидкість точок леза, найбільш віддалених від осі обертання.

Експериментально встановлено, що збільшення коефіцієнта ковзання в результаті підвищення швидкості різання призводить до підвищення його питомої роботи; швидкість подачі матеріалу при цьому менше впливає на величину питомої роботи різання. Визначено, що при підвищенні співвідношення швидкостей різання і подачі поліпшується якість зрізу.

Продуктивність і потужність різальних машин. Виходячи з ріжучої здатності робочого органу машини продуктивність можна визначити за наступною формулою:

$$Q = \frac{\phi F}{F_1(1 - \alpha)} \quad (5.17)$$

де Q – продуктивність ріжучої машини, кг/с; ϕ – коефіцієнт використання ріжучої здатності ножів; F – різальна здатність даного типу ножів, м²/с; F_1 – поверхня поділу, отримана при різанні одиниці маси продукту, м²/кг; α – коефіцієнт, що дорівнює відношенню тривалості підсобних операцій до тривалості різання, для безперервно діючих машин дорівнює нулю.

Площа поділу F_1 (м²/кг) визначається з рівняння:

$$F_1 = \frac{m_1 f_1 - m f}{2} \quad (5.18)$$

де m_1 , m – кількість шматків в 1 кг продукту відповідно до і після різання; f_1 , f – поверхня одного шматка відповідно до і після подрібнення, м².

Потужність електродвигуна різальної машини, кВт:

$$N = \frac{W \cdot F_1 \cdot Q}{1000 \eta_n \cdot \eta_m} \quad (5.19)$$

де W – лобовий опір різанню, Н/м; η_n – ККД ножа; η_m – механічний ККД машини.

5.3 ХАРАКТЕРИСТИКА РІЗАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Класифікація машин для різання. Машини та пристрої для різання будь-яких харчових матеріалів поділені за такими функціональними ознаками:

за призначенням – для крихких, твердоподібних, пружно-в'язко-пластичних і неоднорідних матеріалів;

за принципом дії – періодичного, безперервного і комбінованого;

за видом різального інструменту – дискові, струнні, гільйотинні, роторні, струменеві (рідинні і пневматичні), ультразвукові та лазерні;

за рухом різального інструменту – з обертовим, зворотно-поступальним, плоскопаралельним, поворотним, зворотно-поступальним з вібраційним рухом основного робочого органу;

за переміщенням матеріалу – нерухомий, рухається поступально, захоплюється різальним інструментом, рухається поступально з поворотом на 90° або 180° ;

за способом кріплення матеріалу – без обмеження переміщення в напрямку, перпендикулярному площині розрізу, з однобічним і двобічним обмеженням;

за видом приводу – з механічним, гідравлічним, пневматичним і електричним.

Різальний інструмент класифікується за наступними ознаками:

Вид різального інструменту – пластина, диск, ротор, циліндр, конус, гвинт, серп, струмінь, струна, промінь, коливальне середовище.

Форма різальної кромки – гладка, зубчаста, фігурна.

Характер заточування – односкісний, двоскісний, багатогранний, без заточування (рис. 5.3).

Спосіб очищення інструменту від залипання – підігрівом, охолодженням, механічний, комбінований.

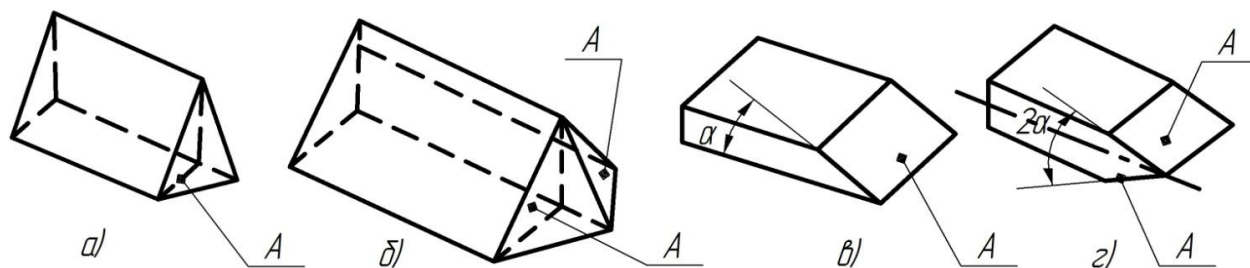


Рис 5.3. Форма різальних елементів ножів:

а – тригранний клин з однієї робочої площиною А; б – тригранний клин з двома робочими площинами; в – односторонній двухгранний клин; г – двосторонній двогранний клин.

При встановленні ножів в тримачі машини розрізняються наступні кути (рис. 5.4): α – кут заточування леза; β – задній кут; γ – передній кут; δ – угол установки ножа.

Розглянемо схему різання буряка 1 нерухомим ножом 2 з кутом заточування α , переднім кутом γ і заднім кутом β (рис. 5.4).

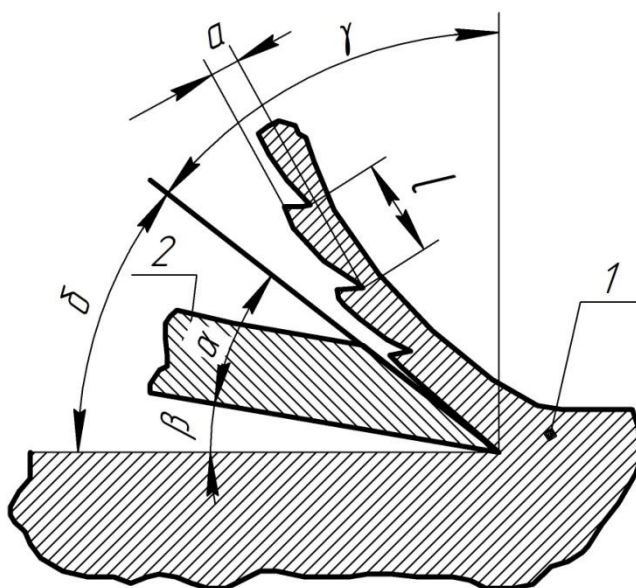


Рис. 5.4 Схема різання плодів:

1 – продукт (буряк); 2 – ніж.

Буряк подається до ножа під дією відцентрової сили, створюваної обертовими лопатями. При вході ножа в буряк клітини останньої деформуються, відрізуваний пласт відхиляється, і при цьому утворюються так звані випереджальні тріщини з кроком l і з глибиною a . Чим гостріше ніж, тим краща поверхня зрізу.

При збільшенні кута α витрата енергії зменшується і при $\alpha = 60^\circ$ становить лише 75...80 % загальної витрати. Однак при подальшому збільшенні кута заточування α питома витрата енергії починає зростати і при $\alpha = 75^\circ$ складає вже 115...125 %, а при $\alpha = 90^\circ$ стає рівним нескінченності. При різанні плодів на стружку (наприклад, при різанні буряка на цукрових заводах) кількість останньої в основному залежить від параметрів ножа: кута заточування ножа, радіуса закруглення (загострення) леза ножа, висоти встановлення ножа над різальною площиною.

Велике значення при різанні продуктів має кут заточування. Визначено, що при зменшенні кута заточування (приблизно до 5°) збільшується зусилля різання. Можна відзначити, що оптимальний кут заточення залежить від властивостей розрізуваного матеріалу, і умов різання, знаходять його експериментально (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Раціональні кути заточування різального інструменту.

Різальний інструмент	Вид різання	Розрізуваний матеріал	Кут заточування, град
Диск	Ковзне	М'ясопродукти	10 ... 15
Лезо	Без ковзання	Волос	23 ... 28
Ніж	Без ковзання	Кожа	20 ... 30
Диск	Ковзне	Плоди, овочі	15 .. 25
Лезо	Ковзне	Риба	8 ... 11
Диск	Ковзне	Риба	10 ... 20
Лезо	Без ковзання	Риба	12 ... 25
Лезо	Без ковзання	Цукровий буряк	18
Лезо	Ковзне	Хліб пшеничний	15 ... 20
	Без ковзання	Овочі, фрукти	10 ... 15

Для різання продуктів з різними фізико-механічними властивостями застосовуються спеціальні конструкції ножів (рис. 5.5).

Дискові ножі застосовуються для різання крихких і пластичних матеріалів (рис.5.5 а, в): для пластичних продуктів – дискові ножі із суцільним гладким лезом; для крихких – ножі з різальною крайкою, обладнаною зубами, по черзі заточеною з правого і лівого боку; для пластичних волокнистих – ножі з виробничими зубами, заточеними з двох боків.

Конічні або сферичні ножі (рис. 5.5 в) використовують для різання пластичних матеріалів. За допомогою різальних пристроїв, що мають такі ножі, визначають частини продукту по циліндричній або сферичній поверхні. Кут заточування леза від 15° до 30° . Для якісного зрізу слід приймати відношення швидкості різання до швидкості подачі матеріалу від 30° до 50° .

Серпоподібні ножі (рис. 5.5. г, д) досить широко поширені в харчовій промисловості; вони мають лезо, форма якого відповідає архімедовій або логарифмічній спіралі. У першому випадку кут зустрічі леза з розрізуваного матеріалом змінний, в другому – нормальна складова швидкості різання змінна, а відношення дотичної складової швидкості різання до нормальної – постійне. Такий тип ножів з гладким або зубчастим лезом, що знаходиться на їх зовнішній або внутрішній поверхні, застосовують для різання пластичних харчових матеріалів. Лезо ножа може бути з одnobічним або двобічним заточуванням; кут заточування $10^\circ \dots 15^\circ$, товщина ножів в залежності від умов роботи 3...7 мм.

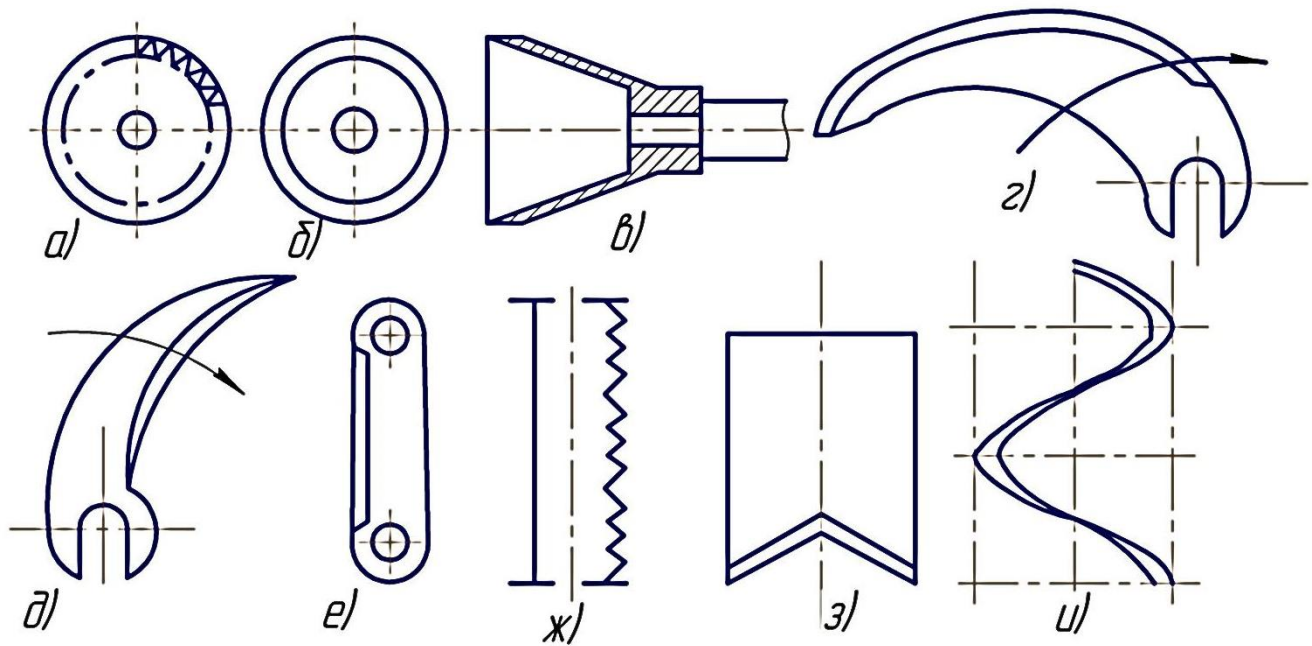


Рис. 5.5 Конструкції різального інструменту:

а – зубчастий дисковий; б – гладкий дисковий; в – конічний (сферичний); г, д – ссерпоподібні; е – гладкий пластинчастий; ж – зубчастий пластинчастий; з – трикутний; и – гвинтовий.

Пластинчасті і стрічкові ножі (рис. 5.5 е, ж, з) використовуються для різання пластичних і крихких продуктів (для останніх на лезі нарізають зуби). Приводами таких ножів можуть бути кривошипно-шатунний механізм, кулісний, гідро– або пневмопривід, одно– або двоплечовий важіль, ексцентрик. У всіх випадках ножі роблять нерівномірний рух. Ножі можуть бути з прямолінійним або криволінійним лезом.

Різновидом пластинчастих ножів є призматичні ножі, які встановлюють у вовчках для подрібнення м'ясних і рибних продуктів, а також овочів. Ці ножі бувають суцільними або складеними.

Гвинтові ножі (рис. 5.5, и), як правило, мають суцільне гладеньке лезо з прямим кутом заточування, їх набирають з окремих секцій, розміщуваних в пазах барабана. Для гвинтових ножів відношення швидкості різання до швидкості подачі продукту 30...50. Завдяки такій конструкції ножів можна отримати тонку стружку товщиною 0,3...0,6 мм при невеликій швидкості подачі матеріалу.

Струна застосовується в якості ріжучого елемента для різання мила, желатину, джгутів цукеркової маси, варених яєць, макаронів та інших однорідних матеріалів. Іноді струнам надають додатковий коливальний рух.

Вимоги, які пред'являються до різальних пристроїв:

* можливість змінювати розміри відрізуваних шматків без заміни ножів;

- * забезпечення гарної якості зрізу (мінімальна шорсткість, відсутність задирок, паралельність швидкостей зрізу);
- * відсутність помітної деформації сировини і відділення рідкої фракції;
- * рівномірність зносу різальної кромки по всій довжині і можливість легко її заточувати;
- * збереженість вихідних якостей продукції при її подачі і відведенні;
- * мінімальні відходи при проведенні процесу різання.

5.4 СПОСОБИ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Різання пластинчастим ножом. Пластинчасті ножі широко застосовують для різання м'яса і м'ясопродуктів, риби, овочів, фруктів, хліба, кондитерських матеріалів. Машини та пристрої з такими ножами за принципом дії різноманітні і можуть бути віднесені до однієї з розглянутих нижче схем (рис. 5.6).

Пластинчасті ножі в пристроях *гільйотинного типу* (рис. 5.6, а) мають робоче переміщення тільки в напрямку, перпендикулярному різальній кромці ножа зі швидкістю різання v_p . Ножі характеризуються кутом заточування ножа α і товщиною β . Їх використовують для різання овочів, мила, кондитерських матеріалів, м'яса, риби. Гарні результати отримані при різанні ножами гільйотинного типу з вібрацією.

Для зменшення зусиль різання і покращення якості зрізу використовують пластинчасті ножі, що переміщуються під кутом до різальної кромки (рис. 5.6, б). Швидкість руху можна розкласти на дві складові: v_{\perp} – перпендикулярно різальній кромці; v_{\parallel} паралельно їй (швидкість ковзання). Такі ножі застосовують для різання хліба, стеблин рослин, м'яса і м'ясопродуктів, риби.

На якість зрізу і зусилля різання впливає *коефіцієнт ковзання – відношення швидкості ковзання до нормальної швидкості*, $K_{ск} = v_p / v_n$. Оптимальне значення його визначається експериментально і залежить від структурно-механічних властивостей матеріалу. Різання пластинчастим ножом, що здійснює обертальний рух з кутовою швидкістю ω , (рис. 5.6, в) відноситься до ковзного різання. Таким ножом ріжуть м'ясо, рибу і хліб. Коефіцієнт ковзання залежить від взаємного розташування центру обертання ножа і розрізуваного матеріалу.

Для підвищення якості зрізу і зносостійкості інструменту різальної кромки пластинчастого ножа надають фасонну форму, наприклад спіраль (рис. 5.6, д). У деяких пристроях для різання м'яса, риби, сухарних плит різальна кромка ножа зубчаста, завдяки чому поліпшується якість зрізу, і скорочуються відходи.

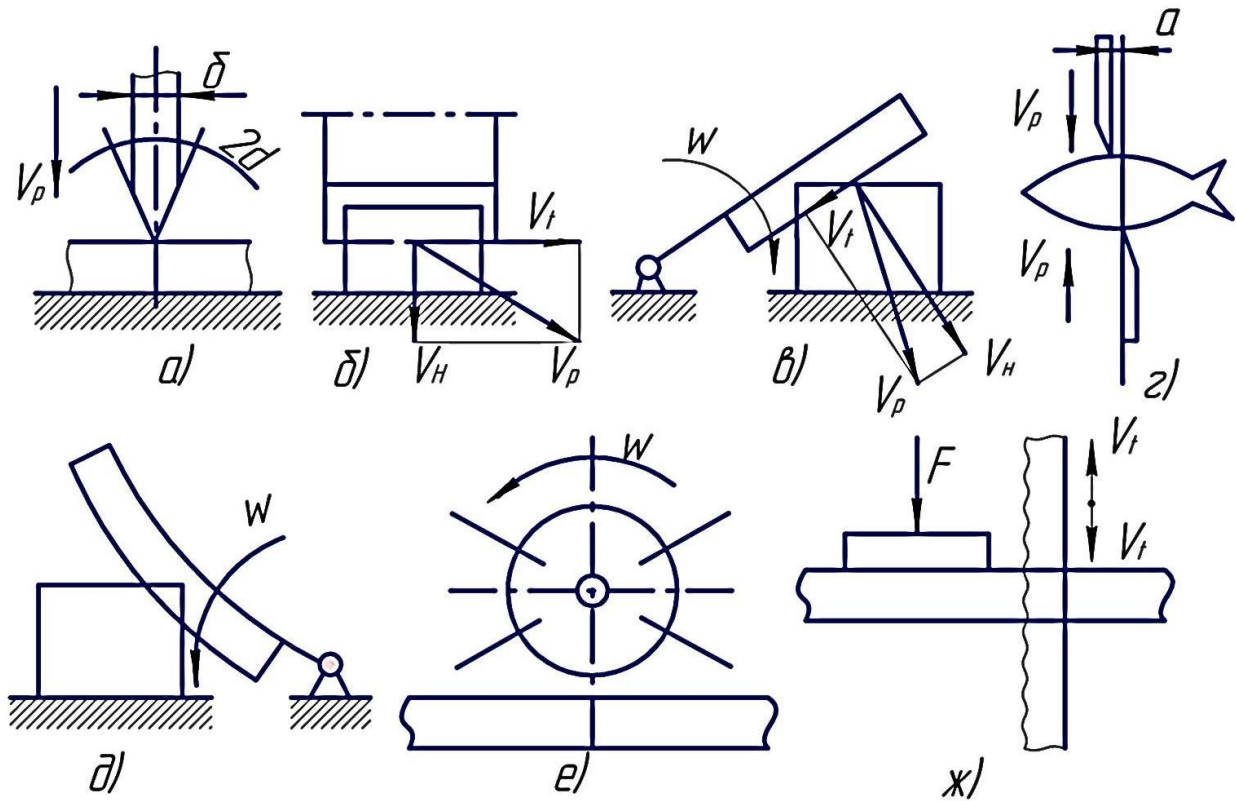


Рис. 5.6. Різальний пристрій з пластинчастими ножами:

а – гільйотинного типу; б – з ковзанням; в – з обертовим рухом; г – із зустрічним рухом ножів; д – з обертовим рухом і фасонною різальною кромкою; е – роторного типу; ж – зі стрічковими ножами.

Для розрізання джгутів цукеркових мас безпосередньо після випресовування застосовують різальний пристрій роторного типу (рис. 5.6, е) з ножами з еластичного синтетичного матеріалу, що має антиадгезійні властивості. Воно може бути використано для різання легко деформованих матеріалів, коли не пред'являють суворих вимог до форми зрізу.

Цукровий буряк, овочі ріжуть пластинчастими, плоскими або рамними ножами. Для подрібнення м'яса широко використовують пластинчастий ніж, який здійснює обертальний рух в площині решітки з отворами. Розроблені також пристрої для різання риби із зустрічним рухом пластинчастих ножів (рис. 5.6, г): різальні кромки встановлені в двох паралельних площинах з зазором 2...4 мм в крайньому положенні, різальні площини ножів перекривають один одного на 8...15 мм.

Для вирізання (вирубівання) заготовки певних розмірів з пласта призначені пластинчасті ножі ротаційного типу із зустрічним зближенням різальних органів. Вирізна заготовка виштовхується механічно. Відомі пристрої для розрізання цукеркових пластів в результаті подачі їх через

нерухому раму з пластинчастих ножів, що утворюють осередки, рівні розмірам вирізованих корпусів.

При формуванні карамелі використовують пластинчасті ножі, які при зближенні розрізають карамельний джгут на окремі корпуси. Для цих цілей використовують ротаційні і ланцюгові різальні машини. Пастилу розрізають пристроями, в яких пластинчасті ножі проникають в пласт в результаті зближення ланцюга з ножами і транспортера.

У хліборізальних машинах широко поширений принцип різання з ковзанням стрічковими ножами з фасонною різальною кромкою (рис. 5.6, ж). Матеріали подаються транспортером, в процесі різання фіксується притискачем. Швидкості продукту (нормальна) і ножа (ковзання) регулюються.

Набуває розвитку прогресивний напрямок – різання матеріалів вібрвальним інструментом, що дозволяє інтенсифікувати процес поділу матеріалу на частини, отримати якісні поверхні зрізу з найменшою кількістю відходів, підвищити продуктивність різальної машини, знизити питомі енерговитрати і спростити конструкцію машини. Це може бути здійснено використанням в приводі різального пристрою ексцентрикового механічного вібратора або електромагнітного двигуна зворотно-поступального руху.

Визначення параметрів різальних пристроїв з пластинчастими ножами покажемо на прикладі хліборізальної машини з ножовою рамою.

Продуктивність хліборізальної машини, кг/с:

$$Q = \frac{v_{\text{п}} \cdot q}{l}, \quad (5.20)$$

де $v_{\text{п}}$ – швидкість подачі матеріалу, м/с; q – маса буханки хліба, кг; l – ширина буханки, м.

З урахуванням ряду важливих факторів (конструктивні особливості машини, кількість і розміри відрізуваних шматків, кількість відходів і браку) при безперервній подачі продукту продуктивність хліборізальної машини, кг/с.

$$Q = K_o \cdot K_k \cdot K_b \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho \cdot h \cdot b(z+1) \quad (5.21)$$

де K_o – коефіцієнт, що враховує кількість кришива і браку, рівний відношенню кількості отриманого продукту до кількості переробленого продукту ($K_o = 0,92 \dots 0,99$); K_k – коефіцієнт, що залежить від режиму різання і типу конструкції подавального пристрою: для стрічкових транспортерів $K_k = 0,92 \dots 0,96$, для подавальних пристроїв з жорсткою характеристикою $K_k = 1$; K_b – коефіцієнт

що враховує нерівномірність висоти хліба; ρ – щільність хліба, кг/м^3 ; h, b – відповідно висота і товщина хліба, м ; z – кількість ножів.

При визначенні потрібної потужності машини слід враховувати потужність, необхідну для здійснення різання і подачі продукту, а також потужність холостого ходу різального і подавального пристроїв.

Загальна потужність двигуна для різання хліба на рамних машинах, кВт:

$$N = N_{1X} + N_{2X} + N_{1P} + N_{2P} \quad (5.22)$$

де N_{1X}, N_{2X} – потужність холостого ходу відповідно ножової рами і подавального пристрою, кВт; N_{1P}, N_{2P} – потужність, потрібна для різання продукту відповідно в дотичному і нормальному напрямках, кВт.

Потужність холостого ходу ножової рами, кВт:

$$N_{1X} = \frac{G_1 \cdot \omega^3 \cdot e^2 \cdot \sin 2\gamma}{1000\eta_1} \quad (5.23)$$

де G_1 – маса ножової рами, кг ; ω – кутова швидкість кривошипуприводу, с^{-1} , e – радіус кривошипу, град ; γ – кут повороту кривошипу, град ; η_1 – коефіцієнт корисної дії приводу механізму різання.

Так як кут змінюється від 0 до 2π , то N_{1X} є змінною величиною. Для розрахунку цієї складової потужності двигуна необхідно брати кут γ , при якому мають максимальну величину.

Потужність холостого ходу подавального пристрою, кВт:

$$N_{2X} = \frac{G_2 \cdot l_2 \cdot V_{\pi}}{1000\eta_2} \quad (5.24)$$

де G_2 – маса рухомих частин подавального пристрою, яка припадає на 1 м його довжини, кг/м ; l_2 – довжина подавального пристрою, м ; η_2 – ККД приводу подавального пристрою.

Потужність, потрібна для різання продукту в дотичному напрямку:

$$N_{1P} = \frac{P_{1CP} \cdot h \cdot v_1 \cdot z}{1000} \quad (5.25)$$

де P_{1CP} – середнє питоме зусилля різання в дотичному напрямку, Н/м ; v_1 – середня швидкість ножової рами, м/с ; z – кількість ножів в рамі.

$$P_{1CP} = (P_{1n} + P_{1e}) / 2$$

де P_{1n}, P_{1e} – дотичне питоме зусилля різання в залежності від відповідно подвійних ходів ножа ($2n$) і подвійного радіуса кривошипуприводу ($2e$), Н/м .

Потужність споживання для різання продукту в нормальному напрямку:

$$N_{2P} = \frac{P_{2CP} \cdot h \cdot v_n \cdot z}{1000}, \quad (5.26)$$

де P_{2CP} – середнє питоме зусилля різання в нормальному напрямку, Н/м.

$$P_{2CP} = (P_{2n} + P_{2e}) / 2,$$

де P_{2n}, P_{2e} – нормальне питоме зусилля різання в залежності від відповідно подвійних ходів ножа ($2n$) і подвійного радіуса кривошипу приводу ($2r$), Н/м.

Значення питомих зусиль різання можуть бути визначені дослідним шляхом. Результати експериментів показали, що зі збільшенням кількості ходів ножів в часі, радіусу кривошипа приводу ножів і швидкості подачі продукту – знижується нормальна і зростає дотична складові питомого зусилля різання.

Різання дисковим ножем. У харчовій, м'ясній та рибній промисловості, а також торгівлі та сфері громадського харчування різальні машини з дисковими ножами знайшли найбільше застосування.

Дискові ножі здійснюють рівномірний обертальний рух, який може бути попутним або зустрічним по відношенню до напрямку подачі матеріалу. Крім цього можливі два випадки відносного переміщення осі ножа і розрізуваного матеріалу: вісь ножа не рухлива – матеріал переміщується; матеріал не рухливий – вісь ножа переміщується. Процес різання дисковими ножами визначається в першу чергу коловою швидкістю подачі матеріалу.

Дисковий різальний пристрій має один ніж або комплект ножів, які встановлюють на одному або декількох паралельних валах. При подачі матеріал втягується на леза ножів силами зчеплення, що виникають на поверхні контакту, або силами, які створюються конструкцією або формою ріжучої кромки ножів.

Дискова машина з примусовою подачею матеріалу горизонтальним (в м'ясорізках) або похилим (в риборезках) транспортером зображені на рис. 5.7, а. Колова швидкість леза ножа v_0 , швидкість подачі розрізуваного матеріалу v_n . Відношення колової швидкості до швидкості подачі приймається от 20 до 30.

Продуктивність машини з дисковим ножем, m^3/c :

$$Q = \frac{V \cdot z \cdot v_n \cdot \alpha}{1} \quad (5.27)$$

де V – об'єм одного шматка, подаваного на різання, m^3 ; z – кількість шматків, одночасно розташованих по ширині робочого полотна транспортера; α – коефіцієнт

рівномірності подачі продукції; 1 – відстань між шматками по довжині транспортера.

В машинах такого типу використовують один або декілька дискових ножів, розташованих на одному, двох або кількох валах. Машини з декількома дисковими ножами використовують при різанні фіксованих твердих тіл, пластів в'язко-пластичних матеріалів (наприклад, конкретних пластів після прокату), а також малокускової продукції (риби).

Багатоножова машина для різання пластичних матеріалів (рис. 5.7,б) складається з вала 1 з набором дискових ножів 2, розташованих з певним кроком, і вала 3, на якому встановлений барабан 4. Ножі входять в кільцеві канавки барабана, в результаті чого забезпечується різання продукції. Колова швидкість барабана дорівнює швидкості подачі матеріалу. Відношення колової швидкості ножів і швидкості подачі для багатодискових машин дорівнює 3...5.

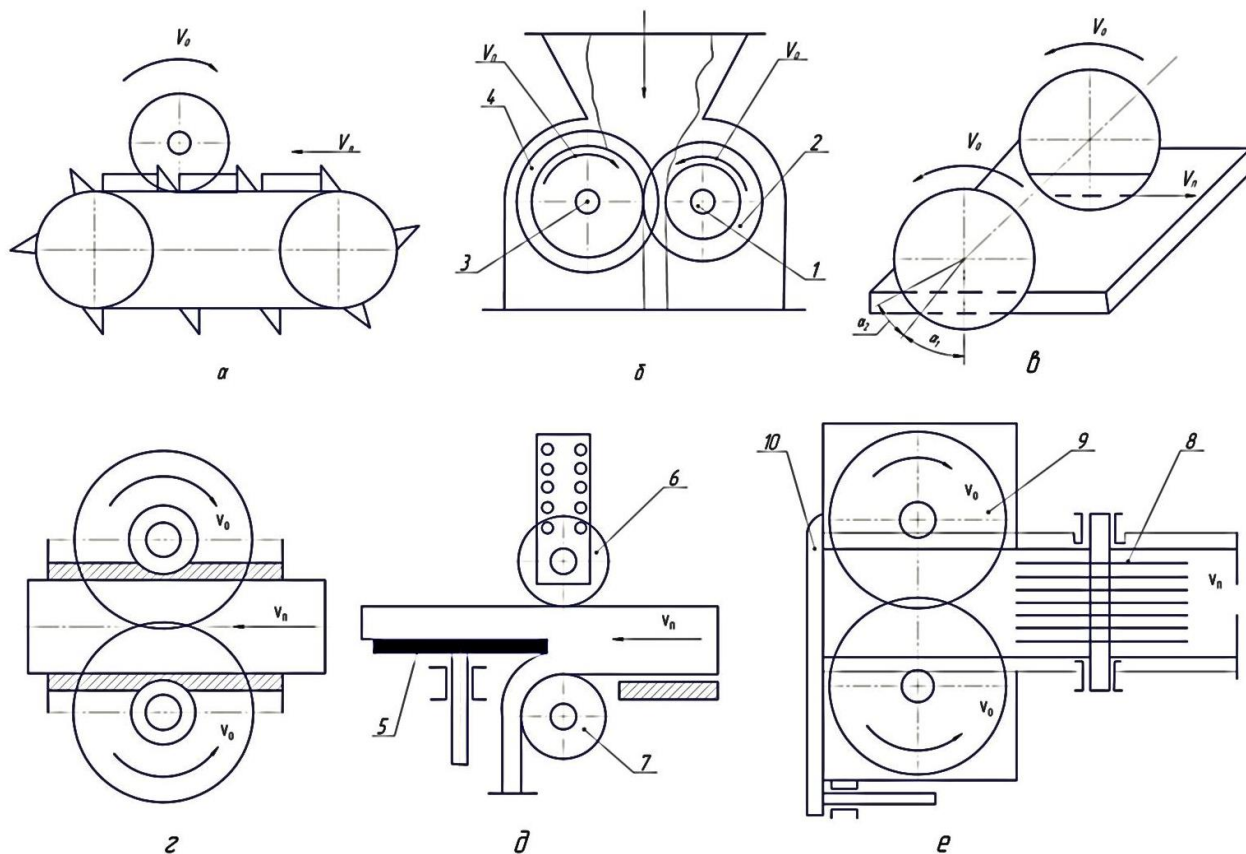


Рис. 5.7. Схеми різальних пристроїв з дисковими ножами.

а – дискова машина з примусовою подачею матеріалу; б – багатоножова машина; в – різальний механізм з дисковими ножами, встановленими на одному валу; г – різальний механізм з дисковими ножами, встановленими на двох паралельних валах; д – механізм з дисковим ножом для нарізання пластин; е – різальний механізм для нарізання продукту на кубики.

Продуктивність багатодискових машин:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot l \cdot v_n \quad (5.28)$$

де α – коефіцієнт використання продуктивності машини; S – ширина щілини, відповідна максимальній товщині матеріалу, м; l – довжина щілини для вільного проходу продукції, м.

Різальний механізм з дисковими ножами, встановленими на одному валу, і самоподачею продукції, показаний на рис. 5.7, в. При цьому самоподача розрізаного матеріалу відбувається під дією сил тертя, виникаючих між дисковими ножами і продуктом.

Швидкість подачі матеріалу, м/с:

$$v_n = 0,5 \cdot K \cdot \omega \cdot R \quad (5.29)$$

де K – коефіцієнт самоподачі; ω – кутова швидкість обертання ножа, рад/с; R – радіус ножа, м.

Коефіцієнт самоподачі для найбільш сприятливих умов:

$$K = \frac{C}{\frac{1}{M_0} + \frac{0,5\delta}{f \cdot R} + D} \quad (5.30)$$

де C , D – розрахункові коефіцієнти, що залежать від половини кута виступає сегмента α_1 і кута дотику продукцією ножа α_2 ; δ – товщина ножа, м; f – коефіцієнт тертя пари ніж – продукт; M_0 – розрахунковий критерій обертового ножа, $M_0 = p \cdot f \cdot R / P_p$; P – тиск в міжножовому просторі, що виникає внаслідок уклінювання в продукт ножів і визначається за кривими однобічного стиснення, Па; P_p – опір різанню, Н/м.

Для випадку подачі матеріалу повним шаром через всю площу дотику з ножем приймають $K = 0,45 \dots 0,7$, при подачі половинної смуги $K = 0,33 \dots 0,53$.

Схема різального механізму з дисковими ножами, встановленими на двох паралельних валах, і самоподачею матеріалу через робочий канал наведені на рис. 5.7, г. Середнє значення швидкості подачі можна визначити за формулою (5.29): $v_n = 0,5K \cdot \omega \cdot R$

На рисунку 5.7, д приведена схема механізму для нарізування продукту на пластини дисковим ножем 5. Розрізуваний матеріал подається за допомогою пари валків 6 і 7; валок 6 з ковзними, а валок 7 з нерухомими підшипниками.

Для даного механізму швидкість подачі, м/с:

$$v_n = \varphi_0 \frac{d}{2} \omega; \quad \varphi_0 = a \cdot l, \quad (5.31)$$

де φ_0 – коефіцієнт, що враховує втрати часу на повернення і заправку матеріалу; d – діаметр подавального валка, м; ω – кутова швидкість подавального валка, рад/с; a – товщина відрізуваного пласта, м.

Схема механізму для нарізування продукту на кубики або паралелепіпеди з двома комплектами дискових ножів 8 і 9 та одного серпоподібного 10 зображена на рис. 5.7, е. Розміри кінцевого продукту визначаються відстанями між дисковими ножами і величиною подачі на один оберт серпоподібного ножа.

Об'ємна продуктивність машин, що розрізальних матеріал на шматки потрібної форми, м³/с:

$$Q = f_0 \cdot v_n \quad (5.32)$$

де f_0 – площа живого перетину продукту, що проходить через різальний пристрій, м²; v_n – швидкість подачі, м/с.

Значення f_0 і v_n визначається конструкцією механізму і умовами подачі матеріалу.

Для механізму, наведеного на рис. 5.7, е швидкість подачі, м/с, визначається:

$$v_n = \varphi_0 \cdot c \cdot \omega; \quad \varphi_0 = a \cdot b \quad (5.33)$$

де c – подача продукту за один оберт серпоподібного ножа, м; ω – кутова швидкість дискового ножа, с⁻¹; a, b – розміри перетину каналу для подачі продукту, м.

Товщина ножа за умовами жорсткості і стійкості приймається в межах від 0,007...0,01 діаметра диска D .

Для ножа з гладким суцільним лезом діаметр диска, мм:

$$D \geq 2(h + c_0)/(1 - \sin \rho) \quad (5.34)$$

де h – максимальна товщина розрізуваного продукту, мм; c_0 – запас на висоту сегмента, який виступає над розрізуваним матеріалом, мм; ρ – кут тертя продукту о напрямні або робоче полотно транспортера.

Для зубчастого ножа діаметр диска, мм:

$$D \geq 2(h + r + c_0) \quad (5.35)$$

де r – радіус шайби кріплення диска на валу, м; c_0 – запас на товщину кришки столу або напрямних, на необхідні зазори і на висоту сегмента, який виступає над розрізуваним матеріалом, мм ($c_0 = 10 \dots 20$ мм).

Аналіз технічних параметрів дискових різальних пристроїв показав, що ножі, які використовуються для різання рослинної і тваринної сировини і напівфабрикатів, мають в основному наступні характеристики: діаметр від 50 до 500 мм; товщина від 0,8 до 25 мм; частота обертання від 30 до 4000 м⁻¹; кут заточування від 15 до 25 град.; співвідношення діаметрів фланців і ножа від 0,1 до 0,4.

Дисковий ніж різальних машин являє собою найбільш відповідальну деталь, виготовлену зі зносостійкого високолегованої сталі марок: 85XB; ШХ–15; У7=У9; У7А–У9А; 9ХС.

Для забезпечення достатньої жорсткості дисків радіус затискних шайб визначається з виразу:

$$r_{\text{ш}} = 2,5\sqrt{D} \quad (5.36)$$

Деякі дані стосовно режиму різання дисковими ножами різних харчових матеріалів наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Рекомендовані кути заточування, коефіцієнти ковзання і окружні швидкості.

Матеріал	Кут заточування, град.	Коефіцієнт ковзання	Кутова швидкість
Сухарні плити	–	70...80	20...22
М'ясопродукти	6...10	20...30	–
Рибопродукти	20...30	20...40	10...12
Рибопродукти	15...30	25...48	6...20
Халва	Восьмигранний ніж без заточування	2000...2670	56...72

Таким чином, ріжучі пристрої з дисковими ножами відрізняються простотою конструкції, вони можуть бути застосовані в механізованих потокових лініях, дають можливість забезпечити високошвидкісне різання.

Зачищення, санітарна обробка та Заточування дискових ножів значно простіше, ніж пластинчастих. Однак, при різанні матеріалу у формі пластів він стискається в міжножовому просторі, це часто призводить до небажаних наслідків, наприклад до деформації і збільшенню відходів.

Основні шляхи інтенсифікації різання дисковими ножами – збільшення швидкості, використання спеціальних пристроїв зачищення ножів без зупинки машини, зносостійких і антиадгезійних матеріалів для ножа.

Різання струною. Цей спосіб різання здійснюється відносним переміщенням туго натягнутою струни і матеріалу, процес відбувається при досягненні напруги в ньому вище його руйнують значень. Різання струною застосовують для обробки матеріалів, що володіють в'язко-пластичними

властивостями, таких як однорідні за структурою цукеркові напівфабрикати, вершкове масло, вафлі, макаронні вироби та інші продукти. Ріжуча кромка при різанні струною не може бути виконана з заточуванням, вона завжди має радіус закруглення, тому цим способом не можна різати м'ясо, рибу, стебла рослин, тобто матеріали волокнистої структури. Різання струною ефективно при різанні таких матеріалів, для руйнування яких, витрати енергії на руйнування лезом незначні.

За відносним переміщенням струни і розрізуваного матеріалу струнні ріжучі пристрої можуть бути виконані за одним з трьох варіантів:

1. Матеріал нерухомий, а інструмент переміщається зі швидкістю різання. Даний варіант реалізується для харчових напівфабрикатів на підприємствах громадського харчування (яйцепродуктів, цукатів), в кондитерській і молочній промисловості, досить рідко на виробництвах з невеликим обсягом переробки сировини. Це пояснюється тим, що місця завантаження і вивантаження продукту збігаються і важко механізувати його подачу і відбір.

2. Інструмент (струна), а матеріал переміщається зі швидкістю різання. Цей варіант здійснений в машинах для комбінованих цукеркових пластів, що складаються, наприклад, з вафельних і горіховмісних шарів. По можливості механізації розрізуваного матеріалу і відбору отриманих шматків цей варіант кращий за перший, обслуговування ріжучого інструменту спрощується, отже, доцільно застосовувати цей спосіб в безперервному виробництві – в складі поточно- механізованих ліній.

3. Інструмент і матеріал переміщуються один щодо іншого зі швидкістю, що дорівнює швидкості різання. Цей варіант набув найширшого поширення, він найбільш універсальний і відповідає одній з головних вимог – можливості реалізації в поточно-механізованому виробництві. Використовуються в машинах для різання цукеркових джгутів, пластів, відрізання макаронних виробів на шнекових макаронних пресах та інших матеріалів при обробці їх в безперервному потоці.

Різання із застосуванням струни можна розділити на наступні види:

рубальне – струна при своєму відносному переміщенні по відношенню до матеріалу здійснює поступальний рух зі швидкістю різання в напрямку, перпендикулярному струні;

ковзне – струна здійснює складний рух, складовими якого є поступальне переміщення в напрямку, перпендикулярному струні, і одночасне переміщення в напрямку осі струни;

вібрувальною струною, що здійснює крім основного поступального руху додаткове вібрування з певною частотою і амплітудою. Можливі

випадки вібрації струни у напрямку, перпендикулярному струні по її осі, під кутом до сі струні і навколо осі струни;

струною з підігрівом – в цьому випадку в зоні контакту з різальним інструментом продукт прогрівається, внаслідок чого знижується його міцність і відповідно зусилля різання; в місці зіткнення нагрітої струни з продуктом під дією високої температури буде відбуватися зняття напружень, що виникають в ньому. Це сприятиме зниженню розтріскування продукції під час різання, тобто призводитиме до зменшення зворотних відходів.

Останні три види різання струною дозволяє різко знизити питомі навантаження і витрати енергії; важливою перевагою є також постійне зачищення інструменту в процесі різання, що призводить до підвищення його коефіцієнта використання.

За орієнтацією різальних крайок щодо вектора швидкості різання розрізняють **прямокутне різання**, якщо вектор швидкості перпендикулярний різальній крайці, і **косокутне (похиле)**, якщо вектор швидкості не перпендикулярний ріжучої кромці.

При розрахунках струнних різальних машин користуються в основному експериментальними даними.

Встановлено, що якість зрізу струною вище, ніж ножем: зменшується кількість відходів у вигляді крихт, зменшується наплив маси в місці зрізу. Це пояснюється тим, що проникнення струни в матеріал ширина розрізу b менше за діаметр d струни через швидку релаксацію напружень та відновлення завдяки пружним властивостям оброблюваного матеріалу (рис. 5.8).

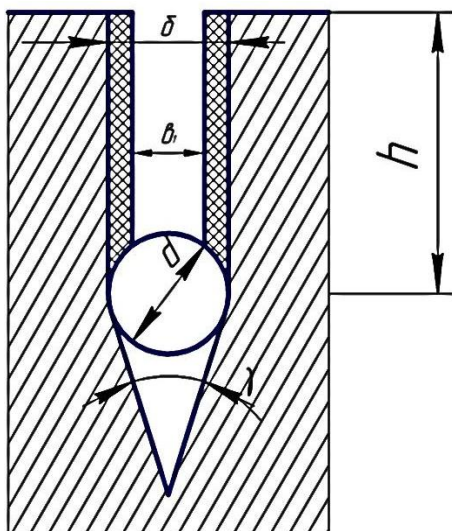


Рис. 5.8. Схема витіснення об'єкта розрізуваного струною матеріалу.

При зануренні в масу ножа на глибину h ширина розрізу дорівнює товщині ножа, а при проникненні струни діаметром d , рівним товщині ножа δ , ширина розрізу дорівнюватиме b_1 . Нехтуючи об'ємом, витісненим клином ножа і напівциліндра струни, об'єм розрізуваної маси, витісненої ножем і струною відповідно дорівнюють, м^3 :

$$V_H = \delta \cdot h \cdot b; \quad V_C = b_1 \cdot h \cdot b \quad (5.37)$$

де b – ширина розрізаемого матеріала, м.

Різниця витіснених об'ємів, м^3 :

$$V_H - V_C = (\delta - b_1) h \cdot b \quad (5.38)$$

З рівняння (5.38) видно, що різниця витіснених об'ємів залежить від величини b_1 яка обумовлена пружними властивостями розрізуваного матеріалу. Ця різниця об'ємів об'єктивно характеризує покращення якості зрізу при використанні струни.

Струнні різальні пристрої добре вписуються в систему машин для потокової обробки харчових матеріалів. Одна з основних вимог, що пред'являються до різальних машин для харчових матеріалів, відповідність умов санітарної обробки робочих органів. Струна забезпечує скорочення поверхні, що знаходиться в безпосередньому контакті з розрізуваним матеріалом. Крім того, очищення струни в порівнянні з очищенням ножів, значно простіше за конструктивним виконанням.

Для скорочення відходів матеріалу і зменшення витрат енергії необхідно застосовувати струну з мінімальним діаметром і достатньою міцністю.

Контрольні питання до теми 5.

1. Дайте характеристику процесу різання.
2. Які параметри визначають режим процесу різання?
3. Назвіть способи різання матеріалу.
4. Які фактори сприяють зменшенню зусилля різання з ковзанням.
5. Назвіть вхідні характеристики процесу різання.
6. Назвіть вихідні характеристики процесу різання.
7. Які межі має однобічний плаский ніж?
8. Як утворюється лезо ножа?
9. Який кут називається кутом заточування?
10. Як утворюється кут ковзання леза β ?
11. Що називається коефіцієнтом ковзання K_β ?
12. Назвіть три випадки процесу різання в залежності від швидкості різання та її складових.
13. Напишіть формулу розрахунку сили опору різання.
14. Що називається питомим зусиллям різання?
15. Дайте характеристику різальній швидкості леза.
16. Що розуміється під швидкістю різання матеріалу?
17. Напишіть формулу розрахунку швидкості різання.
18. За якими функціональними ознаками поділені машини для різання?
19. Назвіть класифікацію різального інструменту.
20. Назвіть форму різальних елементів ножів.
21. Які основні кути ножа при його встановленні?

22. Назвіть конструкції ножів застосовуваних в харчовому і переробному виробництвах.
23. Які вимоги пред'являються до різальних пристроїв?
24. Які конструкції різальних пристроїв з пластинчастими ножами ви знаєте?
25. За якою формулою визначається продуктивність хліборізальної машини?
26. З яких складових складається загальна потужність двигуна для різання хліба?
27. Як визначається продуктивність машини з дисковим ножом?
28. Які існують різальні пристрої з дисковими ножами?
29. Яке співвідношення між товщиною дискового ножа і діаметром диска?
30. Як визначається радіус затискних шайб дискових ножів?
31. Назвіть основні шляхи інтенсифікації різання дисковими ножами.
32. Для яких матеріалів застосовується різання струною.
33. Назвіть три варіанти різання струною.
34. Які існують способи різання струною?
35. Які переваги струни перед пластинчастим ножом?

Тести для перевірки знань.

- 1) Призначення процесу різання.
 1. Поділ матеріалу з метою отримання заданої форми, розміру і якості поверхні.
 2. Поділ матеріалу без збереження форми і розмірів.
 3. Поділ матеріалу на шматки однакового об'єму.
 4. Для створення нових площ продукту.
- 2) Які способи різання не знайшли застосування в харчовій промисловості?
 1. Лазерне, ультразвукове.
 2. Рубальне різання.
 3. Вібраційне.
 4. Різання з ковзанням
- 3) За якою формулою визначається швидкість різання?
 1. $v = \sqrt{V_n^2 + V_c^2}$
 2. $v = 0,5 K \omega R$
 3. $v = \varphi_0 \frac{d}{2} \omega$

4. $v = \frac{F \cdot c}{S}$

4) Яке рівняння визначає зусилля різання?

1. $P = P_{\text{рез}} + P_{\text{упр}} + P_{\text{тр}}$
2. $P = (P_{\text{II}} + P_{\text{II}}) / 2$
3. $P = m(v_2 - v_1) / \tau$
4. $P = f \cdot q_6 \cdot \cos^2 \beta$

5) Яким ножем проводиться тонке подрібнення м'яса?

1. Серпоподібним.
2. Дисковим зубчастим
3. Гвинтовим
4. Пластинчастим

6) Що являє собою термін «ріжуча здатність»?

1. Здатність створювати нові поверхні при різанні.
2. Здатність поділяти матеріал на рівні за об'ємом шматки.
3. Пропускна здатність різальної машини.
4. Здатність долати опір продукту.

7) Яким різальним пристроєм нарізаються макаронні вироби?

1. Туго натягнутою струною
2. Дисковим ножем
3. Стрічковим ножем.
4. Зубчастим пластинчастим.

8) Якими параметрами характеризується процес різання дисковим ножем?

1. Колова швидкість ножа і швидкість подачі матеріалу.
2. Кількість дискових ножів та їх діаметр
3. Зусилля різання і площа розділу.
4. Розмір розрізуваного продукту.

9) Які параметри відносяться до вхідних характеристик процесу різання?

1. Швидкість різання і подачі.
2. Зусилля різання і робота.
3. Якість зрізу.
4. Період стійкості інструмента.

10) Які параметри відносяться до вихідних характеристик процесу різання?

1. Період стійкості інструмента.
2. Властивості сировини.
3. Параметри різального інструменту.
4. Швидкість різання.

11) За якою формулою визначається коефіцієнт ковзання?

1. $K_{\beta} = \frac{v_t}{v_H}$
2. $K_p = \frac{A_n}{A_{\text{полн}}}$
3. $K_c = \frac{C}{1(M_o + 0,5\delta) (fR) + D}$
4. $K_{\beta} = \frac{v_n}{0,5\omega \cdot R}$

12) В якому випадку різання не буде?

1. $v = v_t, v_H = 0, K_{\beta} = \infty$
2. $v = v_H, v_t = 0, K_{\beta} = 0$
3. $v \neq v_H$
4. $v_t < v < v_H$

13) За якою формулою визначається питоме зусилля різання?

1. $P = P_p / L_{\text{лез}}$
2. $P = 1 \cdot q_{\sigma} \cdot \cos\beta$
3. $P = f \cdot q_{\sigma} \cos^2 \beta$
4. $P = P_{\text{рез}} + P_{\text{упр}} + P_{\text{тр}}$

14) Який варіант різання струною найбільш підходить поточно-механізованому виробництву?

1. Струна і матеріал переміщується.
2. Струна нерухома, матеріал переміщується.
3. Матеріал нерухомий, струна переміщується.
4. Всі перераховані варіанти.

15) При якому виді різання застосовується струна?

1. Вибрирувальному.
2. З зворотно-поступальним рухом інструменту
3. Зі складним поступально-обертальним рухом
4. Всі перераховані варіанти

ТЕМА 6. ПРОЦЕСИ СОРТУВАННЯ ТА КАЛІБРУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

6.1 СУТНІСТЬ І ЗАДАЧІ СОРТУВАННЯ.

Методи сепарування і машинно-апаратні схеми процесу.

У харчових виробництвах переробляють величезну кількість різних сипких матеріалів. У процесі переробки сипкі матеріали необхідно розділити, розсортувати, очистити.

Процес розділення сипких продуктів заснований на використанні різних фізичних і геометричних ознак: щільності частинок, аеродинамічних і феромагнітних властивостей, стану поверхні тощо. Калібрування засноване на переміщенні калібруваного продукту уздовж щілини змінного перерізу.

Кінематичний режим робочого органу, кут нахилу сита, кут спрямованості коливань, питома подача, тип сита, форма і розміри отворів повинні забезпечувати виконання *основної умови просіювання: відносний рух матеріалу по сити*.

Технологічні процеси виробництва багатьох харчових продуктів (борошна, крупи, харчоконцентратів, овочів тощо) включають одну з основних операцій – *сортування* різних сумішей (як сировини, так і різних проміжних продуктів) на їх складові компоненти. Процес сортування можна розділити на наступні операції:

Класифікація – це процес поділу сумішей різних сипких продуктів на фракції однакової якості і ступеня зрілості, що розрізняються розмірами і фізичними властивостями.

Калібрування – поділ різних продуктів на фракції з однаковими розмірами за формою і масою.

Сепарування – процес поділу сипких продуктів на фракції, що розрізняються фізичними та геометричними розмірами; при цьому для поділу використовують такі ознаки: щільність частинок, лінійні розміри, аеродинамічні і феромагнітні властивості, стан поверхні.

Магнітне сепарування – ґрунтується на відмінності магнітних властивостей частинок. Використовують цей метод для виділення феромагнітних частинок з сипких продуктів. Феромагнітними є, наприклад, залізовмісні частинки (ошурки) в цибулі. При впливі на таку сипку суміш магнітного поля залізовмісні частки захоплюються магнітними силами до одного з полюсів магніту.

Електрофільтрування – метод поділу частинок сипкого середовища, заснований на відмінності електромагнітних властивостей частинок. Дисперсне середовище пилу спочатку іонізують в електричному полі високої напруги (10...15 кВт·А), а потім створюють умови для сорбування іонів частинками дисперсної фази. Частинки, які, отримали в результаті цього електричний заряд, рухаються в електричному полі до протилежно зарядженого електроду. Досягнувши його, частинки розряджаються і опадають вниз під дією сили тяжіння.

Механічна класифікація – полягає в розсві сипких матеріалів на ситах, ґратах або інших пристроях. При механічній класифікації через отвори пристрою, який просіює, проходять частинки матеріалу (прохід), розміри яких менше отворів. Шматки або частинки (сход), які не пройшли через сита, направляються на додаткове подрібнення.

Механічна стерилізація – заснована на відмінності міцності частинок. Цим методом здійснюють, наприклад, поділ кондиційних і уражених шкідниками зерен пшениці. Цей процес здійснюється в механічних стерилізаторах. Зернова маса, що надходить суцільним потоком в приймальне отвір стерилізатора, розганяється обертовим диском і відкидається на нерухому тверду поверхню. При ударі об неї практично повністю гинуть дорослі особини комах, личинки і ляльки; з пошкоджених зерен висипається їх вміст; зерна, пошкоджені шкідниками фарбуються; з борозенки зерен випадають пилоподібні частки; порушується лужність оболонки зерна, що сприяє відділенню оболонок на наступних операціях розмелу.

Гідравлічна класифікація – поділ суміші твердих частинок на фракції залежно від швидкості осідання частинок в рідині. Гідравлічне сортування може здійснюватися в потоці рідини з використанням динамічного впливу потоку на частку, як і при пневматичному сепаруванні. Однак густина води в 800 разів і більше вище щільності повітря і тому відмінність динамічних напорів на розділювані частинки також збільшується в 800 разів і більше.

Флотація – метод поділу частинок, заснований на відмінності змочуваності поверхні частинок водою, що містить флотаційний реагент, підсилювальний ці відмінності. Флотацію широко застосовують в металургії для збагачення руди. Тонко подрібнену суміш руди і породи пропускають через флотаційні ванни, що містять воду з флотаційним реагентом і барботують через них повітря. Бульбашки повітря прилипають до тих частинок, які гірше змочуються водою. Зазвичай це частинки породи. Вони виносяться на поверхню, а частинки руди опускаються на дно. Потім і ті і інші видаляються.

Класифікація методів розділення сипких середовищ приведена на рисунку 6.1.

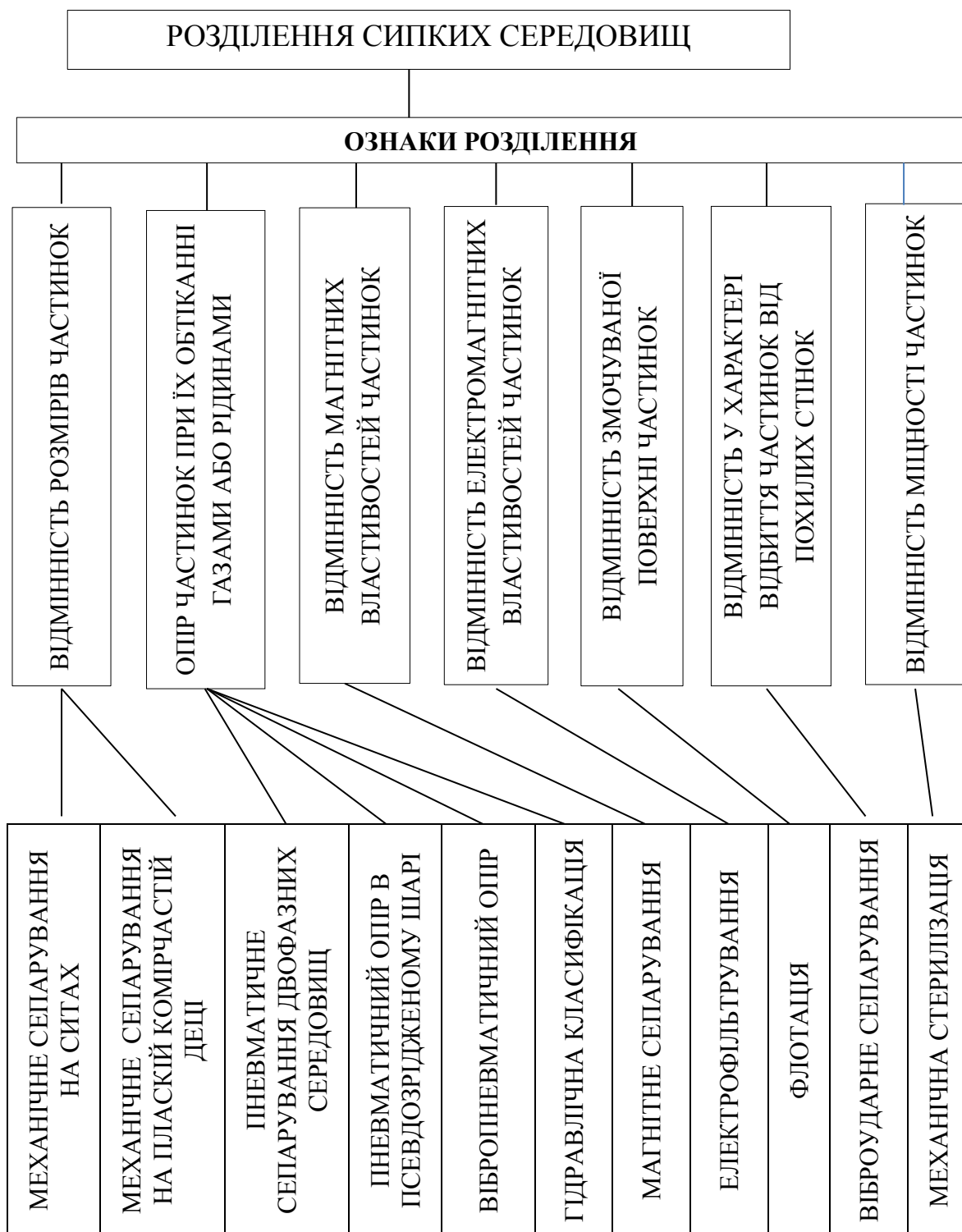


Рис. 6.1. Класифікація способів розділення сипких середовищ

Повітряна сепарація – поділ твердих частинок на фракції, в основу якої покладені відмінності в здатності різних частинок переміщатися в повітряному середовищі з різною відносною швидкістю, яка залежить від сил

лобового опору частинок дисперсної фази при їх обтіканні суцільними середовищами (газом або рідиною).

Ефект поділу – кількість речовини (в%), виділеної з суміші застосовуваним способом. Цей показник використовують для характеристики як самого методу, так і використовуваного апарату.

Основна мета поділу сумішей полягає в тому, щоб в процесі сортування виділити фракції за такими ознаками частинок, які забезпечують необхідну кількість і якість проміжних і кінцевих компонентів.

Для поділу сипких харчових продуктів використовуються сепаратори. Розрізняють прості і складні сепаратори.

Простими (елементарними) називають сепаратори, в яких початкова суміш розділяється по одній з ознак на дві фракції (сито, трієр).

Складні представляють собою сполучення декількох простих сепараторів в одній машині. У них сепарують зернові суміші на три і більше фракції за кількома ознаками. Конструктивно складний сепаратор може бути влаштований таким чином, що операції поділу сумішей простими сепараторами в ньому за різними ознаками можуть здійснюватися послідовно, паралельно або комбіновано. До складних сепараторів відносять: повітряно–ситові сепаратори; ситові сепаратори; які мають два і більше сит; розсійники; сито-віяльні машини; пневмосортувальні столи; які дають три і більше фракцій.

Відповідно до технологічного призначення і областю застосування сепараційні машини підрозділяються:

- Машини для розділення сумішей за товщиною, шириною і формою поперечного перерізу частинок – ситові сепаратори;
- Машини для розділення сумішей за довжиною частинок – трієри циліндричні і дискові;
- Машини для розділення сумішей за аеродинамічними властивостями – повітряні сепаратори;
- Машини для розділення сумішей за шириною, товщиною і аеродинамічними властивостями – повітряно-ситові сепаратори;
- Машини для розділення сумішей за гравітаційними властивостями (масі, щільності) – каменевідбірники і пневмосортувальні столи;
- Машини для розділення сумішей за пружністю і коефіцієнтом ударного тертя – відбивні столи, піддон-машини;
- Машини для розділення сумішей за фрикційними властивостями – фрикційні сепаратори, гірки;
- Машини для розділення сумішей за відмінністю магнітних властивостей компонентів – магнітні та електромагнітні сепаратори;

- Машини для розділення сумішей за відмінністю кольорів компонентів (коефіцієнту відбиття світлового потоку) – оптичні і фотоелектронні сепаратори;
- Машини для розділення сумішей за електричними властивостями (за діелектричною проникністю) – електростатичні і коронні сепаратори.

6.2. ДІЛИЛЬНИЙ ФАКТОР І ХАРАКТЕР ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ

При виборі способу розділення зернової суміші необхідно правильно визначити геометричні відмінності і відмінності в фізичних властивостях компонентів суміші, за якими можливо її розділення з максимальним технологічним ефектом. В першу чергу слід враховувати саме ті ознаки, які забезпечать найбільш повне розділення початкової суміші на фракції з заданими показниками якості.

Розглянувши результати вивчення ознак компонентів сумішей, можна вибрати значення *ділильних факторів* (розміри отворів сит, швидкість повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі), тобто ознаки, за якими відмінності компонентів сумішей відрізняються найбільшою мірою, що в кінцевому підсумку визначить подільність початкової суміші.

Можливі три варіанти складу двокомпонентних сумішей.

Перший варіант (рис. 6.2.) суміші показує, що при значенні величини ділильного фактора D , при його позитивному значенні $\Delta = x_{1min} - x_{2max}$ початкову двокомпонентну суміш теоретично можна повністю розділити на два компонента за ознакою x

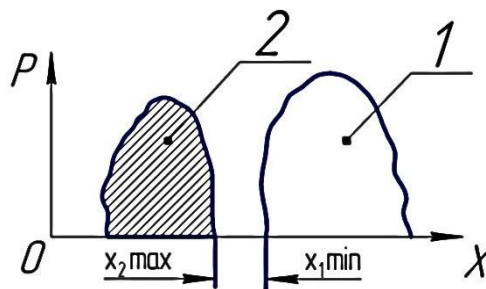


Рис. 6.2. Роздільна двокомпонентна суміш:

1 – зерно основної культури; 2 – домішка.

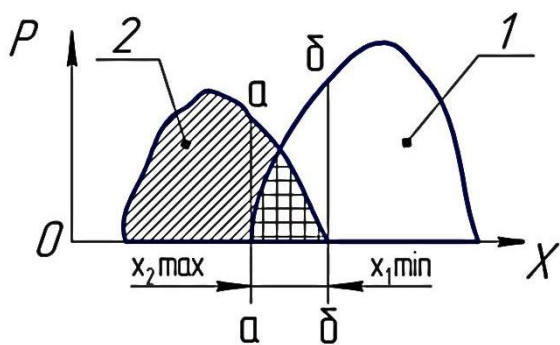


Рис. 6.3. Важкороздільна двокомпонентна суміш: 1 – зерно основної культури; 2 – домішки.

Другий варіант (рис. 6.3) суміші показує, що при негативному значенні $\Delta = x_{1min} - x_{2max}$, коли частина площі обмеженої кривою 1 перекривається кривою 2, початкова суміш не може бути повністю розділена на вихідні компоненти за ознакою x .

Теоретично можна виділити тільки частину компонентів у два прийоми, а саме:

- 1) частину зерна основної культури в чистому вигляді (компонент 1) відповідну площі праворуч від прямої б–б за значенням ділильної ознаки $D = x_{1min}$;
- 2) частина дрібних домішок в чистому вигляді (компонент 2) відповідну площі фігури, що знаходиться зліва від прямої а–а, за значенням ділильної ознаки $D = x_{2max}$;
- 3) нероздільну суміш компонентів, відповідну площі обмеженої прямими а–а і б–б.

Таким чином, дану суміш, можливо розділити на три фракції. При частковому їх витяганні тільки дві з них являються чистими, а третя являє собою нероздільну суміш. Такі суміші називаються важкороздільними.

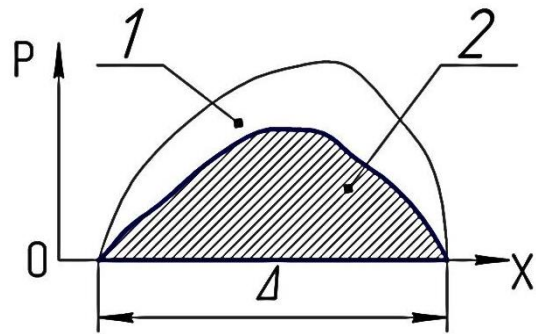


Рис. 6.4. Нероздільна двокомпонентна суміш:

1 – зерно основної культури; 2 – домішки.

Третій варіант (рис. 6.4), при якому обидва компонента перекриваються повністю, відноситься до нероздільної за цією ознакою суміші.

Теоретичним критерієм подільності двокомпонентної суміші за однією ознакою може служити співвідношення:

$$\lambda = 1 - \frac{S}{100} \quad (6.1)$$

де S – сума виходів (%), відповідних площ поверхні першого і другого компонентів, обмежених кривими 1 і 2, основою Δ і ординатами а–а і б–б (рис. 6.3), λ – теоретичний критерій подільності.

6.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ

Ефект розділення суміші на фракції визначається наступними основними параметрами:

- кількістю початкової суміші, що надходить в сепаратор за одиницю часу G (кг/год);
- тривалістю обробки суміші;
- фізичними властивостями суміші, що визначають її подільність.

Питома подача – подача на одиницю ширини простого сепаратора.

Подачу (кг/(м·с)) визначають за формулою:

$$q_{\text{б}} = \frac{G}{B} = 3600 \cdot h \cdot \gamma \cdot \vartheta \quad (6.2)$$

Питоме навантаження – подача на одиницю площі простого сепаратора (кг/(с·м²)), яку визначають за формулою:

$$q_{\text{F}} = \frac{G}{B \cdot L} = 3600 \frac{h \cdot \gamma}{\tau} \quad (6.3)$$

де h – товщина шару потоку сипкого матеріалу, що надходить в сепаратор, м; γ – об'ємна маса сепарованого продукту, суміші кг/м³; ϑ – швидкість подачі або швидкість руху продукту в простому сепараторі, м/с; B – ширина простого сепаратора, м; L – довжина простого сепаратора, м; τ – тривалість обробки суміші в сепараторі, с.

Продуктивність сепаратора – кількість початкової суміші, яку здатний прийняти сепаратор в одиницю часу при оптимальному режимі роботи, що забезпечує високу якість (чистоту) поділених фракцій.

Інтенсивність видобування визначуваного компонента – кількість матеріалу, добуваного за одиницю часу з одиниці площі поверхні поділу простого сепаратора. Вона, з одного боку, пропорційна фактичній величині цього компонента, а з іншого боку, обернено пропорційна часу фактичного сепарування, оскільки по мірі збільшення сепарування зменшується кількість частинок, що підлягають розділенню за цією ознакою.

$$U_U = \frac{G}{F \cdot \tau} \quad (6.4)$$

де G – кількість добуваного компонента, кг; F – площа поверхні розділення, м²; τ – час процесу, с.

Ступінь видобування частинок визначуваного компонента за час τ , можна визначити за формулою:

$$\eta = J - e^{-1} \quad (6.5)$$

де $J = \int_0^{\tau} P_c \cdot d\tau$ – параметр процесу сепарування.

Рівняння (6.5) називають **узагальненим рівнянням кінетики процесу сепарування**. Функція P_c залежить від численних факторів, що характеризують властивості і концентрацію компонентів суміші, тип і форму сепаратора, режим його роботи.

6.4. СПОСОБИ ПРОСІЮВАННЯ МАТЕРІАЛУ НА СИТАХ

Просіювання – це процес механічного сортування на ситах з метою очищення сільськогосподарської сировини від небажаних домішок або некондиційної продукції.

В якості робочих органів в харчовій промисловості застосовуються сита, що відрізняються за способом виготовлення і матеріалу. Широке застосування отримали сита:

- 1) пробивні, з тонкої листової сталі зі штампованими отворами;
- 2) плетені (дротяні), з круглого металевого дроту;
- 3) ткані з шовкових ниток, капрону, нейлону, перлона.

Сита характеризуються робочим розміром, формою отворів і коефіцієнтом живого перетину. Частина суміші, що проходить через отвори сит, називають прохідною фракцією, або **проходом**, а іншу частину, яка не проходить через отвори сит і сходить з них, називають сходовою фракцією або **сходом**.

Сита з круглими отворами затримують частинки, ширина яких більше діаметру отворів сита, тому вважають, що на ситах з круглими отворами виділяють із зернової суміші домішки, що відрізняються від зерна основної культури шириною.

Сита з прямокутними отворами затримують частинки, товщина яких більше розмірів отворів сит. Також сита використовують для розділення суміші за товщиною окремих частинок і для очищення зерна від домішок, що відрізняються від зерен основної культури товщиною.

Сита характеризуються робочою розміром D (ділильний фактор) і коефіцієнтом живого перетину Ψ . Під робочим розміром D прямокутного сита розуміють мінімальний розмір отвору в світлі. Для сит з круглими отворами робочим розміром служить діаметр, а для прямокутного отвору – сторона правильного трикутника.

Коефіцієнтом живого перетину сита Ψ називається відношення площі отворів сита по всій робочій (загальній) площі отворів сита, виражений в частках або у відсотках.

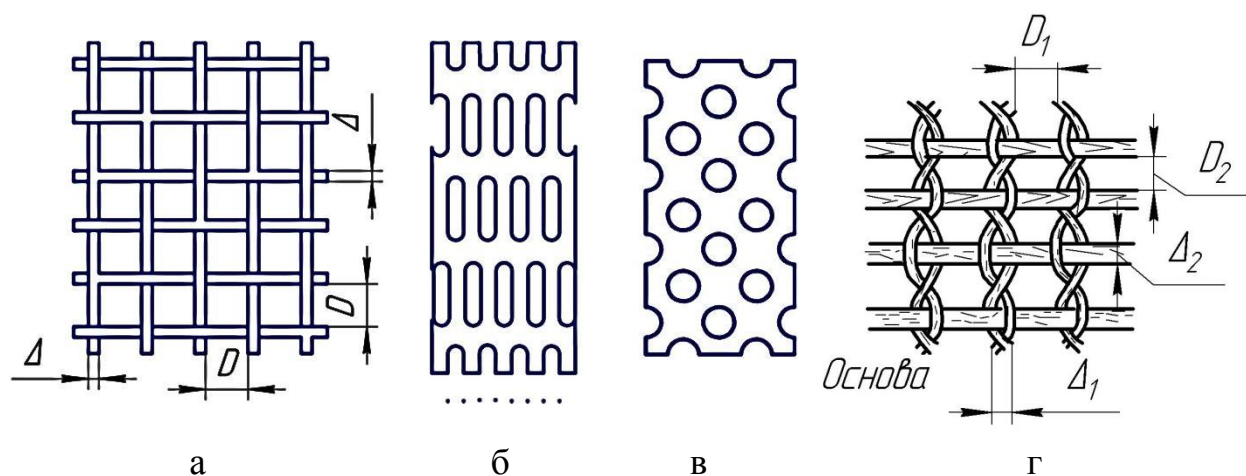


Рис. 6.5. Конструкції сит і їх основні параметри:

а – плетені (дротяні) з круглого металевого дроту; б – пробивні, з тонкої листової сталі зі штампованими продовгуватими отворами; в – пробивні, з тонкої листової сталі з штампованими круглими отворами; г – ткані з шовкових і синтетичних ниток.

Плетені (дротяні) сита (рис. 6.5. А) виготовляють зі сталі, латуні або фосфористої бронзи. Основою сита є сітка з квадратними або прямокутними отворами розміром від 100 до 0,4 мм. Сита позначаються номерами, відповідними розміру сторони отвору сітки в світлі, вираженому в міліметрах. Так, наприклад, сито з квадратними отворами мають № 4 відповідно до розміру сітки рівному 4 мм. Іноді застосовується спосіб вираження величини отворів сітки числом «*mesh*», тобто числом отворів, що припадають на один лінійний дюйм (25,4 мм) сітки. Крім того, іноді сита позначаються за кількістю отворів на 1см² сітки.

Модуль сита – відношення розміру отворів кожного сита до подальшого рівним $\sqrt{4}$ (или $\sqrt[4]{2}$) для більш докладного ситового аналізу.

Коефіцієнт живого перетину дротяного сита з квадратними отворами (рис. 6.5. а).

$$\Psi = \frac{D}{(D+\Delta)^2} \quad (6.6)$$

де D – розмір сторони отвору, мм; Δ – товщина дроту, мм.

Пробивні сита (рис. 6.5. б, в) можуть мати різноманітну форму отворів в залежності від їх призначення. Для очищення зерна від домішок застосовують головним чином сита з круглими і продовгуватими отворами. Розрізняють штамповані сита за номерами в залежності від розміру отвору – його ширини, діаметра або довжини сторони трикутника. Номер сита є робочий об'єм, в міліметрах збільшений в десять разів. Наприклад, якщо сита мають круглі отвори діаметром 3 мм, номер решетного полотна – 30.

Коефіцієнт живого перетину пробивних сит (пропускна здатність сита):

$$\Psi = \frac{S_0}{S} \cdot 100 \quad (6.7)$$

де S₀ – сумарна площа отворів, м²; S – загальна площа поверхні сита, м².

Живий перетин пробивних сит становить зазвичай не більше 50%.

Ткані сита (рис. 6.5. Г) виготовляють двох типів: полегшені і обважнені. Полегшені сита розрізняють за кількістю отворів на 1 см довжини сита. Наприклад, ткане ситове полотно номер 10 має 10 отворів на 1 см довжини сита. Обважнені сита розрізняють за кількістю отворів на 1 дм. Число отворів збігається з номером сита. Іноді сита з дрібними отворами (менше 1 мм²) характеризується числом «*mesh*».

Шовкові сита піддають обробці, що надає їм твердість, глянсуватість і зменшують їх гігроскопічність.

Коефіцієнт живого перетину шовкового сита (рис. 6.5. г):

$$\Psi = \frac{D_1 \cdot D_2}{(D_1 + \Delta_1) \cdot (D_2 + \Delta_2)} \cdot 100 \quad (6.8)$$

де D_1 – відстань між нитками по основі, мм; Δ_1 – товщина нитки по основі, мм; D_2 – відстань між нитками по утоку, мм; Δ_2 – товщина ниток по утоку, мм.

6.5. СИТОВИЙ АНАЛІЗ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Ситовим аналізом називається визначення гранулометричного складу сипких матеріалів (визначення вмісту частинок різних розмірів).

При виконанні ситового аналізу проводять розсів середньої проби матеріалу. Для розсіву застосовують набір дротяних сит з постійним модулем.

Якщо наважку суміші, що містить частинки різних розмірів, пропустити через ці сита, встановлені одне над іншим в порядку убавання розмірів отворів зверху вниз, то на кожному ситі затримуються ті частинки, розміри яких більше розмірів отворів цього сита, але менше розмірів отворів верхнього сита. Зважуючи кожен фракцію, отриману таким чином, визначають її масу і процентний вміст цієї фракції по відношенню до маси початкової наважки:

$$y = \frac{m_i}{M} \cdot 100 \quad (6.9)$$

де y – процентний вміст i – й фракції по відношенню до маси початкової наважки, %; M – маса початкової наважки, кг; m_i – маса i – й фракції, кг.

Середній розмір частинок, що складають наважку, визначають за формулою:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} d_i \cdot m_i}{M} \quad (6.10)$$

де d_i – середній розмір i – й фракції, який знаходиться як півсума розмірів отворів верхнього і нижнього сита, мм; m_i – маса i – й фракції, кг; M – маса початкової наважки, кг.

Класи зерен позначають розмірами отворів цих сит відповідними граничним розмірам зерен даного класу. Якщо, наприклад, зерна отримані послідовним просіюванням на ситах № 1 і № 2, тобто з отворами 1 і 2 мм, то клас зерен позначають у такий спосіб: – 2 + 1 мм.

Для більш повної характеристики суміші, крім середнього розміру часток, визначають ще й середнє квадратне відхилення:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum y \cdot a^2}{100}} \quad (6.11)$$

де y – кількість даної функції, %; a – відхилення розміру частинки даної фракції d_i від середнього розміру частинок d_{cp} ; $a = d_i - d_{cp}$.

Чим ближче середнє відхилення σ до нуля, тим однорідніше суміш.

Графічне зображення складу сипкого матеріалу в координатах, вміст фракції – розміри отворів сит називається *характеристикою крупності*. Відклавши на горизонтальній осі графіка (рис. 6.6) розміри отворів сит, що становлять набір, а на вертикальній осі – процентний вміст фракцій, отримаємо криву розподілу розмірів частинок даної наважки.

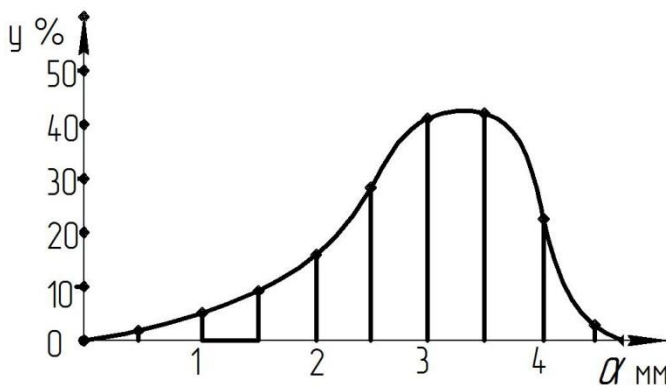


Рис. 6.6. Графік розподілу сипкого матеріалу по крупності.

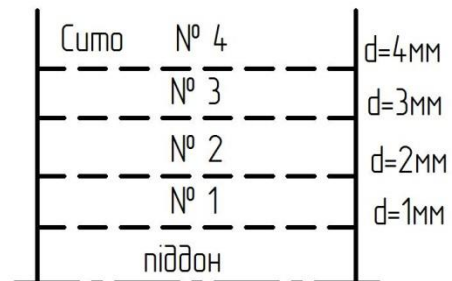


Рис. 6.7. Розміщення сит в касеті за номерами.

Крива розподілу, або характеристика крупності, визначає гранулометричний склад сипкого матеріалу, що представляє собою статистичну сукупність зерен різної крупності.

6.6. ЕФЕКТИВНІСТЬ СЕПАРУВАННЯ

Ефективність просіювання сипких матеріалів на будь-якому ситі характеризується наступними основними факторами:

- Безперервна і рівномірна подача на сито початкового матеріалу;
- Відносний рух матеріалу, який просівають, по ситу;
- Переміщення матеріалу, який просівають уздовж сита від приймального кінця сита до сходового;
- Безперервне очищення отворів сита, тобто обов'язкове відтворення живого перетину сита;
- Безперервне видалення з ситового пристрою одержуваних після просіювання продуктів сходу і проходу.

Важливі параметри режиму просіювання – це число коливань n за хвилину і амплітуда A , яка дорівнює половині розмаху коливань сита. Число коливань і амплітуду називають **кінематичними параметрами**. Число коливань сита, при якому починається відносний рух продукту по ситі, називається **критичним**.

Критична кількість коливань сита знаходиться в прямій залежності від коефіцієнта тертя продукту по ситі і в зворотній залежності від амплітуди коливання. Ефективність просіювання забезпечують величиною робочої кількості коливань, дещо більшої критичної позначки. Кожному типу ситових пристроїв і даної зернової суміші відповідають оптимальні кінематичні параметри.

Під дією періодично виникаючих сил зернова суміш на ситі розпушується, простір між частинками збільшується, що призводить до їх самосортування. Частинки з більшою щільністю починають «тонуть»; виникають сили розклинювального характеру, під дією яких частинки з меншою щільністю починають «спливати» на поверхню шару. В результаті взаємного переміщення частинки сипкого середовища сортуються не тільки за щільністю, але і за крупністю.

Явище перерозподілу частинок за крупністю і щільністю називається **самосортуванням**.

Більш дрібні і важкі частинки як би просіваються між крупними і концентруються на ситі в нижніх частинах шару. Таким чином, під дією вібрації зернова суміш розглядається за щільністю, а в межах даної щільності – за крупністю.

Більшість зернових сумішей складається з частинок майже однакової щільності. В цьому випадку в процесі просіювання переважає самосортування за крупністю. Це явище називається **сегрегацією**. Воно сприяє просіюванню, оскільки проходові частинки (дрібні) приходять в контакт з поверхнею сита і просіваються.

Крім щільності і розмірів частинок, на їх прохідність з верхніх шарів у нижні і назад впливають форми і стан поверхні частинок, товщини вищерозміщеного шару продукту, частота і амплітуда коливання сита.

Таким чином, процес просіювання складається з двох стадій:

- перша, характеризується витяганням проходових частинок з внутрішніх шарів потоку сепарованої суміші в нижній шар;
- друга стадія, характеризується витяганням проходових частинок, які досягли поверхні сита, тобто просіюванням цих частинок через отвори сита.

В результаті сепарування отримують зерна, що пройшли через сито – *просів*, і частинки, що залишилися на ситі – *відсів*. Робота сепаратора оцінюється двома показниками: ефективністю і продуктивністю.

Ефективністю сепарування називається виражене у відсотках або частках одиниці відношення маси просіву до маси матеріалу, крупність якого менше, ніж розмір отворів сита в початковому матеріалі.

Ефективність сепарування дорівнює (%):

$$E = \frac{m}{\frac{Q \cdot a}{100}} \cdot 100 = 10^4 \frac{m}{Q \cdot a} \quad (6.12)$$

де m – маса просіву, кг; Q – маса початкового матеріалу, кг; a – вміст матеріалу, крупність якого менша, ніж розміри отворів сита, у початковому матеріалі, %.

Матеріальний баланс по просіву:

$$\frac{Q \cdot a}{100} = m + \frac{T \cdot \vartheta}{100} \quad (6.13)$$

де T – маса відсіву, тобто продукту, що залишився на ситі, кг; ϑ – вміст просіву у відсіві, %.

Враховуючи, що $T = Q - m$, проведемо математичне перетворення рівняння (6.13):

$$\frac{Q \cdot a}{100} = m + \frac{(Q - m) \cdot \vartheta}{100} \quad \text{або} \quad \frac{Q \cdot a}{100} - \frac{(Q - m) \cdot \vartheta}{100} = m \quad (6.14)$$

Тоді рівняння (6.14) можна представити у вигляді:

$$\frac{m}{Q} = \frac{a - \vartheta}{100 - \vartheta} \quad (6.15)$$

Представляючи відношення $\frac{m}{Q}$ з рівняння (6.15) в рівняння (6.12), остаточно отримуємо %:

$$E = \frac{a - \vartheta}{a \cdot (100 - \vartheta)} \cdot 10^4 \quad (6.16)$$

Величини a і ϑ визначають розсівом проб матеріалу.

Продуктивність сепаратора залежить від фізичних властивостей матеріалу (щільності, форми і розміру зерен, вологості), розмірів сита, відносної швидкості руху матеріалу, способу його подачі, товщини шару матеріалу на ситі та інших чинників, і знаходиться за емпіричним рівнянням.

6.7. КОНСТРУКЦІЇ МАШИН І СПОСОБИ СЕПАРУВАННЯ.

Як вже було сказано раніше, обов'язковою умовою просіювання сипкого матеріалу є відносне переміщення частинок по поверхні сита. За розташуванням сит машини для просіювання діляться на дві групи: з плоскими ситами і циліндричними (або призматичними) ситами.

Для приведення в рух маси сипкого матеріалу пласкі сита здійснюють зворотно-поступальні, кругові поступальні і вібраційні рухи; циліндричні сита обертаються навколо своєї осі. На рисунку (6.8) показані принципові схеми основних типів просіювальних машин.

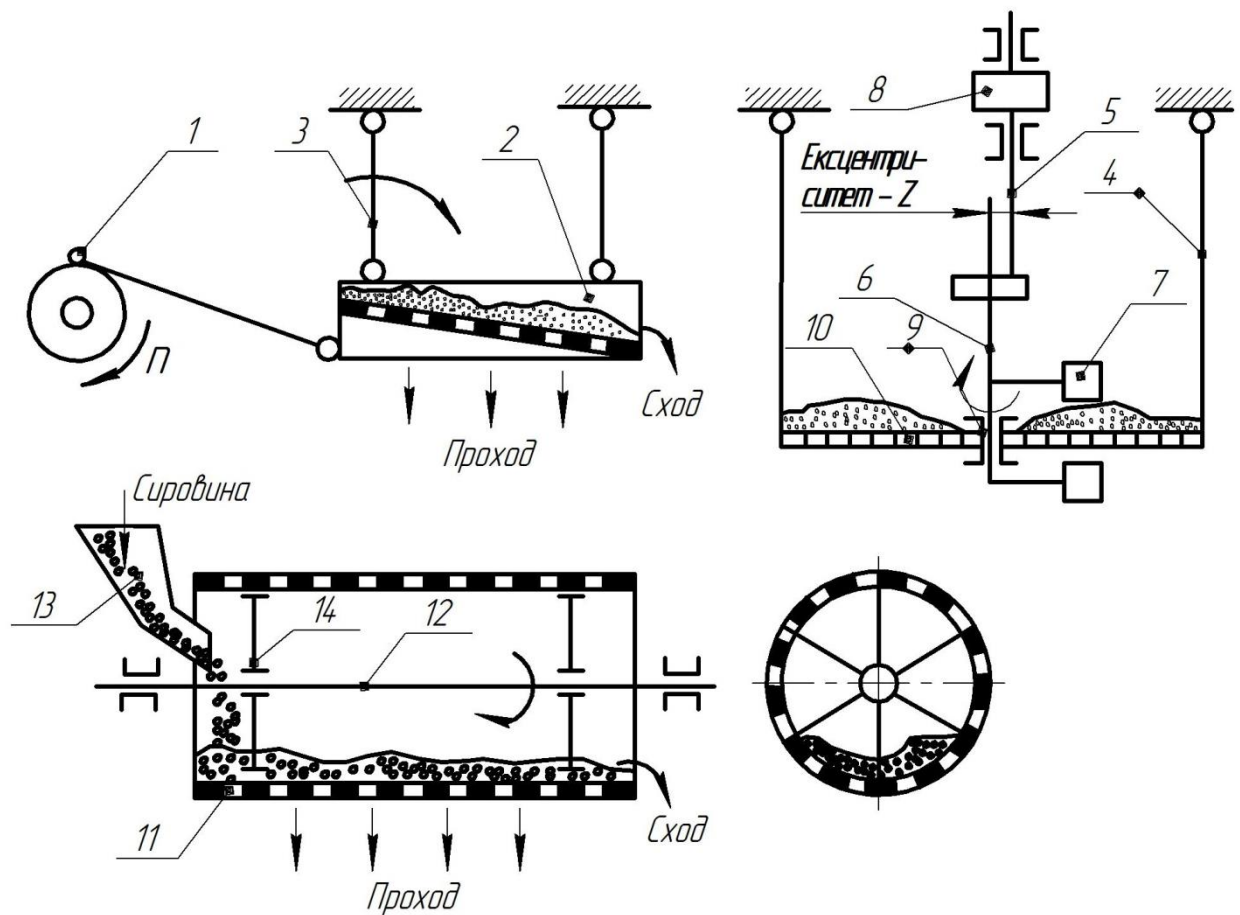


Рис. 6.8. Схеми конструкцій просіювальних пристроїв:

1 – кривошипно–шатунний механізм; 2 – сита; 3 – підвісні опори; 4 – трос; 5 – головний вал приводу; 6 – балансований вал; 7 – балансир; 8 – шків приводу головного валу; 9 – підшипник; 10 – сито; 11 – ситовий барабан; 12 – вал барабанного просіювача; 13 – живильний бункер; 14 – опорні диски барабана.

Пласкі сита (рис. 6.8. а) можуть встановлюватися як горизонтально, так і похило. Зворотно-поступальний рух сит 2, які встановлені на опорах 3, здійснюється кривошипно-шатунним або ексцентриковим механізмом. Для того, щоб частинки переміщалися по ситі, приводний вал повинен мати частоту обертання вище критичної.

На борошномельних підприємствах для сортування помелу використовують машини з круговим поступальним рухом сит – розсійники (рис.6.8. б). Сита в розсійниках здійснюють круговий рух, але не обертаються навколо вертикальної осі, а переміщаються по колу. Зазвичай розсійник складається з двох або чотирьох корпусів, в кожному з яких розміщено від 12 до 20 встановлених одне над іншим горизонтальних сит різних номерів, що

дозволяє розділити продукт на кілька (до сімох) фракцій. Корпуси жорстко пов'язані між собою і за допомогою тросів 4 підвішені на несучу конструкцію перекриття. Приводний механізм розсійників складається з головного валу 5 і балансованого вала 6 з балансирами 7, які врівноважують сила інерції корпусів під час роботи.

Для очищення крупи, борошна та інших сипких матеріалів від грудок і випадкових домішок застосовують машини з циліндричними, шестигранними або конічними обертовими барабанами – бурати (рис. 6.8. в). Робоча поверхня барабана 11 виконана з сит з отворами різного розміру. Ось бурата 12 з конічним барабаном розташована горизонтально, а з циліндричним - з нахилом $5 \dots 10^\circ$ до горизонту. Під дією сили тяжіння при обертанні барабана матеріал переміщується уздовж сита. Прохід зсипається в приймальний жолоб, встановлений під барабаном, і за допомогою шнеків видаляється з машини. Відокремлена домішка сходить з нижнього краю циліндра 11 і висипається з машини.

При сортуванні зерна застосовується багаторазове сепарування, здійснюване за одним з трьох способів (рис.6.9):

- 1) Від дрібного до крупного – через послідовний ряд сит зі збільшеними розмірами отворів;
- 2) Від крупного до дрібного – через розташовані один над одним сита зі зменшаними розмірами отворів;
- 3) Комбінований спосіб сепарування.

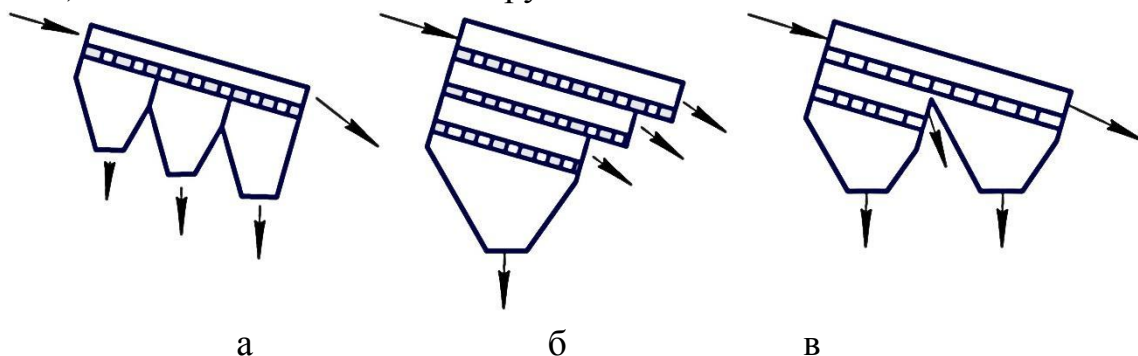


Рис. 6.9. Способи сепарування зерна:

а – від дрібного до крупного; б – від крупного до дрібного; в – комбінований.

Переваги сепарування за першим способом – зручність зміни сит і спостереження за їх станом, розосередженість завантаження фракцій за довжиною сит, що полегшує розподіл класів зерна. Недоліком цього способу сепарування є знижена ефективність розділення, оскільки вся маса продукту завантажувється на сито з найдрібнішими отворами, які перекриваються крупними шматками, перевантаження і підвищений знос дрібних сит, значне кришіння крихкого продукту.

Переваги сепарування за другим способом – більш висока ефективність сепарування, менший знос сит внаслідок первісного відсіву крупних шматків, менше кришіння матеріалу, компактність установки. До недоліків цієї схеми слід віднести розвантаження матеріалу всіх класів у одного кінця грохоту і складність ремонту і зміни сит.

6.8. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ СИТОВИХ СЕПАРАТОРІВ.

Інтенсивність просіювання проходових частинок залежить від живого перетину, стану поверхні і матеріалу сита, вологості просіюваного продукту по сити та інших чинників.

Залежно від крупності, поведінку частинки діаметром d , що потрапила в отвір розміром D , можна визначити наступними випадками:

- якщо $d < D$, частинки при відповідній відносній швидкості можуть пройти через отвір;
- якщо $d > D$, частка може увійти в отвір, але не пройти крізь нього. При цьому частинка або буде викинута з отвору на поверхню сита, або застрягне в отворі.

Наведемо теоретичне обґрунтування руху частинки по сити для цих двох випадків з метою визначення умов переміщення частинок і визначення кінематичних параметрів сепарації.

Перший випадок. На частинку, що знаходиться на поверхні сита (рис. 6.10) діють наступні сили:

$$\text{сила ваги: } G = mg$$

$$\text{сила тертя: } T = fG$$

де f – коефіцієнт тертя частинки о сито;

$$\text{сила інерції } J = ma$$

де a – прискорення, з яким рухається частинка, m/c^2 .

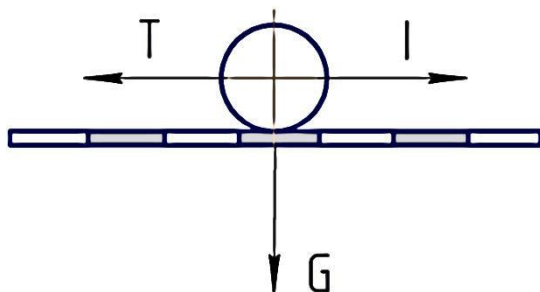


Рис. 6.10. Сили, що діють на частинку, яка рухається по сити.

Прискорення рухомого сита змінюється за законом косинуса, досягаючи максимум в точках, де кут повороту кривошипа φ на довжині r кратний 0 або π , тобто коли $\cos \varphi = 1$.

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot \cos \varphi \quad (6.17)$$

де ω – кутова швидкість; r – радіус кривошипу.

Замінивши кутову швидкість $\omega = \frac{\pi n}{30}$ частотою обертання n (об/хв) отримаємо максимальне прискорення.

$$a = \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900} \cdot r \quad (6.18)$$

Тоді сили інерції, що діють на частинку, що лежить на ситі:

$$J = m \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900} \cdot r \quad (6.19)$$

Щоб частинка могла переміщатися по поверхні сита необхідно виконати умову:

$$J \geq T \text{ або } m \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2}{900} \cdot r \geq f \cdot G \quad (6.20)$$

Замінивши силу ваги $G = m \cdot g$ і поділивши обидві частини рівняння (6.20) на m , отримаємо:

$$\frac{\pi^2 \cdot n^2}{900} \cdot r > f \cdot g \quad (6.21)$$

Якщо прийняти, що $\pi^2 \approx g$, то:

$$n = 30 \sqrt{\frac{f}{r}} \quad (6.22)$$

При дотриманні цих умов частинка переміщається уздовж поверхні сита. Кут φ називають *кутом тертя*. Тоді *коефіцієнт тертя* визначиться:

$$f = \operatorname{tg} \varphi$$

Фізичний зміст коефіцієнта тертя – тангенс кута нахилу нерухомого сита φ , при якому частинка починає ковзати по поверхні сита.

Якщо коливається сито, встановлене похило до горизонту під кутом α , кут тертя зменшується на величину цього кута:

$$f = \operatorname{tg}(\varphi - \alpha)$$

Наведене вище теоретичне обґрунтування руху частинки по ситі не враховує деяких факторів, що впливають на реальний процес. До них відносяться зміна кута між підвіскою і площиною сита, а також переміщення сита у вертикальній площині, яке залежить від розмірів кривошипа і шатуна. Проте отриманий результат досить точно відображає умови роботи сита.

Другий випадок. Щоб зерна могли ковзати по ситі і можна було видалити застряглі сходові зерна з отворів, необхідно повідомити ситі досить велике прискорення. На рисунку 6.11 зображена сферична частинка, що застрягла в отворі похилого сита зі зворотно-поступальним рухом.

Після підстановки значень сил (6.23) в нерівність (6.24) і відповідних перетворень знайдемо значення критичного прискорення сита:

$$a_{кр} = A \cdot \omega_{кр}^2 \quad (6.26)$$

де A – амплітуда коливань сита, мм; ω – кутова швидкість кривошипа, c^{-1} .

Таким чином, відносний рух по сити нижнього ряду, що складається з сходових частинок, можливо, якщо прискорення сита вибрати більше $a_{кр}$. Чим більше розмір сходової частинки, тим менше прискорення сита потрібно для видалення її з отвору.

Забивання отворів сходовими частинками унеможливує подальше просіювання продукту. Якщо в отворі заклинило частинки продукту, розмір яких незначно відрізняється від розміру отворів сит, то для видалення цих частинок буде потрібно велике прискорення сита, що небажано. Тому застосовують штучне очищення отворів сит щітками або іншими очисниками.

6.9. СЕПАРУВАННЯ НА ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБЕРТОВИХ РЕШЕТАХ.

Як вже було сказано, для цих цілей застосовують *бурати* – машини з циліндричними або конічними *барабанами* (рис. 6.12)

Зі збільшенням частоти обертання барабана зростає відцентрова сила, що притискає матеріал до внутрішньої поверхні барабана. При певній частоті обертання матеріал може так притиснутися до барабану, що почне обертатися разом з ним, припинивши переміщатися уздовж сита. Цю граничну частоту обертання барабана можна визначити, розглядаючи умови рівноваги частинки на поверхні обертового сита (рис. 6.13).

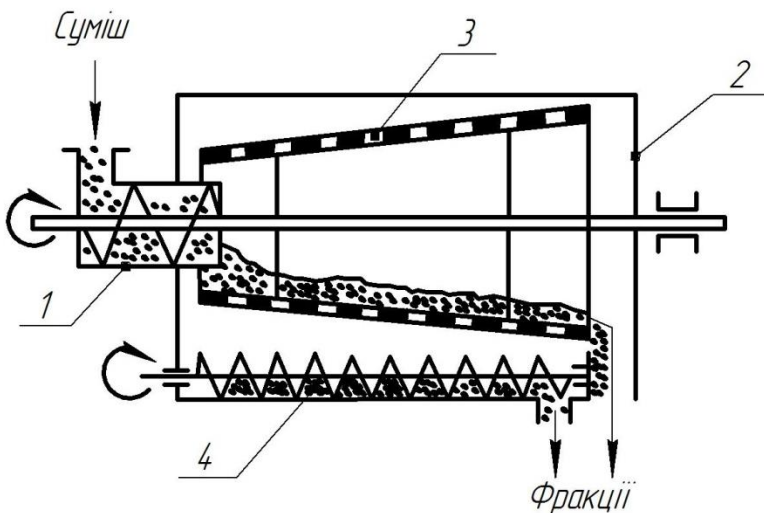


Рис. 6.12. Барабанний сепаратор (бурат):
1 – шнек живильник; 2 – кожух; 3 – конічний барабан (сито); 4 – шнек.

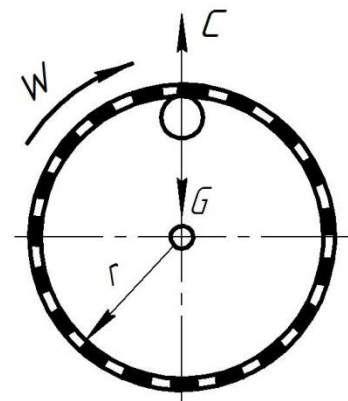


Рис. 6.13. Сили, що діють на частинку, що обертається разом з барабаном.

Припустимо, що розглядувана частинка займає крайнє верхнє положення. Умовою її рiвноваги є рiвновага двох сил, що дiють на частинку: сила ваги G i вiдцентрова сила C .

Виражаючи цi сили через масу m i вiдповiдне прискорення, отримаємо умови рiвноваги:

$$G = C \quad \text{або} \quad mg = m\omega^2 r \quad (6.27)$$

де ω – кутова швидкiсть обертання барабана, с^{-1} ; r – рiдiус барабана, м.

Подiливши рiвняння (6.27) на m i виразивши кутову швидкiсть через частоту обертання барабана, $\omega = \frac{\pi n}{30}$, отримаємо:

$$g = \frac{\pi^2 n^2 \cdot r}{900} \quad (6.28)$$

Узявши $g = \pi^2$, знаходимо частоту обертання барабана (об/хв), при якiй частинки обертаються разом з ним:

$$n = \frac{30}{\sqrt{r}} \quad (6.29)$$

Як правило, робочу частоту обертання приймають $n_p = (0,3 \dots 0,5)n$,

$$n_p = \frac{10 \dots 15}{\sqrt{r}} \quad (6.30)$$

Основний недолiк описаної конструкцiї полягає в тому, що завжди працює тiльки нижня половина обертового сита. Цього недолiку позбавленi вiдцентровi бурати, в яких обертається не тiльки барабан, але i спецiальнi бичi всерединi барабана. Матерiал, притиснутий до внутрiшньої поверхнi барабана, пiднимається разом з ним на деяку висоту, а потiм падає на швидкообертовi бичi, якi розкидають матерiал, на поверхнi всього сита збiльшуючи продуктивнiсть машини. Просiяний продукт i окремi домiшки виводяться з машини, як у звичайного бурата.

Контрольнi питання до теми 6:

1. Назвiть основну умову просiювання
2. За якими ознаками вiдбувається роздiлення сипкого матерiалу?
3. Що являє собою процес класифiкацiї сумiшей?
4. Чим вiдрiзняється процес класифiкацiї вiд сепарування?
5. На яких властивостях ґрунтується магнiтне сепарування?
6. Який принцип роздiлення електрофiльтруванням?
7. У чому полягає механiчна класифiкацiя сипких матерiалiв?
8. На чому заснована механiчна стерилiзацiя?
9. Вiд яких факторiв залежить гiдравлiчна класифiкацiя твердих частинок?

10. На якому принципі заснований метод розділення часток флотацією?
11. Що являє собою повітряна сепарація?
12. Сформулюйте, що представляє собою «ефект розділення»?
13. Які сепаратори відносяться до «простих»?
14. Які сепаратори відносяться до «складних»?
15. Що є «ділильним фактором» сепарування?
16. За яких умов ділильного фактора двокомпонентна суміш роздільна?
17. За яких значень ділильного фактора двокомпонентна суміш важкороздільна?
18. За яких значень ділильного фактора двокомпонентна суміш нероздільна?
19. Що є теоретичним критерієм подільності?
20. Що називається питомою подачею сепаратора?
21. Як формулюється питома навантаження на сепаратор?
22. Дайте формулювання виразу – інтенсивність видобування.
23. Яке рівняння називається узагальненим рівнянням кінетики процесу сепарування?
24. Яка основна мета процесу просіювання?
25. Що називається коефіцієнтом живого перетину сита?
26. Дайте формулювання модуля сита.
27. Фізична сутність числа «МЕШ»
28. Що називається ситовим аналізом?
29. Які чинники характеризують ефективність сепарування?
30. Які фізичні величини називають кінематичними параметрами сепарування?
31. Яке явище називається самосортуванням?
32. Що називається сегретацією?
33. Що називається ефективністю сепарування?
34. Які існують способи багатократного сепарування?
35. Які сили діють на частинку, що знаходиться на поверхні сита?
36. Які сили діють на зерно, яке застрягле в ситі?

Тести для перевірки знань

- 1) На якій операції відбувається розділення продуктів на фракції з однаковими розмірами, за формою і масою?
 1. Калібрування
 2. Класифікація
 3. Сепарування
 4. Центрифугування

- 2) Який метод розділення заснований на відмінності магнітних властивостей частинок?
1. Електрофільтрування
 2. Магнітне сепарування
 3. Електромагнітне сепарування
 4. Магнітне осадження
- 3) Що означає термін «ефект розділення»?
1. Кількість речовини, виділеної з суміші
 2. Швидкість розділення компонентів
 3. Витрати енергії на розділення
 4. Час, витрачений на розділення
- 4) Як називаються сепаратори, в яких суміш розділяється за однією ознакою?
1. Прості сепаратори
 2. Складні сепаратори
 3. Віброударні сепаратори
 4. Комбіновані
- 5) Які сепаратори розділяють суміш за відмінністю сил лобового опору частинок при їх обтіканні?
1. Сепаратори з псевдозрідженим шаром
 2. Сепаратори зі зворотно-поступальним рухом
 3. Магнітні сепаратори
 4. Барабанні сепаратори
- 6) Що означає термін – ділительний фактор сепарування?
1. Параметр, за яким проводять сепарування
 2. Модуль розділення сумішей на фракції
 3. Кількість речовини, що виділяється з суміші
 4. Маса частинки речовини
- 7) За якою формулою визначається питоме навантаження сепаратора?
1. $q_F = \frac{G}{B \cdot L}$
 2. $q_6 = 3600 \cdot h \cdot \gamma \cdot \vartheta$
 3. $U = \frac{G}{F \cdot \tau}$
 4. $g_6 = \frac{G}{B}$
- 8) За якою формулою визначається коефіцієнт живого перетину пробивного сита?

1. $\Psi = \frac{S_o}{S} \cdot 100$
2. $\Psi = \frac{D}{(D+\Delta)^2}$
3. $\Psi = \frac{D_1 \cdot D_2}{(D_1+\Delta_1) \cdot (D_2+\Delta_2)} \cdot 100$
4. $\eta = J - e^{-1}$

9) Для будь сит коефіцієнт живого перетину розраховується за формулою $\Psi = \frac{D}{(D+\Delta)^2}$?

1. Дротяних сит
2. Пробивних сит
3. Тканих сит
4. Циліндричних сит

10) Які параметри режиму просіювання відносяться до кінематичних?

1. Число коливань і амплітуда
2. Лінійна швидкість сита
3. Довжина підвісів сита
4. Швидкість руху частинки по сити

11) Як називається мимовільний розподіл частинок тільки по крупності?

1. Сегрегація
2. Самосортування
3. Просипання частинок через сито
4. Осадження в шарі

12) Як називаються машини з круговим поступальним рухом сит?

1. Розсійники
2. Ситові сепаратори
3. Бурати
4. Електрофільтри

13) Як називається багатократний спосіб сепарування через послідовний ряд сит?

1. Від дрібного до крупного
2. Від крупного до дрібного
3. Комбінований
4. Ступеневе сепарування

- 14) Коли частинка може увійти в отвір сита, але не пройти крізь нього?
1. Коли α частинки $> D$ сита
 2. Коли α частинки $< D$ сита
 3. Коли n частинки (об/хв) $< n$ критичне
 4. Коли G частинки $> J$ сита
- 15) За якою формулою визначаються оберти кривошипа, при яких частинка переміщується вздовж поверхні сита?
1. $n = 30 \sqrt{\frac{f}{r}}$
 2. $n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\alpha_1 + \varphi)}{R \cdot \sin \varphi}}$
 3. $n = \frac{30}{\pi} \sqrt{K \frac{g}{R}}$
 4. $n = \frac{30\omega}{\pi}$
- 16) Чому дорівнює номер капронового сита?
1. Кількості отворів, що припадають на 1 см нитки
 2. Кількості отворів на 1 дюйм довжини нитки
 3. Довжині сторони квадратних отворів в мкм
 4. Розміру рамки сита
- 17) Чому круговий рух сита частіше застосовується для розсійників?
1. Воно простіше реалізується
 2. Створює менше шуму і менше поломок обладнання
 3. При ньому велика продуктивність сита
 4. Малі інерційні сили
- 18) Чи потрібно збільшувати продуктивність самосортування сипкої суміші?
1. Не потрібно, тому що продуктивність в цілому не збільшується
 2. Потрібно, оскільки це основний фактор зростання продуктивності машини
 3. Потрібно до тих пір, поки інші фактори не стануть визначальними
 4. Потрібно з метою економії енергії

ТЕМА 7. РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ТРІЄРАХ; ПНЕВМАТИЧНЕ, ГІДРАВЛІЧНЕ І МАГНІТНЕ СЕПАРУВАННЯ

7.1. СЕПАРУВАННЯ В ЦИЛІНДРИЧНИХ ТРІЄРАХ.

Частинки з однаковим поперечним перерізом і різною довжиною поділяють не на ситах, а в трієрах. Трієри застосовуються для виділення домішок, що відрізняються від зерен основної культури довжиною. Сепарування сумішей за допомогою трієрних комірчастих поверхонь (рис. 6.14) називається *трієруванням*.

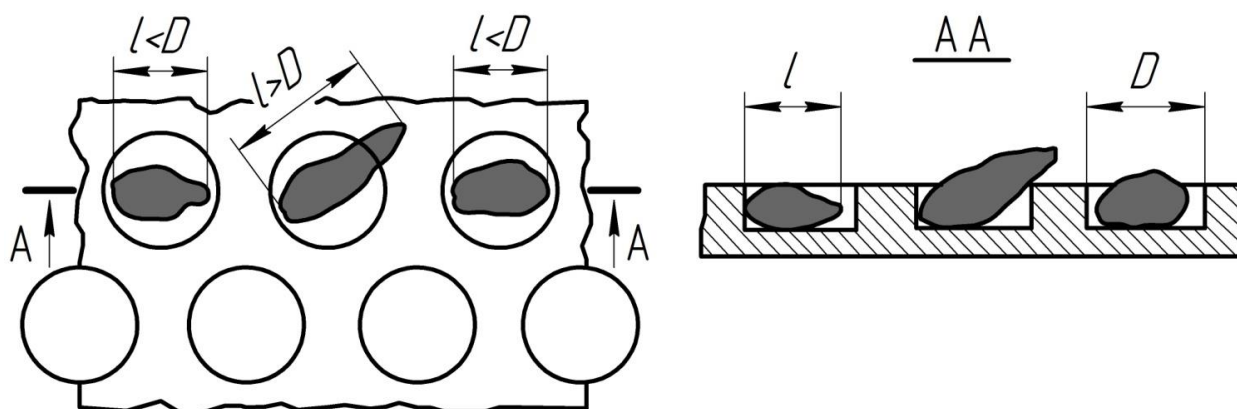


Рис. 7.1. Розділення зернової суміші за довжиною.

Трієри за конструктивним виконанням основних робочих органів підрозділяються на: *циліндричні, дискові, лопатеві і стрічкові*.

Робочим органом в циліндричному трієрі є сталевий циліндр 7, до кінців якого прикріплені гвинтами розетки 3 і 11 (рис.7.2). Розетка 11 з'єднана шпонкою з валом 1. До нього приварені витки шнека 2. Таким чином, разом з валом обертаються циліндр і шнек. Жолоб 8 з одного боку спирається через підшипник 9 на вал, а з іншого – з'єднаний з черв'ячним колесом 5.

Повертаючи колесо за допомогою черв'яка 4, можна змінювати положення межі жолоба по відношенню до циліндра. Короткі зернівки при обертанні циліндра западають в комірки, досягаючи зони випадання, розвантажуються в жолоб і виводяться шнеком з машини. Зернівки довжиною фракції переміщуються уздовж циліндра в лоток 6.

Циліндричні трієри в залежності від значення колової швидкості поділяють на тихохідні ($\vartheta = 0,3 \dots 0,5$ м/с) і швидкохідні ($\vartheta = 1,2 \dots 1,5$ м/с). Найбільшого поширення набули сталеві циліндри зі штампованими комірками, як найбільш міцні і дешеві у виготовленні. Штамповані комірки в плані круглі, а в розрізі по колу – ковшеподібні.

Циліндричний трієр (рис. 7.2) складається з сталевого циліндра 1 з штампованими комірками 2 на внутрішній поверхні, і шнека 5, розташованого в жолобі 4. При обертанні циліндра з зерном в комірки трієра потрапляють частинки менше діаметра комірок і піднімаються вгору, в лоток, який знаходиться всередині циліндра і виводяться назовні шнеком.

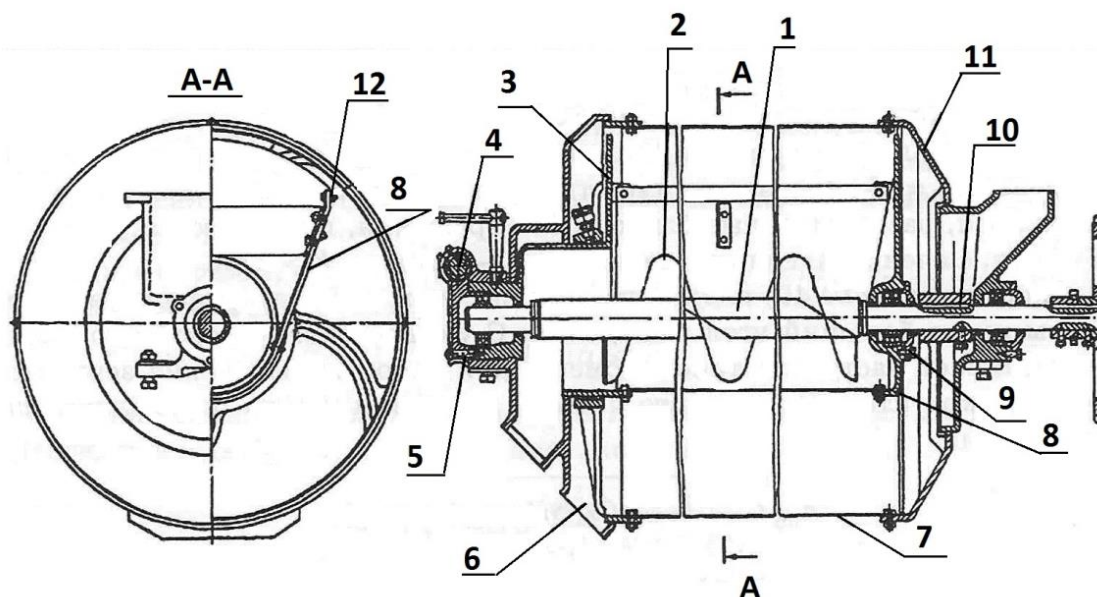


Рис. 7.2. Циліндричний трієр:

1 – вал; 2 – шнек; 3, 11 – розетки; 4 – черв'як; 5 – черв'ячне колесо; 6 – лоток; 7 – циліндр; 8 – жолоб; 9 – підшипник; 10 – шпонка; 12 – грани жолоба.

У циліндрі залишаються частинки, довжина яких більше діаметру комірок і які не вкладаються в них по довжині і виходять сходом по циліндру з іншого боку. **Ступінь розділення** зернової суміші на фракції по довжині залежить від рівня, на якому встановлена верхня грань 3 лотка.

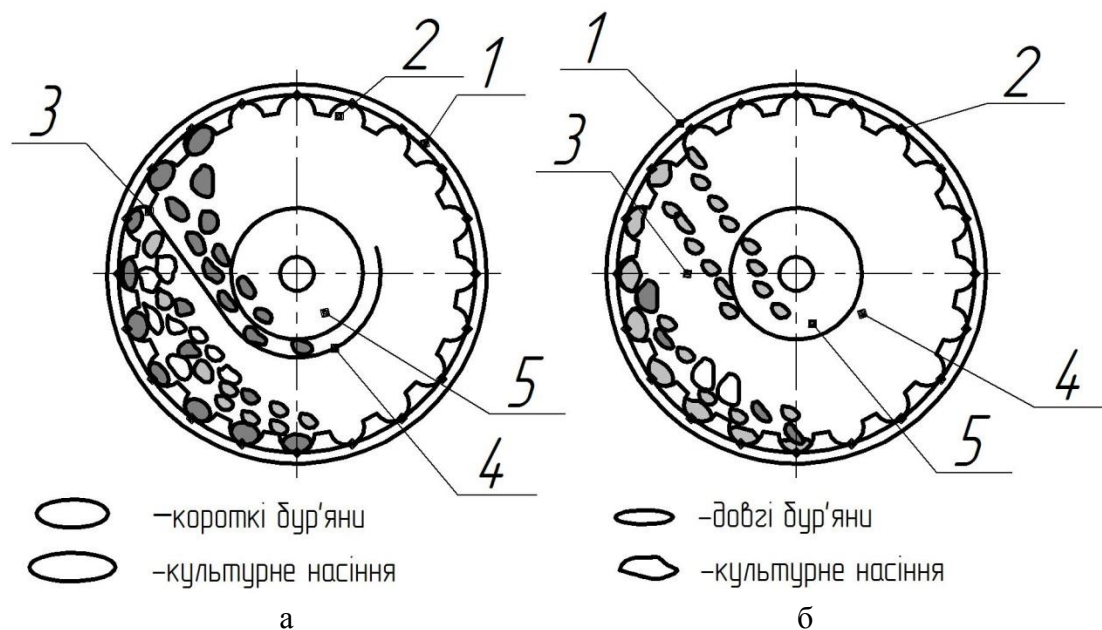


Рис. 7.3 Схема роботи трієрів:

а – кукільний трієр; б – вівсюжний трієр; 1 – циліндр; 2 – жолоб; 3 – шнек.

Трієри, що виділяють з зернового матеріалу короткі домішки (наприклад: кукіль, бите скло тощо) називаються **кукільними**. У них очищене зерно виходить з циліндра, а домішки з жолоба (рис. 7.3 а).

Трієри, призначені для відділення довгих зернових домішок, називаються **вівсюжними**. У них зерно виходить з жолоба, а домішки – з циліндра.

Ефективність роботи коміркових поверхонь залежить від кількості комірок на одиниці площі поверхонь залежить від кількості комірок на одиниці площі і порядку їх розташування. Найбільш раціональне розташування – шахове, коли кожна комірка розміщена в центрі правильного шестикутника, а в вершинах знаходяться центри суміжних комірок.

Для прийому та відведення зерна і домішок, вибраних комірками, служить жолоб і шнек. Щодо осі трієра шнеки розташовуються концентрично і ексцентрично. Шнеки трієрів однозахідні. Кутова частота обертання шнека дорівнює кутовий частоті обертання трієрного циліндра. Профіль жолоба повинен бути таким, щоб зерно, що випадає з комірок, в процесі падіння не перелітало через неробочий край жолоба. Рух зернової суміші уздовж циліндра забезпечується тим, що сипучі тіла розташовуються під кутом природного укусу і скочуються зі свого верхнього положення, коли вони були підняті, вниз за усіма напрямками, і особливо уздовж циліндра, де немає перешкод з боку надхідного в циліндр матеріалу.

Довгі зерна знаходяться в безперервному русі навколо ядра шару. Завдяки силам тертя шар піднімається на деякий кут α (рис. 7.4). Цей кут називають **кутом ковзання**. Потім частинки скочуються вниз і знову піднімаються, здійснюючи, таким чином, коливальний рух по внутрішній поверхні циліндра. Одночасно ці частинки під тиском надходять в циліндр порціями зернової суміші і просуваються до сходового кінця циліндра.

Короткі частинки в осередках піднімаються при обертанні циліндра на кут, більший кута підйому довгих частинок, і випадають з комірки в лоток. Цей кут називають **кутом випадіння**.

7.2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ У ЦИЛІНДРИЧНИХ ТРІЄРАХ.

Співвідношення параметрів трієрного циліндра.

Штаповані комірки розташовуються в шаховому порядку з кроком:

$$t = 0,6 + 1,2 d \quad (7.1)$$

де d – робочий об'єм комірок, мм.

Співвідношення між довжиною трієрного циліндра і його діаметром для тихохідних трієрів $L/D = 4$, для швидкохідних трієрів $L/D = 1,25 \dots 3,75$.

Кутова швидкість обертання циліндра ω , с^{-1} , для тихохідних трієрів:

$$\omega_T = \frac{K_T \cdot \pi}{\sqrt{R}}, \quad (7.2)$$

для швидкохідних трієрів:

$$\omega_B = \frac{K_B \cdot \pi}{\sqrt{R}} \quad (7.3)$$

де K – показник кінематичного режиму трієра ($K_T=0,15\dots0,30$) – для тихохідних трієрів; ($K_B = 0,5 \dots 0,75$) – для швидкохідних трієрів.

Розрахункова робоча площа поверхні трієра F_P , м^2 , визначається за формулою:

$$F_P = G/q \quad (7.3)$$

де G – продуктивність трієра, кг/год ; q – питоме навантаження на 1 м^2 трієрної поверхні, $\text{кг}/(\text{м}^2/\text{год})$; для тихохідних трієрів $q = 125 \dots 185 \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{год})$; для швидкохідних трієрів $q = 400 \dots 1100 \text{ кг}/(\text{м}^2/\text{год})$.

Таблиця 7.1. Питоме навантаження на трієрну поверхню.

Культура	Питоме навантаження кг/(м²/год)
Пшениця	630...1100
Жито	630...1100
Ячмінь	510...580
Овес	380...430
Рис	200...210
Гречка	170
Льон	110
Конюшина, люцерна	80
Тимофіївка	50

Дослідження показують, що продуктивність (при прийнятих відношеннях діаметру і довжини трієра циліндра) прямо – пропорційна площі коміркової поверхні і може бути виражена формулою:

$$Q = q_F \cdot F \quad (7.5)$$

де q_F – питоме навантаження, $\text{кг}/(\text{м}^2/\text{год})$; F – площа коміркової поверхні, м^2 .

Рух зерна по носійній трієрній поверхні.

В обертовому циліндрі з кутовою швидкістю ω частинка, яка не потрапила в комірку, знаходиться під дією сили ваги $G = m \cdot g$, сили інерції $J = m \cdot \omega^2 \cdot R$, нормальної реакції N і сили тертя $T = f \cdot N$. Відносний спокій частинки описується рівняннями (рис. 7.4).

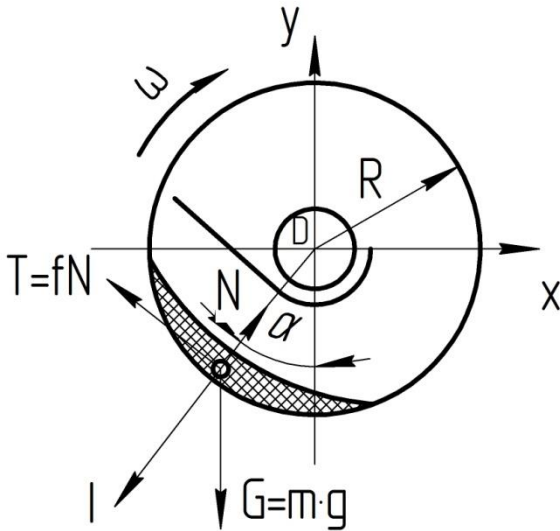


Рис. 7.4. Схема сил, діючих на частинку продукту, що знаходиться на трієрній поверхні.

Відносний спокій частинки описується рівняннями:

$$N = m \cdot \omega^2 \cdot R + mg \cos \omega t \quad (7.6)$$

$$T = f \cdot m \cdot (\omega^2 \cdot R + g \cos \omega t) \quad (7.7)$$

Момент початку відносного руху частинки вниз визначається деяким кутом α , з умови:

$$f \cdot m \cdot (\omega^2 \cdot R + g \cos \alpha_1) = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \sin \alpha_1 \quad (7.8)$$

Підставляючи сюди значення $f = \tan \varphi$, після перетворень знайдемо:

$$\alpha_1 = \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 \cdot R}{g} \sin \varphi\right) \quad (7.9)$$

Критичне число обертів трієрного циліндра, відповідне початку ковзання зернового шару, визначається з рівності:

$$\frac{\omega^2 \cdot R}{g} = \frac{\sin(\alpha_1 + \varphi)}{\sin \varphi},$$

звідки

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot \sin(\alpha_1 + \varphi)}{R \cdot \sin \varphi}} \quad (7.10)$$

Рівняння (7.9) визначає граничне значення кута α , при якому закінчується відносний спокій на поверхні і починається ковзання. Абсолютний рух частинки при ковзанні буде сповільненим, висхідним в бік руху поверхні.

Зворотний рух – в протилежному напрямку руху поверхні циліндра – починається з моменту, коли абсолютна швидкість частинки стане рівною нулю.

Рух частинки, що потрапила в комірку.

Зерно в комірці буде знаходитися в стані відносного спокою в тому випадку, якщо всі сили, що діють на нього і сила інерції, переносного руху будуть врівноважені.

Розглянемо умову рівноваги частинок в комірці (рис. 7.5). За рухому систему координат прийемо $x_1 o_1 y_1$. Рівняння суми сил в проекціях на ці осі будуть:

на вісь x_1 :

$$- J_1 \cos \beta - T_1 + G \cdot \cos[\pi - (\alpha - \beta)] \quad (7.11)$$

або

$$- m \cdot \omega^2 \cdot R \cos \beta - fN + mg[\pi - (\alpha - \beta)] = 0 \quad (7.12)$$

на вісь y_1 :

$$J_1 \sin \beta + N_1 - G \cdot \sin[\pi - (\alpha - \beta)] = 0 \quad (7.13)$$

або

$$m \cdot \omega^2 \cdot R \sin \beta + N_1 + mg \cdot \sin[\pi - (\alpha - \beta)] = 0 \quad (7.14)$$

З рівняння (7.14) знайдемо реакцію N_1 і підставивши в рівняння (7.12) отримаємо:

$$m \cdot \omega^2 \cdot R \cos \beta - fm[g \sin(\alpha - \beta) - \omega^2 \cdot R \sin \beta] + mg \cos(\alpha - \beta) = 0 \quad (7.15)$$

Після нескладних перетворень та підставки $f = \operatorname{tg} \varphi$, отримаємо:

$$\cos(\varphi + \beta - \alpha) = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \cos(\alpha + \beta) \quad (7.16)$$

Звідси визначаємо граничний кут повороту комірки, при досягненні якого частинки випадають з комірки:

$$\alpha_2 = \frac{\pi}{2} + \varphi + \beta + \arcsin \left[\frac{\omega^2 \cdot R}{g} \cos(\varphi + \alpha) \right] \quad (7.17)$$

В сучасних циліндричних трієрах зі штампованими осередками кут β близький до нуля, тому вираз (7.17) спроститься:

$$\alpha_2 = \frac{\pi}{2} + \varphi + \arcsin \left[\frac{\omega^2 \cdot R}{g} \cos \varphi \right] \quad (7.18)$$

Після випадіння з комірки і відриву від поверхні частинка продовжує рух як тіло, кинуте під кутом до горизонту. Початкова швидкість польоту її дорівнює швидкості трієрної поверхні і спрямована по дотичній до неї. Траєкторією руху частинки буде парабола.

Таким чином, знаючи кути α_1 і α_2 , можна розраховувати положення лотка для збору і виведення коротких зерен з трієра.

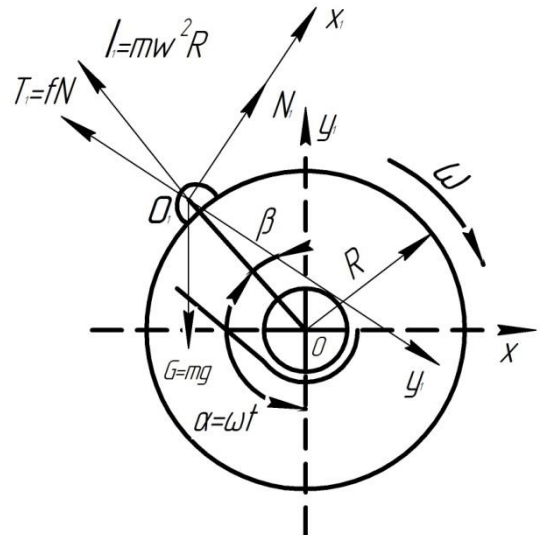


Рис. 7.5. Схема сил, діючих на частинку продукту, рухому в комірці циліндричного трієра

залежить від різниці кутів α_1 і α_2 . Чим більше ця різниця, тим точніше розділення початкової суміші по довжині частинок.

Продуктивність трієра.

Визначається кількістю подаваної в нього за одиницю часу зернової суміші при оптимальному кінематичному режимі і необхідній якості отримання фракцій.

Досвід показує, що найбільший технологічний ефект отримують при певній частоті обертання циліндра. Оптимальна частота обертання трієрного циліндра знаходиться в зворотній залежності від його радіуса і може бути визначена (об / хв) за формулою:

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{K \frac{g}{R}} \quad (7.19)$$

де R – радіус трієрного циліндра, м; K – дослідний коефіцієнт (для тихохідних трієрів $K_T = 0,2 \dots 0,3$; для швидкохідних $K_G = 0,5 \dots 0,6$).

Граничне значення $K_0 = 0,67$, звідки гранична частота обертання циліндра:

$$n_{\max} = \frac{25}{\sqrt{R}} \quad (7.20)$$

Дослідження показують, що продуктивність трієра (при прийнятих відношеннях діаметру і довжини циліндра) прямо пропорційна площі коміркової поверхні і може бути виражена формулою:

$$Q = q_F \cdot F \quad (7.21)$$

де q_F – питома навантаження, кг/(м²·год); (год); F – площа коміркової поверхні, м².

7.3. СЕПАРУВАННЯ В ДИСКОВИХ ТРІЄРАХ.

Збільшення поверхні з комірками, а значить і продуктивності машини досягається шляхом заміни барабана (циліндра) на диски з комірками на поверхні, встановлені паралельно на одному валу.

Дискові трієри випускаються одноторними. Чавунні кільцеподібні диски з комірками на бічній поверхні являються основними робочими органами дискових трієрів. Карманоподібні комірки розташовані по концентричних колах. Диски закріплені на горизонтальному валу і обертаються у вертикальній площині. Нижня частина дисків занурена в зернову суміш. Форма і розмір осередків, швидкість обертання дисків підібрані таким чином, що короткі компоненти оброблюваної суміші захоплюються комірками, піднімаються вгору і при певному куті повороту, який залежить від частоти обертання дисків і коефіцієнта тертя частинок о матеріал диска, випадають з комірок на похилі лотки і виводяться з машини

(рис. 7.6). Довгі компоненти суміші теж захоплюються комірками, але займають в них нестійке положення і випадають з комірок при меншому куті повороту дисків.

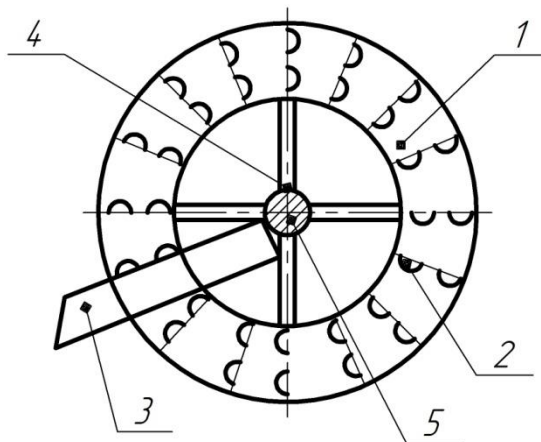


Рис. 7.6. Схема дії дискового трієра:
1 – диск; 2 – комірка; 3 – лоток; 4 – спиця;
5 – вал.

Ефективність роботи трієра залежить від частоти обертання дисків, положення лотка і заслінок, від форми і розмірів комірок, коефіцієнта тертя зернової суміші об поверхню дисків, концентрації, складу домішок та інших факторів. Відмітна особливість процесу сепарування в дискових трієрах – його висока ефективність і порівняно невелика питома продуктивність.

В дискових трієрах комірки на литих дисках розташовуються по концентричних колах. Форма трієрних комірок визначається способом виготовлення, і за цією ознакою вони можуть бути штамповані, фрезеровані і литі. Кількість дисків визначає продуктивність трієра.

Елементи теорії процесу в дисковому трієрі.

Як вже було сказано, робочим органом дискового трієра служить чавунний диск з карманоподібними комірками на бічних поверхнях. Робочий процес в дисковому трієрі полягає в тому, що початкова зернова суміш надходить до початкового диску ротора і за допомогою спиць диска з лопатями пересувається, переходячи через отвори в дисках від одного диска до іншого.

Трієрні диски, проходячи через зернову суміш, викреслюють комірками короткі зерна і викидають їх в лотки, які виводять це зерно з машини.

Крім коротких зерен, в комірки потрапляє і деяка кількість довгих зерен. Але оскільки положення їх центра мас виявляється за поверхнею диска, то випадають з комірок раніше коротких і знову потрапляють в зерновий шар.

Ефективність роботи трієра залежить від частоти обертання дискового ротора, кількості послідовно працюючих дисків (тобто тривалість сепарування), складу початкової суміші, завантаження трієра. Існує граничне значення частоти обертання ротора, вище якого випадіння короткої частинки з комірки буде ускладнено.

Гранична частота обертання диска. Заповнення комірок зернами (рис. 7.7) відбувається в основному в квадраті IV. В квадраті III змінюється орієнтація комірок. При повороті диска на деякий кут α рівновага сил, діючих на зерно, порушується, і воно випадає з комірки на приймальний лоток. Оскільки осередки розташовані на концентричних колах, то кути випадіння зерен різні для кожного кола.

Для визначення граничного значення частоти обертання ротора розглянемо умови рівноваги зерна і комірки диска. На зерно, розташоване в комірці на колі, описаному радіусом R , діють такі сили:

$$G = m \cdot g \text{ — сила ваги;}$$

$$T_1, T_2 \text{ — сила тертя;}$$

$$J = m\omega^2 R \text{ — сила інерції.}$$

Розкладемо силу ваги в площині диска трієра на нормальну і дотичну складові:

$G_H = G \cos \alpha$ — направлена по радіусу диска, що проходить через центр ваги зерна;

$G_k = G \sin \alpha$ — спрямована перпендикулярно до радіуса.

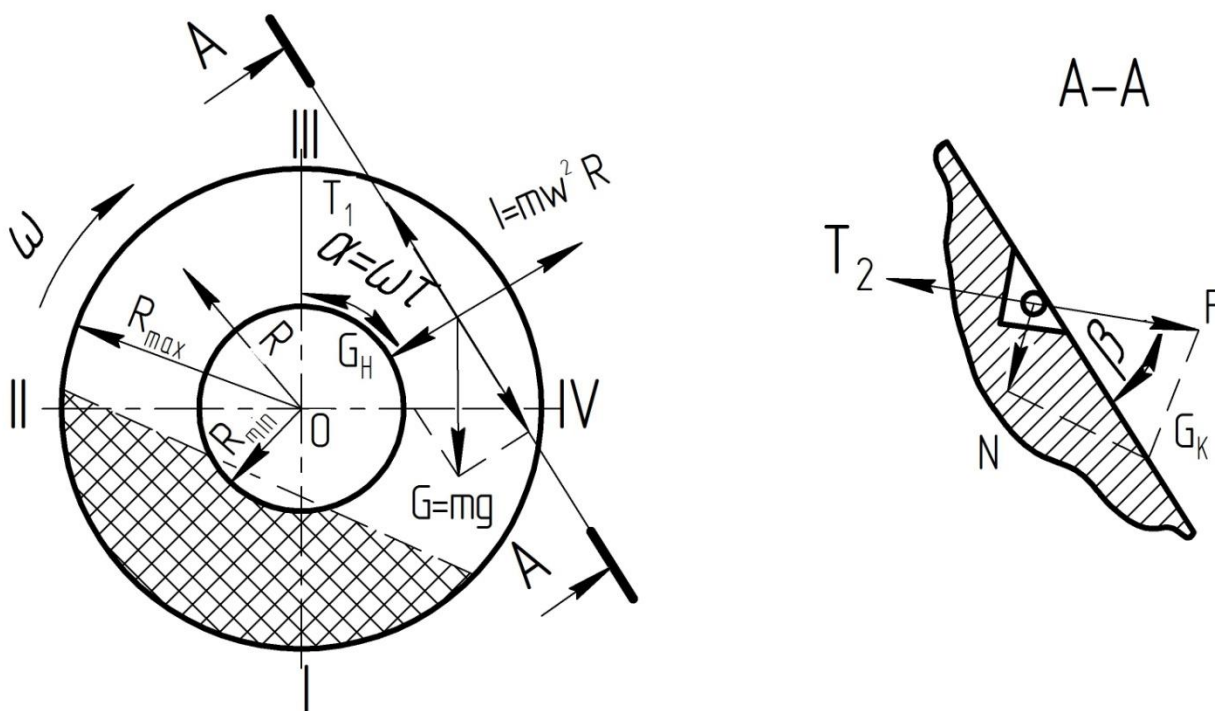


Рис. 7.7. Схема сил, діючих на зерно, що знаходиться в комірці диска трієра.

У напрямку радіусу діють сили J і G_H . Залежно від співвідношення цих сил можливі наступні випадки:

- якщо $J > G_H$, то зерно, що знаходиться в комірці, буде притиснуто до верхньої (зовнішньої) бічної грані комірки;

- якщо $J < G_H$, то зерно буде притиснуто до нижньої (внутрішньої) бічної грані.

Друга складова сили ваги G_k прагне вивести зерно з комірки. Випадіння зерна відбувається в площині А–А, перпендикулярній до площини диска.

У перерізі А–А на зерно діють наступні сили:

$F = G_k \cos \beta$ – складова сили ваги, що виштовхує зерно з комірки і діюча паралельно напрямній поверхні комірки;

$N = G_k \cdot \sin \beta$ – складова сили ваги, що діє перпендикулярно напрямній поверхні комірки.

Таким чином, на зерно, що знаходиться в комірці, діють:

- складова сили ваги: $F = G \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta$;
- сила тертя об бічну поверхню комірки (знак «плюс» відповідає умові, коли $J > G_H$ і знак «мінус», коли $J < G_H$)

$$T_1 = \pm fG \left(\frac{\omega^2 R}{g} - \cos \alpha \right);$$

- сила тертя об напрямну поверхню комірки

$$T_2 = fG \sin \alpha \cos \beta$$

Рівновага зерна в комірці збережеться до моменту, коли сума сил тертя T_1 і T_2 буде дорівнювати складовій сили ваги F , виштовхуючої зерно з комірки. Запишемо рівняння рівноваги частинки в загальному вигляді:

$$fG \sin \alpha \cos \beta \pm fG \left(\frac{\omega^2 R}{g} - \cos \alpha \right) = G \sin \alpha \cos \beta \quad (7.22)$$

Після підстановки $f = \operatorname{tg} \varphi$ в рівняння (7.22) і перетворень отримаємо:

$$\frac{\omega^2 R}{g} = \pm \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\sin \varphi} \sin \alpha + \cos \alpha \quad (7.23)$$

З виразу (7.23) видно, що при постійних величинах β, φ і ω кут α – випадіння зерна з комірки залежить від R .

Для визначення кутів α_B випадіння зерна введемо в вираз (7.23) позначення:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\sin \varphi}$$

Тоді отримаємо:

$$\frac{\omega^2 R}{g} = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma},$$

звідки

$$\alpha_B = \pm [\gamma + \operatorname{arc}(K \cdot \cos \gamma)] \quad (7.24)$$

де $K = \frac{\omega^2 R}{g}$ – характеризує кінематичний режим трієра.

При $K > \cos \alpha$ в формулі (7.23) слід брати знак «плюс» і відповідно при $K < \cos \alpha$ – «мінус». Практика показала, що режим роботи сучасних дискових трієрів охоплює обидва випадки: $K > \cos \alpha$ і $K < \cos \alpha$.

Кут випадіння коротких фракцій для трієрів цього типу знаходяться в межах $\alpha_B = 35 \dots 45^\circ$, що відповідає значенню $\cos \alpha_B = 0,82 \dots 0,71$, тобто ряди комірок, розташовані ближче до осі обертання, підкоряються умові $K < \cos \alpha$, а комірки, віддалені до периферії – умові $K > \cos \alpha$.

З формули (7.24) видно, що при високому кінематичному режимі матиме великий кут випадіння. Зі збільшенням кутової швидкості диска може настати такий момент, при якому випадіння зерен з комірок припиниться.

Граничну частоту обертання ротора визначають з виразу:

$$n_{\text{пр}} \leq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R_{\text{max}}} (\text{tg} \gamma \cdot \sin \alpha_B \cdot \cos \alpha_B)} \quad (7.25)$$

Максимальне значення частоти обертання ротора можна визначити за емпіричною формулою:

$$n_{\text{max}} = 30 \sqrt{\frac{1}{D_{\text{max}}} (0,4 + \frac{1}{f})} \quad (7.26)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання між частинкою і матеріалом комірки диска; D_{max} – діаметр диска, м.

Продуктивність дискового трієра Π (кг/ч) визначається за формулою:

$$\Pi = 2\pi(R_{\text{max}}^2 - R_{\text{min}}^2) \cdot g_F \cdot z \quad (7.27)$$

де R_{max} – радіус диска за зовнішніми комірками, м; R_{min} – радіус диска по внутрішнім коміркам, м; g_F – питоме навантаження, кг/(м²·год); z – кількість дисків.

Дисковий однороторний трієр.

Призначений для виділення з пшениці та жита куколю, битого зерна та інших коротких домішок на зерноочисних відділеннях млинів та елеваторів (рис.7.8).

Трієр складається з корпусу, в якому на підшипниках встановлено вал 6 з набором чавунних дисків 2, на поверхні яких є кишениподібні комірки. Підшипники вала закріплені на двох чавунних боковинах, які кріпляться на корпусі трієра спеціальними стягелями. Для транспортування зерна уздовж машини і його перемішування служать гонки, закріплені на спицях дисків. Заслінка 3, встановлена всередині корпусу, відокремлює диски, що служать для основного відбору домішок із зерна від інших контрольних дисків. Для транспортування домішок, відібраних основними дисками в контрольне відділення конструкцією трієра передбачений шнек або ковшове колесо 4. У

верхній частині корпусу знаходиться приймальний пристрій, що складається з приймальної воронки для зерна і шнека 1, а також отвір для приєднання трієра до аспіраційної системи. У нижній частині корпусу знаходиться люк для видалення осідальних на дно домішок і залишків зерна.

Вал 6 з дисками 2 приводиться в рух від електродвигуна через черв'ячний редуктор. Шнек обертається від основного вала 6 за допомогою пасової передачі.

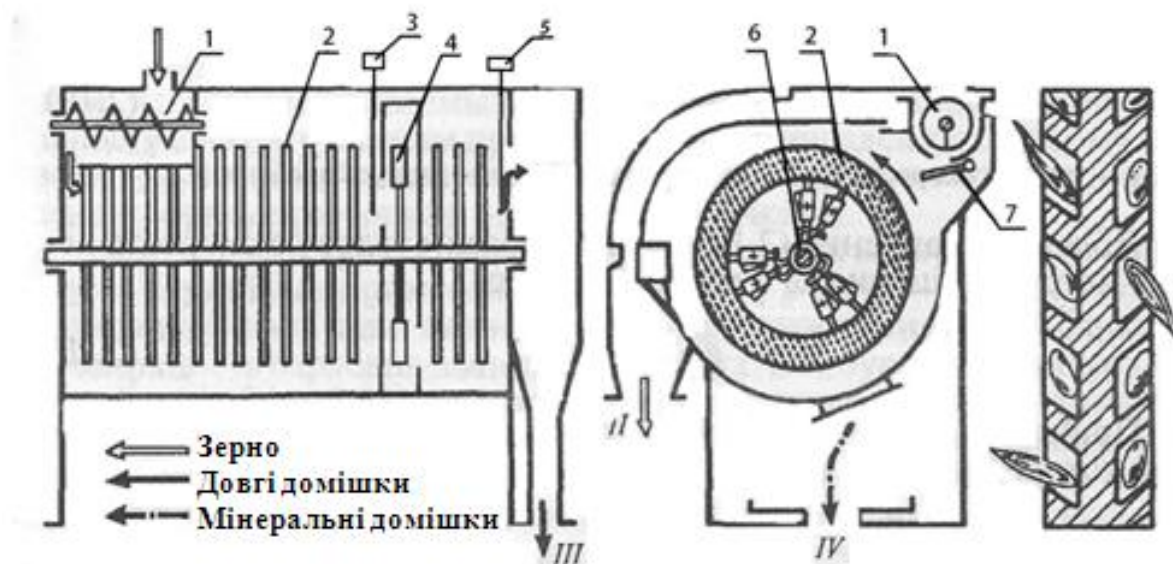


Рис. 7.8. Схема дискового однороторного трієра:

1 – приймальний пристрій; 2 – робочий диск; 3, 5, 7 – заслінки; 4 – ковшове колесо; 6 – вал; I – вихідне зерно; II – очищене зерно; III – довгі домішки; IV – мінеральні домішки.

Зерно, надходячи через приймальну лійку, за допомогою шнека 1, заповнює внутрішній простір між дисками 2. При обертанні дисків 2 в кишенеподібні комірки потрапляють короткі домішки, довжина яких менше розміру комірок. При повороті на деякий кут ці домішки випадають з комірок у відповідні лотки, розташовані між дисками 3, і виводяться з трієра.

Зерно, минувши комірки, транспортується уздовж трієра через отвір в боковині виводиться через вивантажний патрубок. Кількість вихідного зерна регулюють заслінкою 5, встановленою на боковині з внутрішнього боку у вихідного отвору.

7.4. ПОВІТРЯНЕ СЕПАРУВАННЯ

З давніх-давен селяни використовували вітер для очищення зерна від лушпиння. Цей процес називається провіюванням, а пристрої для його здійснення – віялками.

Аеродинамічні властивості частинок зернової суміші характеризуються опором, який надає їхньому руху повітряне середовище. Частинки, що зустрічають більший опір, рухаються щодо повітряного потоку повільніше, ніж частинки, що зустрічають менший опір. Опір, який чинить руху частинки повітряне середовище, залежить від розмірів, форми і стану поверхні частинки матеріалу, його відносної швидкості і розташування, а також від стану повітряного середовища. Таким чином, принцип повітряної сепарації зерна заснований на відмінності в аеродинамічних властивостях компонентів зернової суміші. Розглянемо випадок, коли зерно з домішками падає зверху, а потік повітря спрямований горизонтально (рис. 7.9).

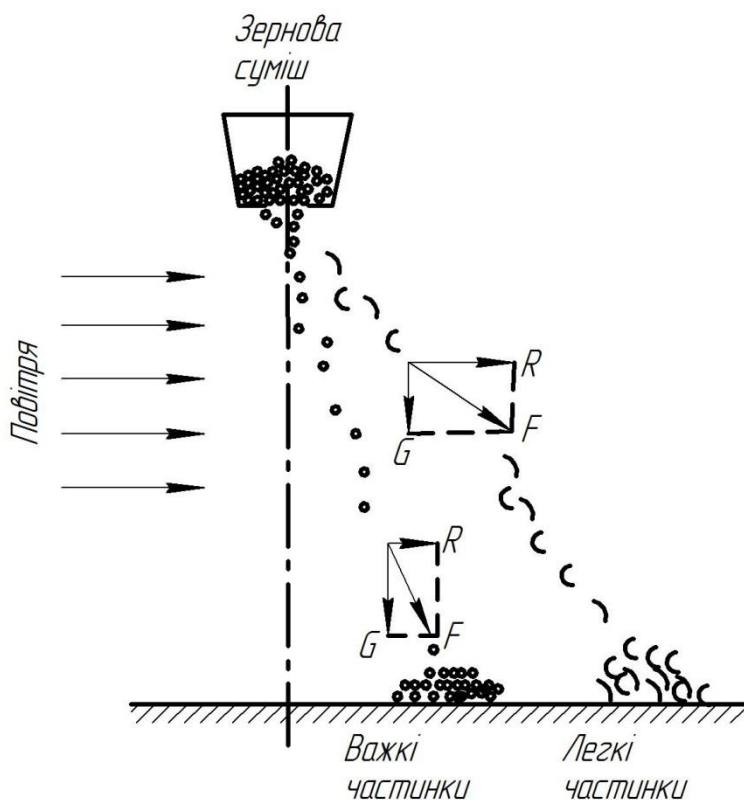


Рис. 7.9. Схема сортування в повітряному потоці, направленому горизонтально.

Рівнодіюча F від складання сил G і R (рис.7.9) спрямована під кутом до горизонту, і чим більше сила G переважає над R , тим крутіше кут падіння частинки. Тому легкі частинки впадуть на горизонтальну поверхню далі, ніж важкі.

Коефіцієнт вітрильності може служити показником аеродинамічних властивостей тіла. Однак якості ознаки розділення зернових сумішей за аеродинамічними властивостями частіше використовують інший показник – **критичну швидкість**, яка має більш простий фізичний зміст і може бути визначена безпосередніми вимірами.

На кожен окрему частинку діють дві сили:

$$G = mg \text{ – сила ваги;}$$

R – сила, що уносить частинку разом з потоком.

Чим більше сила R , тим більше прискорення повідомить вона частинці і тим далі відноситься така частинка повітряним потоком.

Прискорення, яке повідомляє частинці зернової суміші сила R , визначається виразом:

$$j = \frac{R}{m} \cdot k_{\Pi} \cdot v^2 \quad (7.28)$$

де v – відносна швидкість частинки, м/с; k_{Π} – коефіцієнт вітрильності, $k_{\Pi} = k_r F/m$.

Якщо в вертикальний повітряний потік (рис. 7.10) помістити кілька частинок зернової суміші, то кожна з них буде перебувати під дією сили ваги G , прикладеної до центру ваги, і сили опору R , що дорівнює підйомній силі повітряного потоку при русі частинки вгору або динамічному опору повітряного середовища при русі частинки вниз.

При турбулентному русі повітряного потоку, наприклад в пневмосепарувальних каналах, сила опору в основному залежить від динамічного впливу потоку на частинку і визначається за формулою Ньютона:

$$R = \frac{\xi F_M \rho v_0^2}{2} \quad (7.29)$$

де ξ – коефіцієнт аеродинамічного опору; F_M – площа проекції частинки на площину, нормальну до вектору відносної швидкості V_0 (менделєєв переріз), m^2 ; ρ – густина повітря, kg/m^3 ; v_0 – відносна швидкість обтічної частки, m/s .

Величина коефіцієнта ξ залежить від форми частинки, стану її поверхні і режиму потоку, тобто від величини критерію Рейнольдса (R_e)

$$R_e = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (7.30)$$

де v – швидкість, m/s ; l – довжина, m ; ν – кінематична в'язкість, m^2/s .

У вертикальному висхідному потоці повітря сили ваги і сили опору, що діють на частинку, завжди спрямовані в протилежні боки, в зв'язку з чим існує три можливі випадки (рис. 7.10):

1. $R_1 > G_1$ – частинка рухається вгору;
2. $R_2 = G_2$ – частинка знаходиться в рівновазі з потоком;
3. $R_3 < G_3$ – частинка рухається вниз.

Таким чином, відношення R/G визначає напрямок руху частинки і свідчить про можливість розділення частинок повітряним потоком.

У випадку $R/G = 1$ відносна швидкість частинки дорівнює абсолютній швидкості повітряного потоку, але спрямована в протилежний бік.

Швидкість, при якій частинка знаходиться у завислому стані, називають **швидкістю витання** або **критичною швидкістю**:

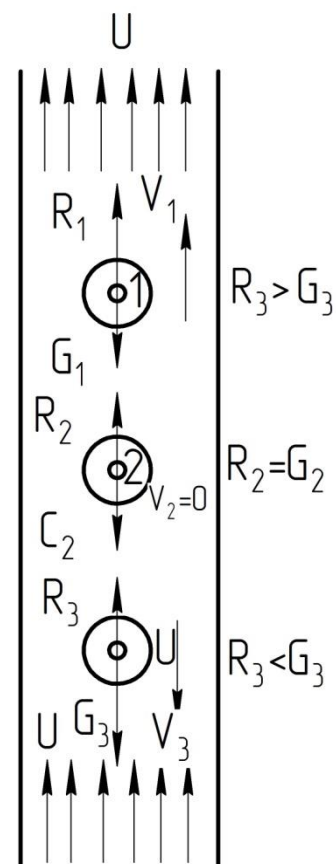


Рис. 7.10. Розподіл зернової суміші за швидкостями витання часток:

v_1 – абсолютна швидкість частинки; U – швидкість повітряного потоку.

$$v_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{2G}{\xi \rho F_M}} \quad (7.31)$$

Слід підкреслити, що швидкість витання, яка визначається формулою (7.31), відноситься до поодинокі частинки, що знаходиться в потоці, без впливу на неї сусідніх частинок.

Для всіх не кулястих частинок (зокрема, для зерен пшениці, жита, ячменю) значення швидкості витання може бути різним у залежності від орієнтування зернівки в потоці.

Середнє значення швидкості витання різних культур наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Швидкість витання різних культур

Найменування культури	$v_{\text{вит}}, \text{ м/с}$	Найменування культури	$v_{\text{вит}}, \text{ м/с}$
Пшениця	8,6...11,5	Гречка	7,8...8,9
Крупка пшениці	2,0...2,2	Просо	7,5...8,8
Оболонки зернівок	0,4...0,8	Горох	15,5...15,8
Жито	8,5...10,5	Соняшник	7,5...8,5
Ячмінь	8,8...10,8	Кукурудза	12,5...14,5
Овес	7,5...10,5	Конопля	7,5...8,5

При розташуванні зернівки поздовжньою віссю у напрямку потоку, швидкість витання буде найменшою і навпаки, тобто вона залежить від площі меделєєва перерізу.

Різні швидкості витання компонентів суміші служать показником можливості їх поділу. Чим більше різниця між значеннями швидкостей витання компонентів, тим точніше може бути розділення даної суміші.

Для розділення суміші на дві фракції частинок, що відрізняються між собою значеннями швидкостей витання, наприклад $v_1 > v_2$, необхідно підібрати швидкість U повітряного потоку так, щоб вона перебувала між значеннями зазначених швидкостей витання:

$$v_1 < U < v_2 \quad (7.32)$$

Для повного поділу легкороздільної суміші необхідно, щоб швидкість повітряного потоку дорівнювала напівсумі швидкостей витання:

$$U = 0,5(v_1 + v_2) \quad (7.33)$$

де v_1 – максимальна швидкість витання частинок першого компонента, м/с; v_2 – мінімальна швидкість витання частинок другого компонента, м/с.

Оцінка показників процесу повітряного сепарування.

Технологічний ефект процесу пневмосепарування залежить від наступних основних параметрів:

- питомого навантаження;
- рівномірності швидкісного поля повітряного потоку в робочій зоні пневмоканала;
- рівномірності подачі початкового матеріалу;
- швидкості введення початкового матеріалу;
- швидкості повітряного потоку.

Величина навантаження, обчислюваного в кг/год на 1 м² перерізу каналу, залежить від об'ємної маси початкового матеріалу. Чим більше об'ємна маса, тим більше зернове навантаження можна дати пневмосепаруючому пристрою при отриманні того ж заданого технологічного ефекту. При цьому необхідно мати на увазі, що з підвищенням питомого зернового навантаження ефект розділення і чіткість сепарування погіршуються.

Встановлено, що з підвищенням середньої швидкості повітря зростає ступінь очищення зерна від дрібних домішок, проте при цьому різко збільшується винесення повноцінного зерна в легку фракцію, тобто знижується чіткість сепарування.

Тому при налаштуванні режиму роботи пневмосепаруючого пристрою необхідно звертати увагу на підбір середньої швидкості повітряного потоку. Критерієм такого підбору може служити припустимий вміст повноцінного зерна і легкої фракції.

7.5. ГІДРАВЛІЧНЕ СЕПАНУВАННЯ

Гідравлічне сепарування широко використовується в спиртовому, цукробуряковому і крохмале-патоковому виробництвах для відділення піску, камінчиків, частинок ґрунту та інших домішок з картоплі, буряка, моркви. В консервному виробництві використовується для сортування зеленого горошку і зерен кукурудзи, які, в залежності від ступеня зрілості, мають різну щільність.

Розглянемо роботу гідравлічного сепаратора-відстійника для сортування зерен кукурудзи з різною стиглістю (рис.7.11).

Зерно, яке підлягає сепаруванню, через бункер 2 надходить в ємність 1, яка через патрубок 2 заповнена розчином. Недостигле зерно кукурудзи 7 спливає вгору і виводиться з сепаратора через патрубок 4. Перестигле зерно, яке має більшу щільність, осідає в нижній частині апарату. Час перебування зерен кукурудзи в сепараторі – не менш 15 с. Потім потоки легкої і важкої

фракцій направляються на ситові барабани, де від них відділяється розчин і дрібні домішки.

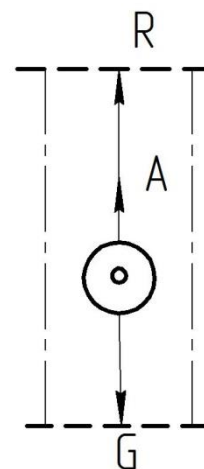
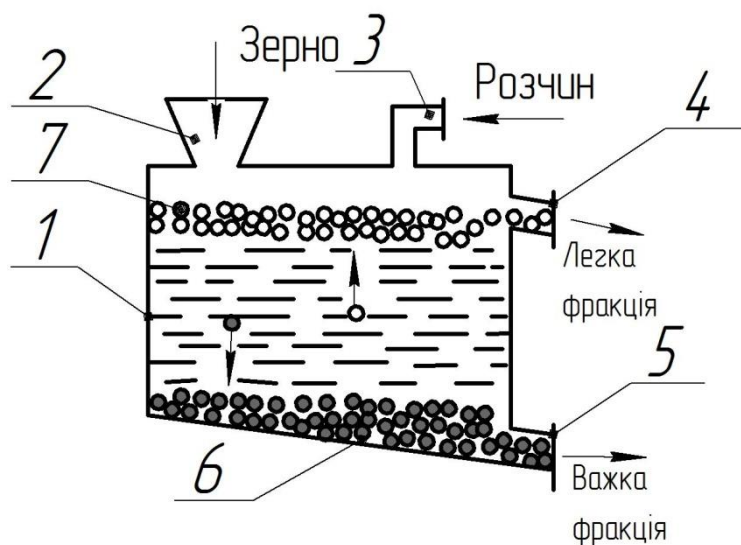


Рис. 7.11. Схема гідралічного сепаратора-відстійника: 1 – ємність; 2 – завантажувальний бункер; 3 – патрубок для подачі розчину; 4 – патрубок вивантаження легкої фракції; 5 – патрубок вивантаження важкої фракції; 6 – перестигле зерно; 7 – недостигле зерно.

Рис. 7.12. Сили, діючі на осаджувальну частинку

Розглянемо деякі закономірності процесу гідралічного сепарування.

Нехай на кулясту тверду частинку, яка осаджується у в'язкому середовищі діють наступні сили (рис. 7.12):

Сила ваги (H), що залежить від щільності та об'єму частинки:

$$G = \rho_4 \frac{\pi d^3}{6} g \quad (7.34)$$

де ρ_4 – густина частинки, кг/м^3 ; d – діаметр кулястої частинки; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Піднімальна сила Архімеда (H):

$$A = \rho_c \frac{\pi d^3}{6} g \quad (7.35)$$

де ρ_c – густина середовища, кг/м^3 .

Сила в'язкого тертя (H) (опір середовища), яка спрямована проти руху частинки і визначається за законом Ньютона:

$$R = \frac{\xi F \omega_{ос}^2}{2} \quad (7.36)$$

де ξ – коефіцієнт гідралічного опору, що залежить від форми частинки, якості її поверхні і властивостей середовища; F – площа менделеева перерізу (проекція на площину, перпендикулярну до напрямку частинки вниз – швидкість осадження, м/с).

Складемо умови рівноваги для рівномірного руху частинки:

$$G = A + R$$

$$\rho_4 \frac{\pi d^3}{6} g = \rho_c \frac{\pi d^3}{6} g + \xi F \rho_c \frac{\omega_{oc}^2}{2} \quad (7.37)$$

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_4 - \rho_c) = \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \rho_c \frac{\omega_{oc}^2}{2} \quad (7.38)$$

Вирішуючи рівняння (7.38) щодо ω_{oc} , отримаємо

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_4 - \rho_c)}{3\rho_c\varepsilon}} \quad (7.39)$$

Гідравлічне сортування може здійснюватися і в потоці рідини з використанням динамічного впливу потоку на частинку, як і при пневматичному сепаруванні. Схема гідравлічного сепаратора показана на рис. 7.13.

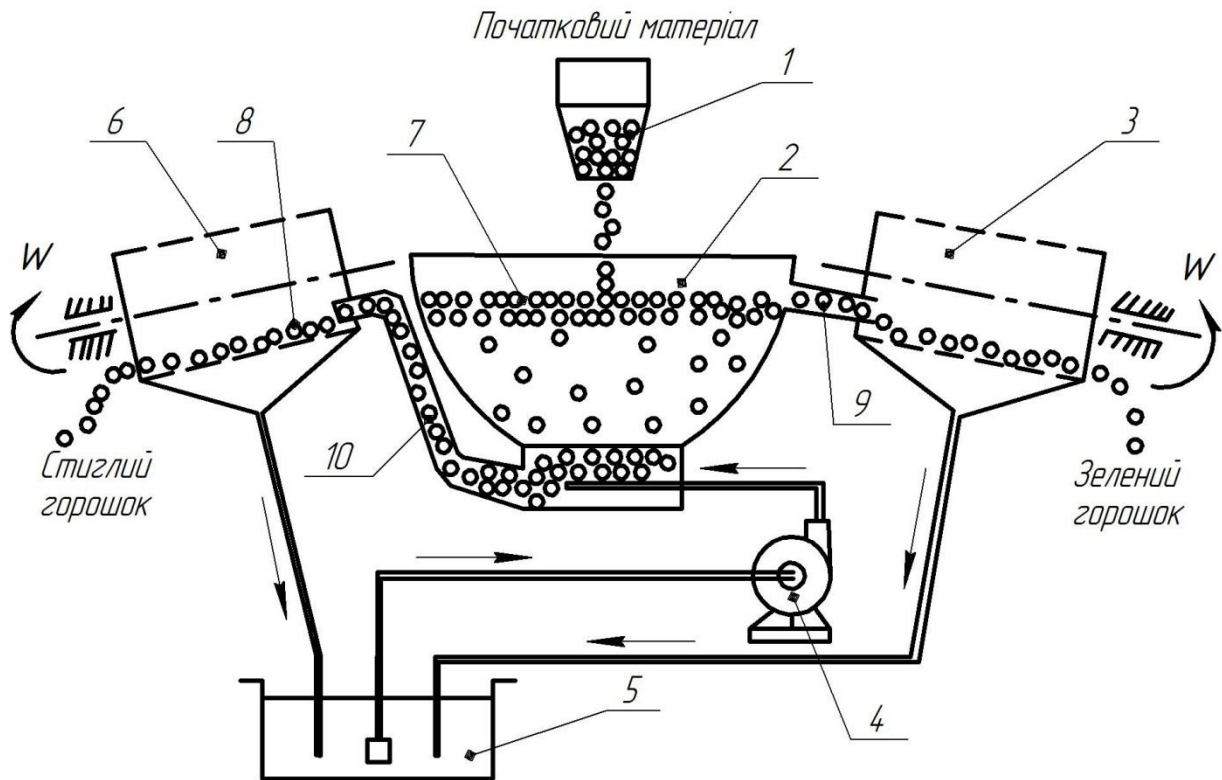


Рис. 7.13. Схема гідравлічного сепаратора:

1 – бункер; 2 – ванна з розчином солі; 3 – сітчастий барабан для відділення легкої фракції; 4 – циркуляційний насос; 5 – збірник соляного розчину; 6 – сітчастий барабан для відділення важкої фракції; 7 – зелений горошок; 8 – стиглий горошок; 9 – патрубок для зеленого горошку; 10 – трубопровід для стиглого горошку.

Внаслідок значних сил тертя швидкість руху частинки невелика, тому для збільшення продуктивності ділянки гідравлічного сепарування, будують

апарати, що займають великі об'єми і площі виробничих приміщень і майданчиків.

Початковий матеріал, в даному випадку суміш зеленого і стиглого горошку, завантажується в бункер 1. З бункера суміш надходить в ванну 2, заповнену розчином солі NaCl. Горошок молочної (консервної) зрілості 7 з щільністю близько $\rho_r = 1020 \text{ кг/м}^3$ спливає на поверхню розчину кухонної солі, яка має густину $\rho_p = 1020 \text{ кг/м}^3$. Далі зелений горошок з поверхні розчину у ванні 2 відводиться з частиною розчину солі через патрубок 9 в сітчастий барабан 3 для відділення легкої фракції. При обертанні барабана за рахунок відцентрової сепарації розчин кухонної солі відділяється від горошку, а сам зелений горошок транспортується по похилому перфорованому барабану і після виходу з нього надходить на мийку і консервацію.

Другий потік зі стиглим горошком осідає в нижній частині апарату і потрапляє під гідравлічний потік розчину кухонної солі, створюваного відцентровим насосом 4. Зрілий горошок захоплений потоком розчину і транспортується по трубопроводу 10 в сітчастий барабан 6 для відділення важкої фракції. У нижній частині апарата розташований збірник солоного розчину 5. До збірника за допомогою трубопроводів відводиться розчин від перфорованих барабанів 3 і 6. Зі збірника також відбувається забір солоного розчину відцентровим насосом, який крім транспортування стиглого горошку ще й підтримує рівень розчину у ванні.

7.6. МАГНІТНЕ СЕПАРУВАННЯ

Характеристика робочого процесу

Магнітне сепарування – розділення неоднорідних сипких систем за ознакою відмінності магнітних властивостей компонентів; використовується для вилучення з них металомагнітних домішок.

У зерновій суміші, що надходить для переробки на борошномельні, круп'яні та комбікормові заводи, можуть траплятися металеві домішки, які можуть пошкодити робочі органи машин (сепараторів, оббивальних машин, вальцьових верстатів, розсійників), а також призвести до утворення іскор, небезпечних в пожежному відношенні.

Металомагнітні частинки в складі сипких продуктів бувають як малих, так і великих розмірів. Частинки малих розмірів – це ошурки, продукти зносу тертьових деталей, окалина трубчастих нагрівачів. Металомагнітні частинки великих розмірів потрапляють в перероблюваний продукт внаслідок розгвинчування різьбових з'єднань машини в процесі роботи, полумок машин: вони можуть надходити в зерновий ворох з полів при збиранні

врожаю внаслідок випадкового падіння в продукт при його зберіганні, навантаженні і транспортуванні.

В основі процесу магнітної сепарації лежить різниця в магнітних властивостях компонентів суміші, що зумовлює перевищення магнітної сили над механічними силами, що діють на металомагнітні частинки в робочому полі сепаратора.

Сутність процесу полягає в тому, що із загального потоку рухомої суміші виділяються металомагнітні частинки, які переміщуються під дією магнітного притягання поперек рухомого шару сипкого матеріалу (аж до контакту з магнітом) і утримуються до моменту спрямованого видалення їх з робочої зони.

Ефективність вилучення металомагнітних домішок залежить від двох елементів процесу:

- уловлювання магнітом металомагнітних частинок з продуктів;
- утримання металомагнітних частинок на магніті – тобто здатність частинок протистояти рухомому продукту.

Таким чином, основна мета виділення великих металевих включень – захист машин від поломок при їх попаданні в робочі органи. Для цього прийнято встановлювати пристрої магнітного сепарування на вході в будь-яку машину, що надає силовий вплив на перероблюваний продукт. Вміст дрібних металевих включень нормується санітарними вимогами до продуктів, і тому очищення від них служить обов'язковим елементом технології виготовлення сипких продуктів харчування.

Сепаратори з постійним магнітом.

Порівняно легко виділити із зернової суміші так звані металомагнітні домішки (сталь, чавун, нікель, кобальт) за допомогою магнітних сепараторів.

Постійні магніти (підкови) і зібрані з них магнітні сепаратори (колонки) повсюдно використовують на зернопереробних підприємствах. В основному це магнітні сепаратори з гравітаційним транспортуванням очищеного продукту в магнітному полі. При цьому способом витягнені з продукту металомагнітні домішки нерідко зносяться, «змиваються» потоком продукту. Витягнена домішка (частинки) знаходяться під дією двох сил – утримувальної сили магніту F_M і змивальною силою потоку F_{CM} .

1. **Утримувальна сила** магніту або сила притягання магнітних полюсів прямо пропорційна квадрату щільності магнітного потоку, який визначається числом магнітних силових ліній, що припадають на 1 см^2 поверхні полюса магніту.

Магнітною силою магніту або електромагніту називається сила, з якою даний магніт здатний утримати вантаж. У сепараторах зазвичай застосовують

підковоподібні магніти, що дозволяють використовувати магнітний потік обох полюсів.

Піднімальну силу P_S (кг) таких магнітів можна визначити за такою формулою:

$$P_S = \left(\frac{B}{5000} \right)^2 \cdot S \quad (7.40)$$

де B – магнітна індукція, гаус; S – поперечний переріз магніту, m^2 .

Якщо магніт підковоподібний, сила його подвоюється. У магнітних апаратах замість постійних магнітів зі сталі, легованої хромом, молібденом, кобальтом, широко застосовують магніти зі спеціальних сплавів (Алні, Алніко, магніко), окисно-барієві магніти, які мають високу магнітну характеристику.

2. Змивальна сила потоку визначається співвідношенням сил: F_{CM} – сили змивання частинки потоком F_M – утримувальної здатності магніту.

При змиванні феромагнітної частинки сипким матеріалом можуть мати місце два різних механізми.

За першим механізмом частинка зрушується потоком вздовж площини полюса магніту під дією сил лобового опору потоку і тертя об поверхню, залежить від маси і сили магнітного притягання частинки. Цей процес може припинитися, якщо частинка потрапляє в область, де магнітні силові лінії густіше і сила притягання магніту збільшується.

Другий механізм «змивання» реалізується в будь-якому випадку, коли сила лобового опору, яка відриває частинку від магніту, перевершує силу магнітного притягання. Цей механізм особливо помітний, якщо на поверхні магнітів осіло так багато частинок, що вони почали утворювати другий і більш високі шари (почали поростати «сталагміти» або «борода»). При цьому питомі сили $F_{уд}$ магнітного утримання кожної наступної частинки сталагміта зменшуються пропорційно їх віддаленості H від поверхні магніту ступеня n і описується емпіричним виразом, який справедливий тільки для конкретних магнітних блоків:

$$F_{уд} = \frac{F_M}{m} = \frac{A}{h^n} \quad (7.41)$$

де $F_{уд}$ – питома сила притягання (Н/кг); m – маса частинок, кг; A і n – постійні для конкретного магнітного блоку; h – поточна відстань до магніту, мм.

Щоб краще утримати вловлені металомагнітні домішки, робочий орган магнітного сепаратора зроблений у вигляді сходинок, під які зміщуються ці домішки.

Конструкція сепаратора з постійними магнітами (рис. 7.14)

Корпус 1 сепаратора являє собою зварний короб з отворами для приймання і випускання продукту. У передній стінці корпусу розташований люк, що закривається кришкою 8. Для запобігання виділенню пилу встановлені прокладки 7. У середині корпусу змонтовані осі 5 і 10. На них розташовані магнітотримач 3 і обмежувач 2. Ребро 12 для спрямування потоку продукту на площину блоку магнітів і напрямні накладки 6 кріплять до корпусу сепаратора.

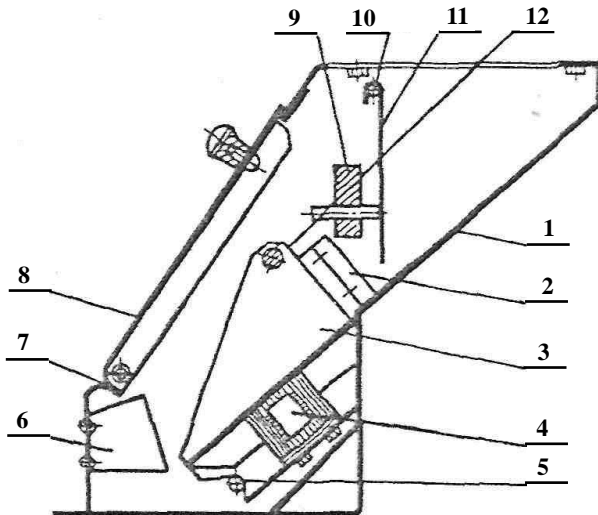


Рис. 7.14. Магнітний сепаратор:

- 1 – корпус; 2 – обмежувач;
- 3 – магнітотримач; 4 – блок магнітів;
- 5, 10 – осі; 6 – накладки; 7 – прокладка;
- 8 – кришка; 8 – вантаж; 11 – заслінка;
- 12 – ребро.

Магнітні сепаратори розглянутої конструкції потребують періодичного очищення від витягнутих ним металоманітних частинок. При великій зоні їх концентрації в сипкому матеріалі це може стати нездоланною перешкодою для застосування даних сепараторів.

Електромагнітні сепаратори.

Забезпечують рівномірну регульовану подачу продукту з невеликою швидкістю при постійній товщині шару, а автоматичне очищення гарантує регулярність зняття з магнітів металоманітних домішок.

Металеві предмети (магнітні) притягуються до барабана через транспортерну стрічку, що обгинає барабан. Сировина 5 з транспортера сходить в бункер 3, а металеві домішки 6 скидаються з нижньої гілки транспортера, після сходу її з барабана, де дія магніту припиняється, в похилий лоток 7.

Магнітотримач являє собою кронштейн з вставленим в нього блоком магнітів 4. Магнітотримач виконують знімним для зручності очищення магнітів: його можна вийняти через люк корпусу, а потім знову встановити по напрямним накладкам. Магнітний блок являє собою шість плоских магнітів, зібраних в комплект.

Відмітна особливість магнітного сепаратора – заслінка 11, являє собою зварений кронштейн, вільно висний на осі 10. Заслінка забезпечує рівномірну подачу продукту. Залежно від кількості продукту кут нахилу заслінки регулюють вантажем 9.

В електромагнітних сепараторах густина магнітного потоку залежить від сили струму живильної котушки. Сепаратори, що мають сильне магнітне поле встановлюють під стрічкою транспортера 2. Електромагніти змонтовані в тяговому барабані 1 стрічкового транспортера. Сталеві диски 4, які складуть барабан, розділені між собою котушками, покритими по периферії латунними кільцями. Котушки послідовно включені в ланцюг постійного струму напругою 120 В.

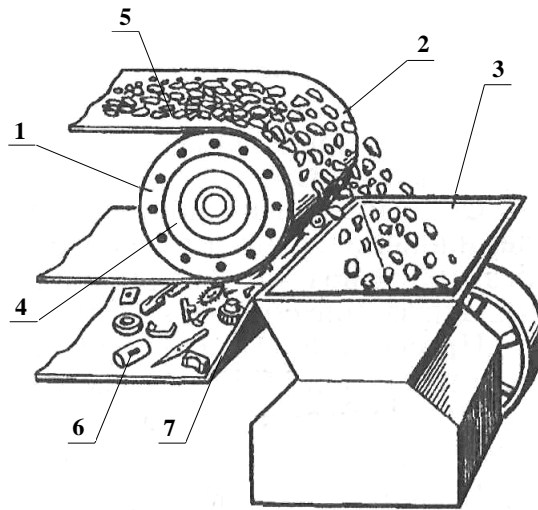


Рис. 7.15 Схема роботи електромагнітного сепаратора:

1 – тяговий барабан стрічкового транспортера; 2 – стрічка транспортера; 3 – бункер для збору сировини; 4 – диск барабана; 5 – сировина; 6 – металеві домішки; 7 – похилий лоток.

7.7. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ МАГНІТНОГО СЕПАРУВАННЯ

Розглянемо процес магнітного сепарування зерна в сепараторі гравітаційного типу з нижнім розташуванням магнітів. Процес сепарування складається з двох стадій: проходження магнітної частинки до магнітного полюса і утримання її від змивання потоком продукту.

Проходження металомагнітної частинки до магнітного полюса.

Перша стадія та її ефективність визначається часом осадження металомагнітних домішок з M_0 на поверхню магніту (рис. 7.16)

Для визначення часу осадження металомагнітної домішки розглянемо модель процесу, що враховує дію гравітації, магнітних сил і сил опору середовища.

По площині, нахиленій по горизонталі під кутом α , рухається потік очищеного від металомагнітних домішок продукту товщиною H з середньою швидкістю u . Під днищем товщиною δ розташоване джерело магнітного поля.

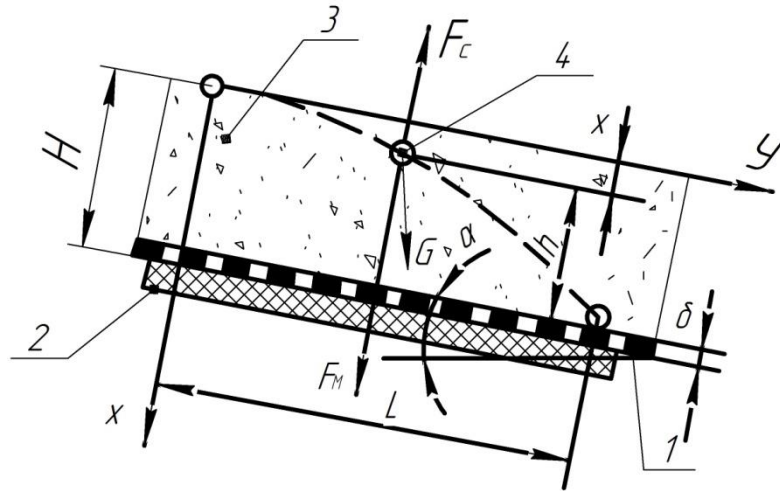


Рис. 7.16. Схема сил, діючих на частинку металомагнітної домішки, осаджувану через шар сипкого продукту:

1 – днище сепаратора; 2 – постійні магніти; 3 – шар очищеного від металомагнітних домішок продукту; 4 – металомагнітна частинка.

На частинку формою кулі радіуса r , співвимірною з частинками середовища, діють наступні сили: $G = mg$ – сила ваги; F_M – сила притягання до магніту; F_C – сила опору середовища.

Частинка, що знаходиться на поверхні потоку за час осадження T проходить шлях L в напрямку осі X і шлях $H - r$ в напрямку осі Y .

Диференціальне рівняння руху металомагнітної частинки до поверхні магніту через шар потоку продукту має вигляд:

$$m \frac{d^2X}{d\tau^2} = mg \cos \alpha + F_M - F_C \quad (7.42)$$

Силу магніту F_M та її значення визначається експериментально емпіричною формулою:

$$F_M = \frac{mA}{(H-r-\delta)^n} \quad (7.43)$$

де A і n – експериментальні коефіцієнти.

Сили опору середовища прийняті пропорційно товщині шару продукту H і складової швидкості $\frac{dx}{d\tau}$ частинки в напрямку осі x в наступному вигляді:

$$F_C = KmH \frac{dx}{d\tau} \quad (7.44)$$

де K – коефіцієнт опору очищеного продукту; m – маса частинки, кг; $\frac{dx}{d\tau}$ – швидкість руху середовища; $\frac{dx}{d\tau} = V$, м/с.

Для зернового потоку в області параметрів, характерних для умов виробництва, $K = 280 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Зважаючи сказане, рівняння (7.42) можна переписати у вигляді:

$$\frac{d_2x}{d\tau^2} = g \cos \alpha + \frac{A}{(H-r-\delta)^n} - KH \frac{dx}{d\tau} \quad (7.45)$$

Вирішуючи рівняння (7.45) чисельними методами, отримаємо формулу:

$$T = H^{2,28+0,38n} (A^{-0,5} + 0,247 \cdot KA^{-0,93}) \quad (7.46)$$

де H – товщина слоя, м; T – время осаждения металломагнитной примеси, с; K – коэффициент сопротивления очищенного продукта.

Утримання металомагнітної частинки від змивання потоком продукту.

Друга стадія – змивання або утримування металомагнітної частинки на поверхні магнітного екрану – вивчена в основному експериментально. Визначається вона співвідношенням величини змивальної сили потоку і утримувальної здатності магніту.

Умови змивання металомагнітної частинки розглядаються як умови зсуву вздовж поверхні магнітного екрану і визначається нерівністю:

$$F_{cm} \geq mf \left[g \cos \alpha + \frac{A}{(r+\delta)^n} \right] \quad (7.47)$$

де f – коефіцієнт тертя металомагнітної частинки по магнітному екрану.

Умови зриву частинки можна визначити за формулою:

$$F_{cp} \geq \frac{A}{(r+\delta)^n} \quad (7.48)$$

Однак, сходинки на днище дозволяють запобігти зриву змитих під сходинку частинок. Якщо потрібно збільшити пропускну здатність магнітного сепаратора з мінімальним прирощенням змивальної сили, слід збільшити товщину шару, не змінюючи швидкості потоку.

Підвищення швидкості потоку для збільшення пропускну здатності сепаратора може призвести до зростання змивальної сили, що в свою чергу, призведе до зниження технологічного ефекту сепарації.

Сепаратори з автоматичним виносом виділених частинок

Тривалість ефективної роботи магнітного сепаратора (час, протягом якого змивання феромагнітних частинок сипким потоком ще не має місця) залежить від витрати очищеного продукту, концентрації і розмірів виділюваних частинок, сумарної довжини периметрів полюсів магнітів. Як показують розрахунки, час ефективної роботи сепаратора коливається в широких межах і при великих концентраціях феромагнітних частинок може становити 1 ... 5 хв. Ручне очищення магнітних полюсів із зупинкою обладнання в цих умовах практично неможлива. Радіальний спосіб

вирішення даної проблеми – створення магнітних сепараторів, які виносять виділювані частинки з потоку очищуваного матеріалу. В цьому випадку змивання виділених часток виключається, а ефективність сепарування може бути значно збільшена.

Сепаратор з діамагнітним циліндром (рис. 7.17) складається з бункера 3, куди надходить початковий продукт, обертового діамагнітного циліндра 2, в якому знаходиться нерухомий магнітний напівциліндр 1 і збірника 5, розділеного на два відсіки.

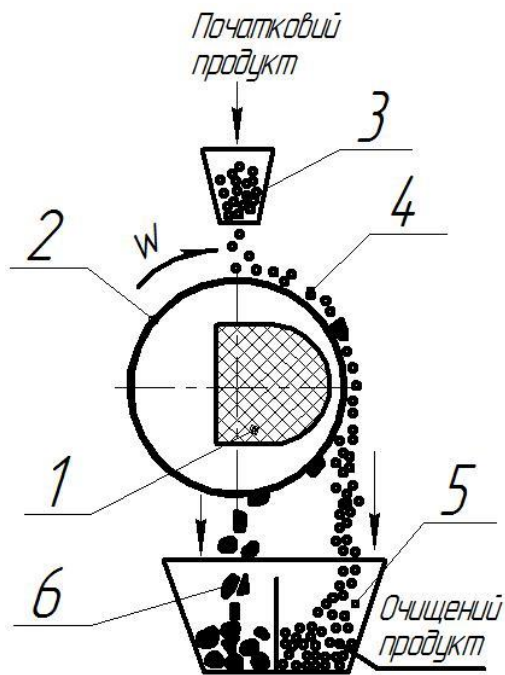


Рис.7.17. Схема сепаратора з діамагнітним циліндром:

1 – магнітний напівциліндр; 2 – діамагнітний циліндр; 3 – бункер для початкового продукту; 4 – розділюваний продукт; 5 – збірник для очищеного продукту і феромагнітних частинок; 6 – феромагнітні частинки.

Обертовий в потоці сипкого матеріалу діамагнітний циліндр за допомогою магнітного напівциліндра виділяє з початкового продукту феромагнітні частинки, які приймають до зовнішньої поверхні діамагнітного циліндра. Циліндр переміщує виділені феромагнітні частинки в нижню ліву частину сепаратора. Тут в результаті зникнення магнітного притягання феромагнітні частинки падають в лівий відсік збірника 5. Очищений продукт надходить у правий відсік збірника.

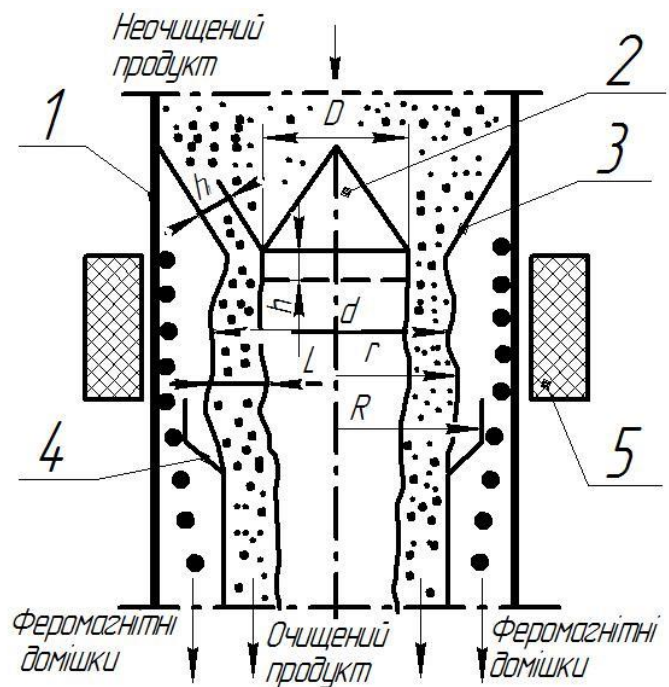


Рис. 7.18. Схема електромагнітного сепаратора з автоматичним

винесенням феромагнітних частинок: 1 – циліндричний патрубок; 2 – конус для спрямування продукту; 3 – конічна напрямна продукту; 4 – збірник очищеного продукту; 5 – трифазний електромагніт.

Електромагнітний сепаратор з автоматичним винесенням феромагнітних частинок (рис. 7.18). Конструкція сепаратора складається з циліндричного корпусу-патрубка 1, конуса для направлення продукту 2, конічної напрямної очищеного продукту 3, конічного збірника очищеного продукту 4 і трифазних електромагнітів 5.

Очищений потік сипкого продукту надходить в циліндричний корпус-патрубок 1. Корпус 2 і конічна напрямна 3 регулює його витрату і формує з нього кільцевий шар продукту, що протікає через магнітне поле, створюване обмотками статора 5. Після очищення продукт потрапляє в конічний збірник 4 і видаляється з очисного пристрою. Феромагнітні частинки виводяться з сепаратора шляхом періодичного відключення електромагнітів.

За час руху частинок продукту через робочу зону в вертикальному напрямку магнітні домішки повинні переміститися під дією магнітних сил в радіальному напрямку на відстані не менше:

$$S = R - r + L \quad (7.49)$$

Радіуси R (розмір приймальної частини збірника очищеного продукту) і r (зовнішній розмір рухомого неочищеного продукту) задаються конструктивними міркуваннями. Зазор між конусами 2 і конічної напрямної h_1 і висота підйому піднімаючого конуса h регулює витрату продукту через очисний пристрій. Товщина кільцевого потоку L залежить від розмірів h_1 і h . Параметри h_1 і h визначаються виразами, що відображають умову сталості площі поперечного перерізу висипаного продукту.

Прискорення a руху магнітної частинки масою m в радіальному напрямку під дією електромагнітної сили F визначається другим законом Ньютона: $F = ma$

Контрольні питання до теми 7

1. Для яких цілей застосовуються трієри?
2. Які трієри називаються кукільними?
3. Які трієри називаються вівсюжними?
4. Як влаштований циліндричний трієр?
5. Що є основним робочим органом трієра?
6. Які конструкції трієрів ви знаєте?
7. За якими ознаками розділяють початкову суміш на фракції в трієрах?
8. Від чого залежить ступінь розділення зернової суміші на циліндричних трієрах?
9. Який кут називається, кутом ковзання?

10. Який кут називається, кутом випадіння?
11. Яке співвідношення між довжиною триєрного циліндра і його діаметра для тихохідних трієрів?
12. Яке співвідношення між довжиною триєрного циліндра і його діаметра для швидкохідних трієрів?
13. За якою формулою розраховується площа поверхні трієра?
14. Як розраховується продуктивність трієра?
15. Які переваги має дисковий трієр?
16. Як влаштований дисковий трієр?
17. Від чого залежить ефективність роботи дискового трієра?
18. За якою формулою визначається продуктивність дискового трієра?
19. Що називається повітряним сепаруванням?
20. Який фізичний зміст швидкості «витання» частинки?
21. При якому співвідношенні піднімальної сили і сили ваги частинки «витає»?
22. За якою ознакою відбувається гідравлічне сепарування продуктів?
23. Як працює найпростіший гідравлічний сепаратор-відстійник?
24. Які сили беруть участь в процесі гідравлічного сепарування?
25. Складіть умову рівноваги для рівномірного руху частинок
26. Призначення магнітного сепарування.
27. Що таке утримувальна сила магніту?
28. Дайте визначення магнітної сили
29. Як відбувається «змивання» металоманітних частинок?
30. Розкажіть принцип роботи магнітного сепаратора
31. Пристрій і робота електромагнітного сепаратора
32. Які сили діють на металоманітну частинку осаджувану через шар сипкого продукту?

Тести для перевірки знань

- 1) Який трієр виділяє з зернового матеріалу короткі домішки?
 1. Кукільний
 2. Вівсюжний
 3. Гороховий
 4. Ячмінний
- 2) Циліндричний трієр вважається тихохідним, якщо окружна швидкість дорівнює
 1. $v = 0,3 \dots 0,5$ м/с
 2. $v = 1,2 \dots 1,5$ м/с
 3. $v = 1,8 \dots 2,0$ м/с

4. $\vartheta = 2,0 \dots 2,4$ м/с

3) Циліндричний трієр вважається швидкохідним, якщо колова швидкість дорівнює

1. $\vartheta = 1,2 \dots 1,5$ м/с

2. $\vartheta = 2,0 \dots 2,4$ м/с

3. $\vartheta = 1,8 \dots 2,0$ м/с

4. $\vartheta = 0,5 \dots 1,0$ м/с

4) Співвідношення між довжиною триєрного циліндра і його діаметром для швидкохідних трієрів

1. $\frac{L}{D} = 4,0$

2. $\frac{L}{D} = 1,25 \dots 3,75$

3. $\frac{L}{D} = 4,2 \dots 4,8$

4. $\frac{L}{D} = 0,5 \dots 1,1$

5) Співвідношення між довжиною триєрного циліндра і його діаметром для швидкохідних трієрів

1. $\frac{L}{D} = 1,25 \dots 3,75$

2. $\frac{L}{D} = 0,5 \dots 1,0$

3. $\frac{L}{D} = 4,0 \dots 4,2$

4. $\frac{L}{D} = 4,2 \dots 4,8$

6) Оптимальна частота обертання триєрного циліндра знаходиться за формулою

1. $n = \frac{30}{\pi} \sqrt{K \frac{g}{R}}$

2. $n = \frac{25}{\sqrt{R}}$

3. $n_{\text{пр}} \leq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R_{\text{max}}} (\text{tg} \gamma \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)}$

4. $n_{\text{max}} = 30 \sqrt{\frac{1}{D_{\text{max}}} (0,4 + \frac{1}{f})}$

7) При яких співвідношеннях піднімальної сили R і сили ваги G при повітряній сепарації частинка рухається вгору?

1. $R > G$

2. $R < G$

3. $R = G$

4. Всі співвідношення вірні
- 8) За рахунок якої сили металомангітна частинка утримується на поверхні апарату?
1. Мангітна сила постійного мангіту і електромангіту
 2. Утримувальна сила мангіту
 3. Піднімальна сила мангіту
 4. Змивальна сила
- 9) За якими показниками розділяється зерно і домішки на трієрі?
1. За довжиною зерна
 2. За товщиною
 3. За шириною
 4. За формою поверхні
- 10) До яких машинам відносяться трієри?
1. До розсіювальних
 2. До фільтруючих
 3. До осаджувальних
 4. До відцентрових
- 11) За якою формулою визначається сила «змивання» металомангітної частинки?
1. $F_c = mf \left[g \cdot \cos \alpha + \frac{A}{(r+\delta)^n} \right]$
 2. $F_c = \frac{A}{(r+\delta)^n}$
 3. $F_c = K \cdot m \cdot H \cdot \vartheta$
 4. $F_c = \frac{mA}{(H-r-\delta)^n}$

8.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ

Пресування – це обробка тиском матеріалу в спеціальних пресах. З метою надання йому необхідної форми або створення деформації внутрішніх структур з відносним зсувом шарів.

При цьому можуть переслідувати різні цілі:

- Відділення рідини від твердого тіла. Цей процес нерозривно пов'язаний з фільтрацією вичавлюваної рідини через капіляри залишку. Одночасно з видаленням рідини відбувається ущільнення і брикетування залишку.
- Надання пластичним тілам певної геометричної форми (формування і штампування). У цьому випадку зі складної системи рідина не відокремлюється, але обробляється маса, набуваючи необхідну за технологічними умовами форму.
- Зв'язування частинок зернистих сипких матеріалів в більш великі агрегати певної форми за допомогою зв'язувальної рідини і відповідного тиску.
- Ущільнення матеріалів для підвищення їх міцності і поліпшення умов їх транспортування (брикетування, таблетування, гранулювання).

Прикладення механічної сили до некрихких або пластичних матеріалів не завжди призводить їх до порушення, як це було при подрібненні. Шляхом впливу зовнішньої сили на пластичні матеріали змінюють їх форму. Таким чином, отримують батони, булочки, макарони, печиво та інші вироби з тіста. За допомогою тиску можна надати певну форму порошкоподібним або кристалічним матеріалом, що використовується, наприклад, при формуванні шматочків цукру, таблеток аскорбінової кислоти або брикетів сухого киселю. При переробці ягід, плодів і овочів механічним впливом можна відокремити сік від рослинної маси, одночасно зруйнувавши капілярно-пористу і клітинну структуру.

Загальним для всіх подібних процесів є підвищення тиску на поверхні перероблюваного матеріалу і всередині його в результаті впливу зовнішньої сили. Ця група процесів отримала назву – *обробка матеріалів тиском*.

Прикладення зовнішньої сили до капілярно-пористих тіл, наприклад, ягід, фруктів і овочів, спочатку викликає часткове руйнування зі зміною форми, а потім і зменшення об'єму тіла в результаті стиснення каркаса і відділення рідини. Цей процес, пресування – один із способів зневоднення матеріалу. Пресування застосовують у виробництві соків, вина, макаронних виробів і в багатьох інших технологіях.

При руйнуванні клітинної структури тіл, формувального пресованого шару, між окремими частинками утворюються капіляри, по яких рухається рідина від внутрішніх шарів до поверхні. Цей рух рідини описується рівнянням Пуазейля:

$$W = \frac{\pi d^4 \cdot \Delta P}{128 \cdot \mu \cdot l} \quad (8.1)$$

де W – об'ємна витрата рідини, що протікає по капіляру, $\text{м}^3/\text{с}$; d і l – середній діаметр і довжина капіляра, м ; ΔP – різницю тиску на кінцях капіляра, Па ; μ – динамічна в'язкість рідини, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

При аналізі рівняння Пуазейля видно, що кількість відокремлюваної рідини тим більше, чим більше різниця тисків всередині шару і на його поверхні ΔP (тобто, чим більше зусилля пресування), чим більше діаметр капіляра і чим менше його довжина. Але діаметр капілярів в свою чергу, залежить від ступеня стиснення капілярів. Гранично допустимий тиск залежить від багатьох факторів, які характеризують властивості пресовуваного матеріалу і встановлюється експериментально. На практиці цей тиск досягає від $2 \cdot 10^5$ до $10 \cdot 10^5$ Па в механічних пресах і $600 \cdot 10^5$ Па в гідравлічних.

Таким чином, для прискорення процесу обробки продукції тиском можна збільшити тиск пресування, зменшити товщину шару матеріалу, який призначений для обробки, або нагріти продукт з метою зменшення в'язкості рідини.

Фактори, визначальні процес пресування диспергованого продукту можна розділити на дві групи:

Перша група – фактори, що характеризують фізико-механічні властивості продукту:

1) модуль пресованості, що характеризує здатність продукту до ущільнення під прикладеним до нього зовнішнім тиском при відсутності втрат тиску на тертя; цей фактор в деякому інтервалі тисків має постійну величину і залежить від роду продукту, його структури і розмірів складових його частин;

2) коефіцієнт бокового тиску – відношення бічного тиску з боку пресованого матеріалу до діючого вертикально тиску пресування;

3) вологість, температура, гранульований склад продукту.

Друга група – фактори, що характеризують умови пресування. До них відносяться:

1) питомий тиск пресування;

2) тертя продукту об прес-інструмент, величина якого залежить від властивостей продукту і стану поверхні прес-інструменту;

- 3) форма пресованого брикету і співвідношення його розмірів;
- 4) режим пресування, який може бути циклічним і безперервним;
- 5) число поверхонь брикету, безпосередньо знаходиться під тиском пресування; в залежності від кількості цих поверхонь процес пресування може бути:

- ❖ **однобічним**, при якому зовнішній ущільнювальний тиск докладено до однієї поверхні пресованого брикету;

- ❖ **двобічним**, при якому ущільнювальний тиск прикладений до двох протилежних поверхонь брикету;

- ❖ **багатобічним**, коли пресувальний тиск прикладається до кількох поверхонь пресованого брикету.

8.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРЕСУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Процес пресування в переробному виробництві застосовують для зневоднення, брикетування, гранулювання твердих матеріалів і формування пластичних продуктів.

Зневоднення під тиском використовується в жировому виробництві для виділення з насіння соняшнику олії, в цукровому виробництві для віджиму води з бурякового жому, соку з цукрової тростини, у виробництві соків для виділення його з ягід і плодів.

Брикетування – отримання брикетів з бруска спресованого матеріалу прямокутної або циліндричної форми; застосовують в цукровому виробництві для отримання брикетів бурякового жому та цукру-рафінаду, у виробництві харчових концентратів, в кондитерському і комбікормовому виробництвах, в процесах утилізації відходів харчової промисловості. Різновидами брикетування є **таблетування** і **гранулювання**. Таблетки і гранули мають менші розміри порівняно з брикетами.

Формування пластичних матеріалів застосовують в харчоконцентратному, хлібопекарському, кондитерському, макаронному, комбікормовому виробництвах для надання виробу заданої форми. При цьому часто використовують **екструзію** – технологічний процес обробки крахмалевмісної сировини комплексним впливом на неї вологи, температури, тиску і напружень зсуву з метою спрямованої зміни фізико-хімічних властивостей сировини і отримання як напівфабрикатів, так і продуктів, готових до вживання. Формування харчових продуктів проводять в екструдерах шляхом розм'якшення або пластифікації і надання їм форми продавлюванням через екструзійну головку, переріз якої відповідає конфігурації виробу.

Зв'язування сипких матеріалів в крупніші утворення. Реалізується в процесах їх здавлювання в закритих формах при наявності або відсутності зв'язувального матеріалу.

Явище зв'язування окремих частинок полягає в зближенні молекул, що знаходяться на поверхні стиснутих частинок і утворенні між ними молекулярних зв'язків.

Найважливіший вплив на це явище робить стан поверхонь частинок, які зближуються. Їхня поверхня може бути чистою, що не містить плівок, які відрізняються за хімічним складом від основного матеріалу частинок, а може бути покрита забруднюючими плівками. Поверхневі плівки можуть як перешкоджати зв'язуванню частинок, так і сприяти цьому. В останньому випадку їх називають *зв'язувальними*, а матеріал, з якого вони складаються, *зв'язувальним матеріалом*.

Перешкоджають зв'язуванню частинок оксидні плівки і забруднюючі матеріали, що відрізняються зменшеною хімічною спорідненістю з основним матеріалом частинок.

Зв'язувальні матеріали можна розділити на дві великі групи – клеючі і змінюючі поверхневі властивості зв'язуваних частинок. Клеючі матеріали мають підвищену адгезію з частинками. Поверхневі властивості агрегованих частинок можна змінювати в напрямку поліпшення їх зв'язування, наприклад, додаванням води до харчових або кормових подрібнених матеріалів. При цьому поверхня частинок зволожується і набуває властивостей полімерів. Такі матеріали легко агрегуються здавлюванням. Після агрегування вода, що представляє собою в даному випадку сполучний матеріал, розподіляється дифузійно по всьому об'єму матеріалу. Для його видалення агрегований матеріал може бути підсушений.

Очевидно, що концентрацію зв'язувального матеріалу слід оптимізувати. Занадто великий або занадто малий його вміст призводить або до надмірно великого розрідження поверхневих шарів частинок, або до недостатнього перетворення цих шарів в полімер. В обох цих випадках агрегування частинок ускладнено.

Зв'язування сипких матеріалів в більш великі агрегати проводиться в процесах гранулювання, таблетування, обкочування, дражування. Відповідно до назв цих процесів їх кінцевими продуктами являються інші, але розрізняються розмірами. Брикети або найбільш великі агрегати мають розміри порядку 100...200 мм; котуни 20...40 мм; гранули та драже 1...20 мм; таблетки 12...50 мм.

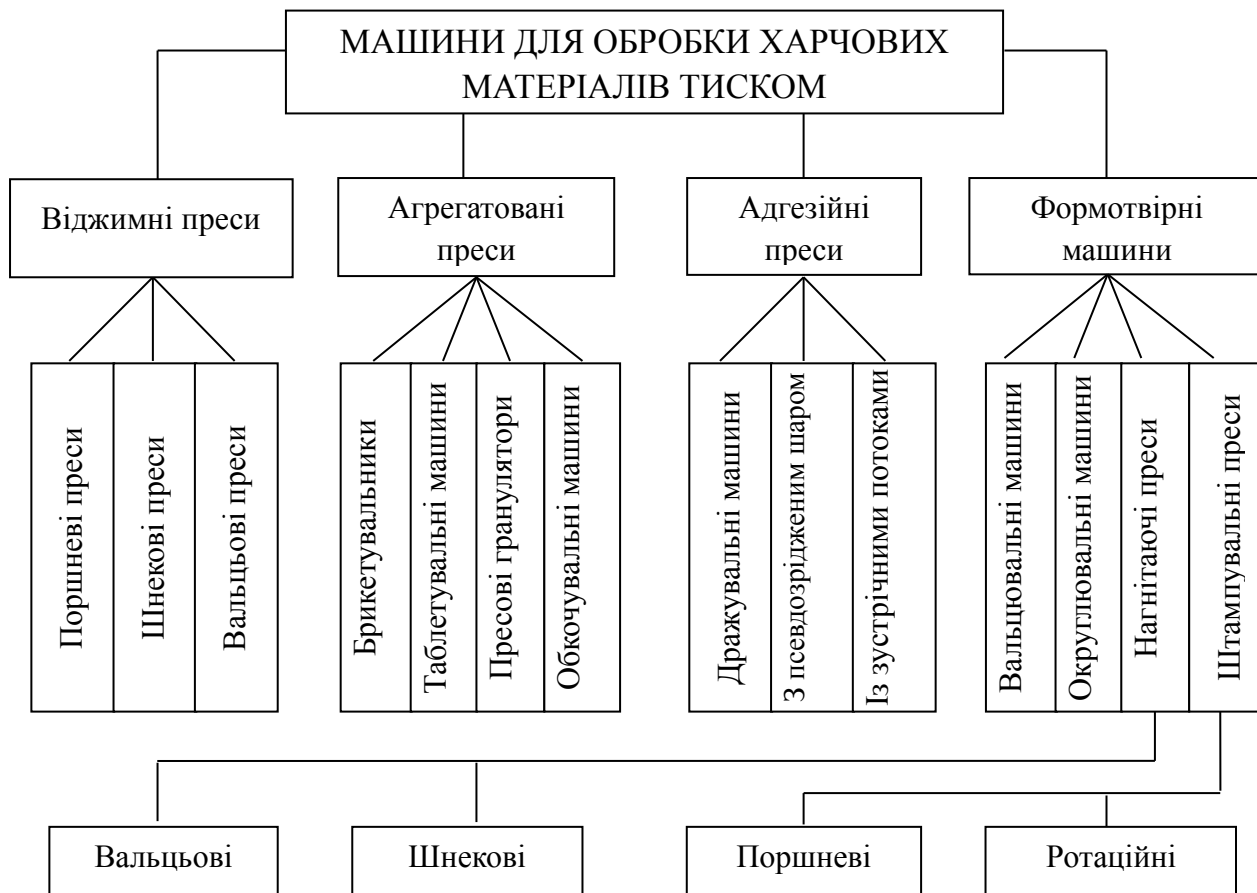


Рис. 8.1. Класифікація машин для обробки харчової сировини тиском.

Обкочування – узагальнена назва способів перемішування. Для процесу обкочування сипких харчових або кормових продуктів з ростків і пульп характерно їх адгезійне зв'язування (злипання). Крім сил адгезії агрегатуванню частинок сприяють капілярні сили, адсорбційні і молекулярні. Результатом їхньої спільної дії істотно від попередньої підготовки поверхні частинок, або від способу їх механічного утворення. Агрегатування відбувається в процесі перемішування частинок.

Дражування – різновид адгезійного гранулювання обкочуванням. В процесі дражування насіння, зерна, горішки, родзинки, цукати або ядра майбутніх драже (обов'язково при наявності клеючої речовини) перекочуються в адгезійному барабані і на них нашаровуються оболонки з порошоків какао, цукрової пудри та інших продуктів. При дражуванні посівного матеріалу на поверхню насіння наноситься шар пестицидів або протруювачів.

Гранулювання з розчинів, суспензій і пульп зазвичай здійснюється в двофазних потоках з гранульованої речовини і газоподібного сушильного агента. Цей процес здійснюють або в псевдозрідженому шарі, або в зустрічних завантажених потоках. В обох випадках підсушені частинки суспензій або пульп злипаються при досягненні прийнятної для цього

вологості, і на їх поверхню налипають нові частинки до тих пір, поки вони знаходяться в завислому стані в потоці газу. При досягненні визначених розмірів гранули випадають із завислого стану внаслідок збільшення їх маси. Випалі частинки відводять як готовий продукт.

Таблетування характерно тим, що до початкового сипкого матеріалу додається вода або інша рідина в якості зв'язувальної речовини і отримана маса вдавлюється пуансонами в замкнуту матрицю або продавлюється через отвори, які відіграють роль матриці. Отримані продукти підсушуються для видалення тепер уже непотрібної води. Штампування таблеток можливо як безпосередньо з дрібнодисперсного сипкого матеріалу, так і з попередньо отриманих дрібних гранул.

8.3. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРЕСУВАННЯ

Основне рівняння пресування

Процес пресування виражається залежністю між тиском пресування і переміщенням поршня, що відображає величину і характер виникаючих деформацій. Однак, основним показником, що характеризує процес ущільнення є початкова щільність одержуваних брусків, яка підвищується в міру збільшення прикладеного тиску.

При обґрунтуванні залежності тиску пресування P від щільності ρ були прийняті наступні передумови:

- Початкова щільність матеріалу однакова по всьому об'єму камери пресування;
- Щільність матеріалу в процесі стиснення зростає безперервно;
- Зусилля при статичному стиску не залежать від швидкості деформації;
- Нормальні напруги в будь-якому поперечному перерізі камери розподілені рівномірно.

Ці передумови дають підставу вважати, що похідна тиску за щільністю є безперервною функцією прикладеного тиску:

$$\frac{dP}{d\rho} = f(P) \quad (8.2)$$

Оскільки функцію $f(P)$ можна вважати лінійною, то вираз (8.2) можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{dP}{d\rho} = fP + b \quad (8.3)$$

Розділивши змінні та інтегруючи праву і ліву частину рівняння (8.3) в межах від ρ до ρ_0 і від 0 до P , отримаємо:

$$P = C[e^{a(\rho-\rho_0)} - 1] \quad (8.4)$$

де ρ_0 – початкова щільність бруска, кг/м³; ρ – кінцева щільність бруска, кг/м³; C , e – експонента; a , b – постійні параметри, C (МПа), a (м³/кг).

Рівняння (8.4) називається **основним законом пресування** зерна і волокнистих матеріалів, що визначає залежність нормального тиску пресування від щільності одержуваного зразка.

Параметри a і c залежать від структурно-механічних властивостей матеріалу (міцності, вологості, крупності частинок) і визначають собою опір матеріалу стиску.

Різноманіття структурно-механічних властивостей пружно-в'язко-пластичних матеріалів робить процес деформування вельми складним. Тому поряд із залежністю $P = f(\rho)$, представлені рівнянням (8.4), основний закон пресування може бути виражений аналогічною залежністю між прикладеним тиском і деформацією.

Для отримання такої залежності розглянемо процес ущільнення матеріалу (рис. 8.2) в закритій камері довжиною L і площею поперечного перерізу S , вважаючи, що перед стисненням вся камера 1 заповнена матеріалом 4 з початковою щільністю ρ_0 . Тоді початкова щільність матеріалу визначиться:

$$\rho_0 = \frac{M}{L \cdot S} \quad (8.5)$$

де M – маса порції, кг; L – довжина камери, м; S – площа поперечного перерізу, м².

У міру пересування поршня 3 в напрямку поздовжньої осі камери, матеріал стискається (деформується), щільність його збільшується і при переміщенні на величину H становить:

$$\rho = \frac{M}{(L-H) \cdot S} \quad (8.6)$$

де H – абсолютна деформація матеріалу, м.

Тоді різниця між кінцевою і початковою щільністю буде дорівнює:

$$\rho - \rho_0 = M \left[\frac{1}{(L-H) \cdot S} - \frac{1}{L \cdot S} \right] = \frac{M}{L \cdot S} \left(\frac{H}{L-H} \right) \quad (8.7)$$

Представивши вираз (8.7) в основне рівняння пресування (8.4) отримаємо залежність тиску від абсолютної деформації матеріалу тобто, від переміщення H робочого органу:

$$P = C \left[\left(\frac{\exp \cdot a \cdot \rho_0 \cdot H}{L-H} \right) - 1 \right] \quad (8.8)$$

Якщо врахувати, що $\frac{H}{L} = \varepsilon$, ε відносна лінійна деформація стиснення. То знайдемо, що вираз в показнику дорівнюватиме:

$$\frac{H}{L-H} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad (8.9)$$

де ε – відносна лінійна деформація стиснення, мм.

Тоді основне рівняння пресування запишеться у вигляді:

$$P = C \left[\left(\frac{\exp \cdot a \cdot \rho_0 \cdot \varepsilon}{1-\varepsilon} \right) - 1 \right] \quad (8.10)$$

З рівняння (8.10) видно, що чим більше початкова щільність ρ_0 , тим більший тиск необхідно прикласти до матеріалу для отримання того ж значення.

Процес утворення бруска в закритій камері з нерухомим упором

Розглянемо найбільш простий випадок пресування матеріалу в закритій камері 1, коли протитиск створюється її дном 2, тобто нерухомим упором (рис. 8.2). Камера 1 заповнюється матеріалом з початковою щільністю ρ_0 (кг/м³). Після ущільнення до щільності ρ той же матеріал займає в камері об'єм, який визначається висотою H_1 (м). За час робочого ходу, зусилля на штоці поршня зростає від нуля до максимального значення. Цій умові відповідає осьовий тиск:

$$p = \frac{P}{S} \quad (8.11)$$

де p – осьовий тиск, Па; P – зусилля на штоці поршня, Н; S – площа поперечного перерізу камери, м².

Вона змінюється згідно залежності (8.4) або (8.10) і відповідає за криву ОА індикаторної діаграми пресування.

Індикаторною діаграмою пресування називається графік, що показує зміну тиску з переміщенням поршня.

Закінчивши стиснення порції, поршень з точки С повертається в початкове положення (холостий хід). Однак контакт між ним і стиснутим матеріалом припиняється не миттєво, а з деяким запізненням, тому що в цей період відновлення матеріалу, що володіє пружними властивостями, розширюється і на зворотному шляху $H_1' - H_1$ впливає на поршень з деяким тиском P_{up} упругого розширення. В силу цього тиску від P_{max} зменшується до нуля в точці В не по вертикалі, а по деякій кривій АВ, яку можна прийняти за пряму.

Площа ОАСО діаграми пресування пропорційна енергії, витраченої на стиск матеріалу. Ця енергія витрачається на подолання в'язкого тертя між частинками при їх ущільненні і відносному переміщенні, на подолання

зовнішнього тертя частинок об стінки матриці, а також на пружні і пластичні деформації пресованого матеріалу.

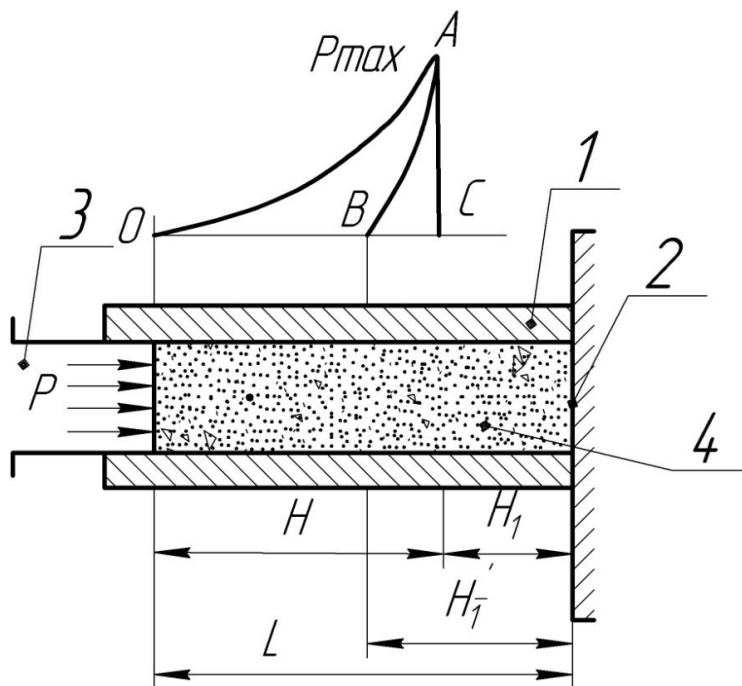


Рис. 8.2. Схема процесу і індикаторна діаграма пресування в закритій камері з рухомим упором

Площа ОАСО діаграми пресування пропорційна енергії, витраченої на стиск матеріалу. Ця енергія витрачається на подолання в'язкого тертя між частинками при їх ущільненні і відносному переміщенні, на подолання зовнішнього тертя частинок об стінки матриці, а також на пружні і пластичні деформації пресованого матеріалу. При переміщенні поршня в зворотному напрямку на ділянці СВ накопичена в матеріалі енергія пружних деформацій частково відновлюється при пружному розширенні спресованого бруска, і площа ВАС пропорційна цій енергії. Коли поршень знаходиться в точці С, матеріал в камері займає об'єм $V = H_1 S$ проти початкового об'єму $V_0 = L \cdot S$. При збереженні маси порції маємо:

$$M = \rho_0 V_0 = \rho V \quad (8.12)$$

де M – маса порції, кг; V_0 – об'єм матеріалу в камері до ущільнення, m^3 ; V – об'єм матеріалу в камері, m^3 ; ρ_0 і ρ – щільність матеріалу до і після ущільнення, kg/m^3 .

З цього випливає, що при пресуванні в закритій камері кінцева щільність бруска залежить від маси порції, закладеної в камеру, тобто від величини подачі матеріалу в прес. При порушенні рівномірності подачі в бік зменшення від встановленої норми, бруски будуть виходити мало міцними, що є одним з основних недоліків таких пресів. Другим великим недоліком є труднощі вилучення бруска з камери.

Закономірності розподілу тисків уздовж камери пресування.

Для визначення можливостей отримання міцних брусків з необхідною щільністю, розглянемо напружений стан порції, стисненій в закритій камері до максимального нормального тиску P_{\max} відповідно до залежності (8.4).

При ущільненні матеріалу робочий орган долає не тільки опір стисненню, а й тертя частинок об стінки каналу, обумовлене наявністю бічного тиску. Тому осьовий тиск по довжині каналу не залишається постійним, а зменшується уздовж осі каналу пресування (рис. 8.3).

Щоб з'ясувати, як змінюється осьовий тиск в каналі, виділимо в отриманому бруску елементарний шар матеріалу товщиною αx , віддалений від поршня на відстань x . На виділений елемент діють осьові тиски: зліва P_x і справа $P_x + \alpha P_x$. Крім того в поперечному перерізі за периметром елемента діє бічний тиск q_x і зумовлена ним сила тертя F .

Ця сила спрямована вздовж камери і дорівнює:

$$F = f \cdot q_x \cdot \Pi_k \cdot d_x \quad (8.13)$$

де F – сила тертя об стінку камери, Н; f – коефіцієнт тертя об стінку камери; Π_k – величина параметра камери, м; d_x – товщина елементарного шару, м; q_x – бічний тиск, Па.

Рівняння рівноваги сил в проекції на вісь каналу можна записати в наступному вигляді:

$$P_x \cdot S - (P_x + dp_x) \cdot S - f \cdot q_x \cdot \Pi_k \cdot d_x = 0 \quad (8.14)$$

З рівняння (8.14) визначимо бічний тиск dp_x :

$$dp_x = -f \cdot q_x \left(\frac{\Pi_k}{S} \right) d_x \quad (8.15)$$

Проаналізуємо першу частину отриманого рівняння. Знак мінус показує, що тиск в напрямку стиснення зменшується. Вираз $f \cdot \Pi_k / S$ – величина постійна. Бічний тиск q_x в процесі стиснення змінюється.

Для виштовхування готового бруска з каналу доводиться прикладати зусилля, оскільки він утримується в каналі силою тертя F_0 , що виникає під впливом пружного розширення моноліту (брикету). Отже, бічний тиск q_x складається з двох доданків: перший q_6 – бічний тиск, що виникає під дією осьового тиску і пропорційне $P_x = (q_6 = \xi P_x)$, де ξ – коефіцієнт бічного розпору; друге q_{06} – залишковий бічний тиск, обумовлений залишковими деформаціями. Ця частина бічного тиску не залежить від осьового тиску.

Таким чином, повний бічний тиск при стисненні матеріалу дорівнює:

$$q_x = \xi P_x + q_{06} \quad (8.16)$$

де ξ – коефіцієнт бічного розпору [$\xi = \mu(1 - \mu) = \text{const}$]; μ – коефіцієнт Пуансона ($\mu = 0,29 \dots 0,31$).

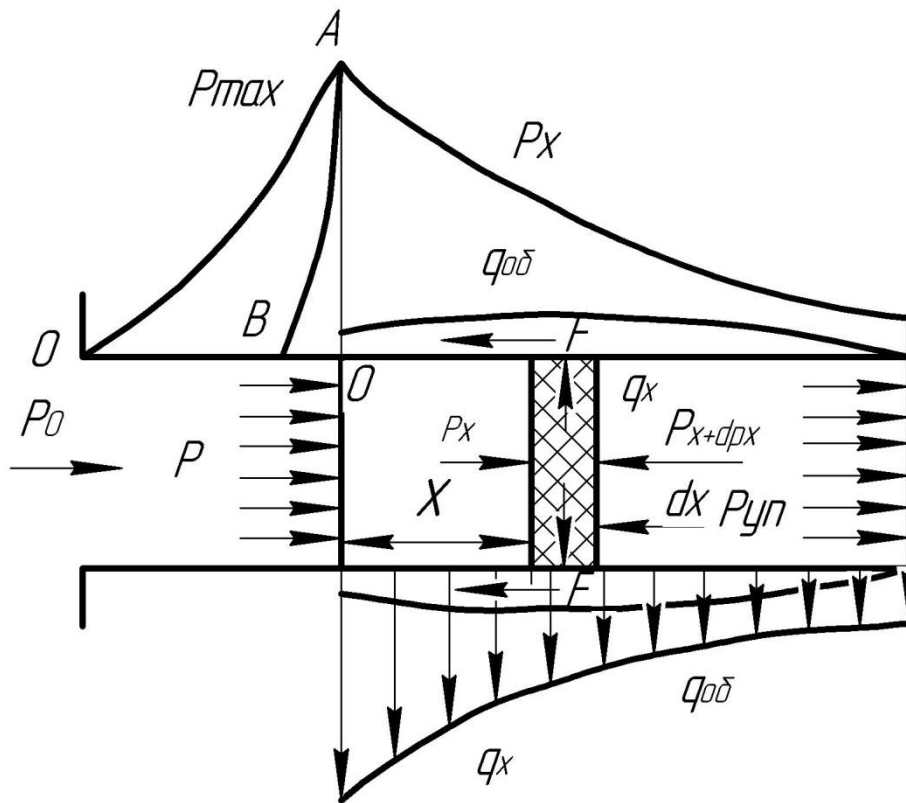


Рис. 8.3. Розподіл осьових і бічних тисків уздовж каналу пресування.

Перепишемо рівняння (8.15) у вигляді:

$$\frac{dp_x}{\xi P_x + q_{об}} = -f\left(\frac{\Pi_k}{S}\right) dx \quad (8.17)$$

Інтегруючи ліву частину в межах від P до P_x , а праву – від 0 до X і вирішуючи рівняння щодо P_x , отримаємо закономірність зміни осьового тиску по довжині каналу:

$$P_x = \left[p + \left(\frac{q_{об}}{\xi}\right) \right] \exp \left[-f\left(\frac{\Pi_k}{S}\right) X \right] - \left(\frac{q_{об}}{\xi}\right) \quad (8.18)$$

Тут P залежить від положення поршня і визначається за рівнянням (8.4).

Закономірність зміни бічного тиску q_x за довжиною камери має вигляд:

$$q_x = (\xi P + q_{об}) \exp \left[-f\left(\frac{\Pi_k}{S}\right) X \right] \quad (8.19)$$

Для визначення тиску $P_{уп}$ на упорі підставимо в рівняння (8.18) замість x величину $L - H$, рівну відстані між поршнем і упором:

$$P_{уп} = \left[p + \left(\frac{q_{об}}{\xi}\right) \right] \exp \left[-f\left(\frac{\Pi_k}{S}\right) (L - H) \right] - \left(\frac{q_{об}}{\xi}\right) \quad (8.20)$$

З цього рівняння випливає, що зі збільшенням висоти $L - H$ стискуваної порції, тиск на упорі $P_{уп}$ зменшується, а значить і щільність однократно обтисненого брикету за довжиною його зменшується у напрямку до упору. Чим менше висота порції, тим легше отримати міцний брикет з рівномірно розподіленою за його довжиною щільністю.

На індикаторній діаграмі однократного пресування (рис. 8.4) з отриманням брикету з однієї порції показані зміни зовнішнього тиску від 0 до P_{max} , а також розподіл по довжині каналів внутрішніх тисків – осьового P_x і бічного q_x .

Процес утворення брикету у відкритій камері з рухомим упором.

В сучасних поршневих пресах ущільнення проводиться у відкритих камерах з рухомим упором, яким є раніше сформований брикет в каналі пресування. Для здійснення цього потрібно проводити багатоциклічне пресування, тобто формувати один брикет з декількох порцій.

Схема процесу пресування з рухомим упором представлена на рис. 8.4.

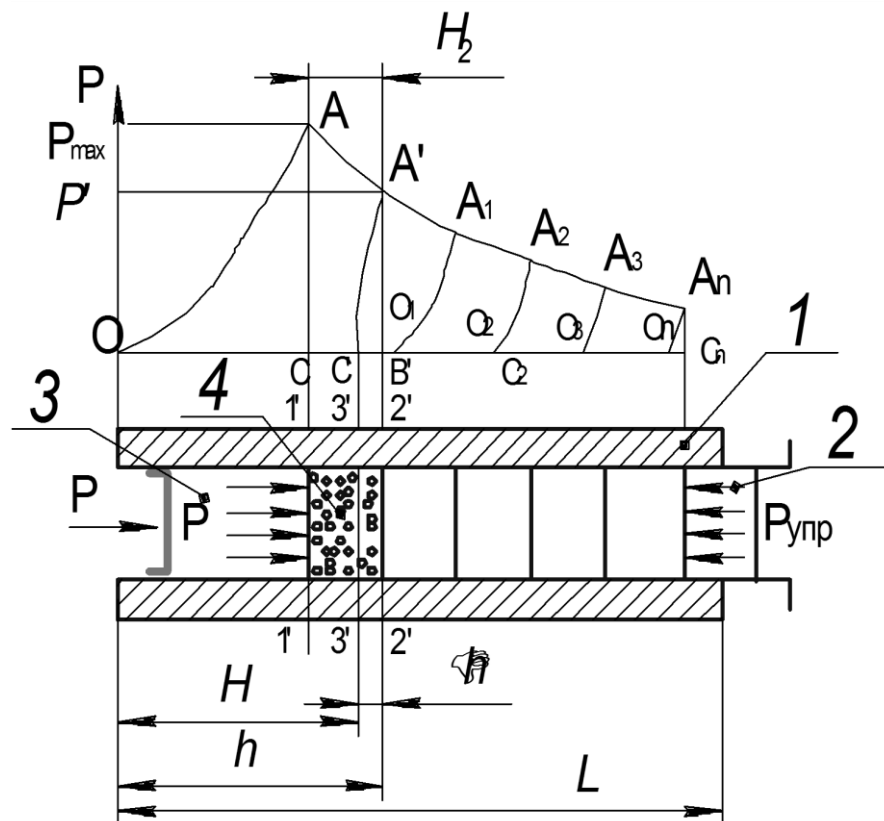


Рис. 8.4. Схема процесу і індикаторна діаграма пресування у відкритій камері з рухомим упором

Матриця 1 довжиною L на ділянці $L-H$ заповнена формівним матеріалом 2, що складається з ряду порцій 3, кожна з яких утворюється за один цикл пресування. Таким чином, камера пресування складається з двох частин: перший (ділянка H), де відбувається первинний цикл стиснення сипкого матеріалу 4, і другий (ділянка $L-H$), де відбувається прошовування раніше ущільнених порцій і одночасно триває багатоциклічне обтиснення. Пресування чергової порції матеріалу проводиться між торцями поршня і формується брикету (по лінії $1'-1'$). В кінці робочого ходу, коли щільність

пресованої порції досягає заданого значення, поршень, наближаючись до крайнього правого положення (мертвої точки), починає проштовхувати отриманий брикет. Торець брикету переміститься з положення 1' – 1' в положення 2' – 2'. Після цього поршень починає зворотний рух, але внаслідок пружного розширення стисненої порції, контакт робочого органу з матеріалом припиниться не миттєво, а з деяким запізненням. За час пружного осьового розширення торець брикету переміститься в бік зворотного руху поршня на Δh з положення 2' – 2' в положення 3' – 3'; після цього контакт припиниться.

Таким чином, на проштовхування витрачається додаткова енергія, витрачувана на подолання опору зовнішнього тертя брикету об стінки камери і повторне стиснення частини брикету, яка расширилася..

У зв'язку з цим важливе значення має правильне вирішення питання про вибір довжини камери пресування. Щоб отримати брикет заданої щільності ρ , кг/м³, необхідно створити в каналі тиск згідно залежності (8.4). Але для цього необхідно в камері проштовхування створити протитиск, достатній для утримання спресованого брикету при досягненні тиску p_{max} в камері стиснення.

Протитиск в камері проштовхування створюється силами тертя брикету об стінки каналу. Сумарна сила тертя дорівнює:

$$F_{тр} = f_{ст} \cdot N = f_{ст} \cdot \tau \cdot S_{кам}^6 = f_{ст} \cdot P_k \cdot L_1 = f_{ст} \cdot \xi P_{уп} \cdot P_k \cdot L \quad (8.21)$$

де $f_{ст}$ – статичний коефіцієнт тертя; N – нормальна реакція, Н; τ – дотичне напруження, що виникає від бічного тиску q_x в камері, Па ($\tau = \xi P_{уп}$); $S_{кам}^6$ – площа бічної поверхні камери, м²; P_k – периметр поперечного перерізу камери, м; L_1 – довжина камери проштовхування, м.

З формули (8.21) видно, що при середніх значеннях $f_{ст}$ і τ – визначуваних фізико-механічні властивості контактуючих матеріалів і постійної площі поперечного перерізу камери сумарна сила тертя $F_{тр}$ залежить тільки від довжини каналу L_1 камери проштовхування. Таким чином, для отримання брикету заданої щільності ρ повинна бути виконана умова:

$$F_{тр} \geq p_{max} \cdot S \quad (8.22)$$

де S – площа поперечного перерізу камери, м².

З урахуванням виразів (8.21) і (8.22) довжина каналу камери проштовхування повинна бути:

$$L_1 \geq \frac{p_{max} \cdot S}{f_{ст} \xi P_{уп} \cdot P_k} \quad (8.23)$$

При проштовхуванні по камері в брикеті в основному повинна завершитися релаксація напружень, інакше через пружні напруги брикет після виходу з камери буде розширюватися і виявиться недостатньо міцним. Якщо з урахуванням заданої продуктивності середню швидкість просування брикету по камері позначимо через $V_{\text{ср}}$, то з умов релаксації довжина $L_{\text{рел}}$ каналу визначиться за формулою:

$$L_{\text{рел}} = V_{\text{ср}} \cdot \tau_{\text{рел}}$$

де $\tau_{\text{рел}}$ – час витримки необхідний для релаксації, с.

Для нормальної роботи преса конструктивна довжина каналу повинна бути $L_1 \geq L_{\text{рел}}$.

8.4. ВІДЖИМАННЯ РІДИНИ З МАТЕРІАЛУ

Процес віджимання рідини відбувається внаслідок зменшення займаного матеріалом сумарного об'єму. Даний процес в харчовому виробництві застосовується в двох випадках:

1) коли рідина має більшу цінність, ніж залишок (виноградний сік, рослинна олія);

2) коли рідина, залишаючись в твердому залишку, зменшує його цінність (вода в віджатому жомі).

Слід мати на увазі, що в харчовій промисловості піддавані тиску маси (насіння, плоди, ягоди, стебла рослин, тваринні тканини) мають складну клітинну структуру. Щоб зменшити опір цих структур видаленню з них рідкої фази, перед віджиманням їх піддають механічній, гідротермічній, тепловій та електричній обробці. Механічна обробка полягає в дробленні клітинної тканини з метою руйнування протоплазматичних оболонок, що перешкоджають виходу рідини з клітин. При термічній, гідротермічній і електричній обробці відбуваються більш складні процеси.

Одним з важливих питань теорії віджимання є визначення основних факторів, що впливають на вихід віджатої рідини до кількості маси завантаженої в прес:

- Тиск P , під яким відбувається віджимання;
- Якість матеріалу, який надходить на віджимання, тобто характер його клітинної структури і ступінь її руйнування при попередній обробці;
- Вміст рідкої фази x_0 в піддаваній віджиманню складній структурі, яке вимірюється у відсотках маси;
- Тривалість процесу пресування і послідовність зміни тиску;
- Термічні умови, при яких відбувається віджимання;

- Товщина шару вичавлюваного матеріалу.

При віджиманні рідини з матеріалу розміри порожнин і пір в ньому зменшуються, а рідка складова матеріалу все більше їх заповнює. У цей період тиск рідини в порах не збільшується. Подальше здавлювання призводить до зростання тиску рідини в матеріалі. Під його впливом рідина витікає через пори назовні. Як вже було сказано, така течія підпорядковується закону Пуазейля:

$$Q = \frac{\Delta P d^3 \cdot F}{32 \mu L} \quad (8.24)$$

де Q – об'ємна витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP – підвищення тиску в матеріалі по відношенню до тиску навколишнього середовища, Па; d – середній діаметр капілярів (пор), через які рідина витікає назовні, м; F – сумарна площа перерізу капілярів, м^2 ; μ – динамічна в'язкість вичавлюваної рідини, Па·с; L – середня довжина капілярів, м.

Течія рідини триває до тих пір, поки весь об'єм капілярів заповнений рідиною. При їх навіть незначному звільненні від рідини надлишковий тиск стрибком падає до нуля і течія припиняється. Тому загальний об'єм віджатої рідини виявляється рівним зменшенню об'єму матеріалу під час віджимання, відраховується від моменту, коли все пори і порожнини в матеріалі заповнюються вичавлюваною рідиною.

Отже, процес віджимання рідини з матеріалу можна представити як початкове його здавлювання до моменту заповнення пір і порожнин рідиною, що міститься в ньому, і подальше її видавлювання через заповнені капіляри при їх стисненні.

У міру здавлювання пір їх прохідний переріз F і діаметри d зменшуються і течія сповільнюється. При повному закупорюванні пір течія припиняється і решта рідини в матеріалі вийти не може. У цьому полягає суперечливість впливу здавлювання на віджимання рідини. З одного боку для її віджимання необхідно зменшувати об'єми пір і порожнин, в яких вона міститься, а з іншого – зменшення прохідних перерізів всіх або частини пір ускладнює витікання рідини і не дозволяє їй витекти повністю. Ця суперечливість змушує застосовувати під час віджимання спеціальні технологічні прийоми:

- циклічність навантаження з перемішуванням матеріалу в період між циклами;
- ступеневе навантаження з відносно тривалими витримками між цими ступенями.

Для розрахунку об'єму олії, віджатої з насіння соняшнику, використовують, наприклад, емпіричну залежність:

$$W = CW_0 \frac{\sqrt{\Delta p}^6 \sqrt{\tau}}{\mu^a}, \quad (8.25)$$

де W – вихід олії, %; W_0 – вміст олії в початковому матеріалі, %; C – константа, що залежить від виду матеріалу; p – тиск, при якому відбувається віджимання олії, Па; τ – тривалість віджимання; μ – динамічна в'язкість олії, Па·с; a – показник, що залежить від виду олії.

Ця залежність, однак не враховує всіх технологічних аспектів організації процесу віджимання (циклічність навантаження, попереднє подрібнення сировини тощо) і використовується тільки як орієнтовна для порівняння ступеня впливу враховуваних чинників.

З цієї формули з урахуванням закону Пуазейля можна зробити висновок про те, що полегшити процес віджимання рідини з продукту можна:

- скорочуючи довжину капіляра L ;
- зменшуючи динамічну в'язкість продукту μ ;
- збільшуючи його пористість (діаметр d і кількість капілярів n);
- збільшуючи тривалість віджимання τ ;
- збільшуючи тиск пресування Δp .

Для скорочення довжини капілярів L можна зменшити товщину пресованого шару матеріалу; для зниження в'язкості доцільно підігрівати його. На розміри капілярів впливає залежність тиску пресування від часу. Зокрема під дією зовнішнього тиску після віджимання вологи з капіляра його діаметр може зменшитися аж до нуля, а подальше розвантаження може призвести до його часткового відновлення. Тому циклограми навантаження мають найважливіший вплив на віджимання рідини з продукту та її слід оптимізувати.

У шнекових зерних відтискних пресах для відновлення розмірів капілярів часто вводять камери перемішування, в яких формуються нові капіляри, через деякі можна віджати ще деяку кількість рідини.

Гідравлічний поршневий прес. Використовують, як правило, для віджимання олії з насіння соняшнику в невеликих виробництвах. Застосовують дані преси з двома або трьома платформами, одна з яких знаходиться під тиском, а решта на розвантаженні і завантаженні.

На рисунку 8.5. приведена принципова схема гідравлічного поршневого преса.

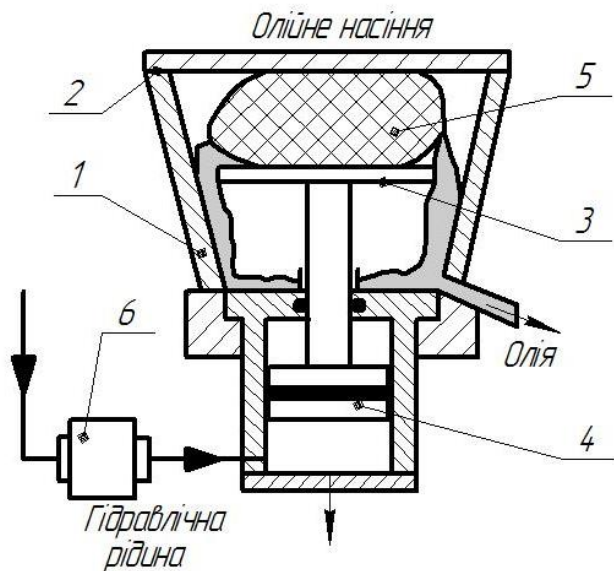


Рис. 8.5. Схема гідравлічного поршневого преса для віджимання олії: 1 – корпус преса; 2 – верхня плита; 3 – нижня плита; 4 – поршень; 5 – сітка (пакет); 6 – гідронасос.

Прес діє періодично і приводиться в рух гідроциліндром з поршнем 4. Під тиском в робочий циліндр насосом 6 подається робоча рідина (мінеральна олія), яка змушує поршень 4 рухатися вгору. Поршень за допомогою штока піднімає нижню плиту 3 преса, яка рухається до верхньої плити 2.

Пресовану масу в плоских пакетах 5 з міцної тканини (сукно при отриманні соняшникової олії), мішковини або лавсанової тканини (при пресування плодів і ягід) закладають на піддон, встановлений на нижню плиту 3, прокладаючи пакети іншими листами або дренажними решітками. Кількість пакетів може коливатися від 15 до 25 шт. Товщина шару сировини в одному пакеті під час пресування плодів і ягід встановлюється в межах 50 ... 80 мм, що сприяє більшому виходу соку.

Робочий цикл складається з попереднього підтискання сировини до тиску 5 МПа (для рослинної олії), витримки з метою відтоку основної маси рідини, підвищення тиску до 8 МПа, витримка і опускання рухомої плити 3. Загальна тривалість циклу 20 ... 25 хв.

Зусилля пресування можна визначити за формулою:

$$F = \eta \cdot P \cdot S \quad (8.26)$$

де F – зусилля пресування, Н; P – тиск пресування, Па; S – площа поршня, м²; η – ККД преса, що враховує втрати на тертя в сальниках і напрямних, зазвичай $\eta = 0,9$.

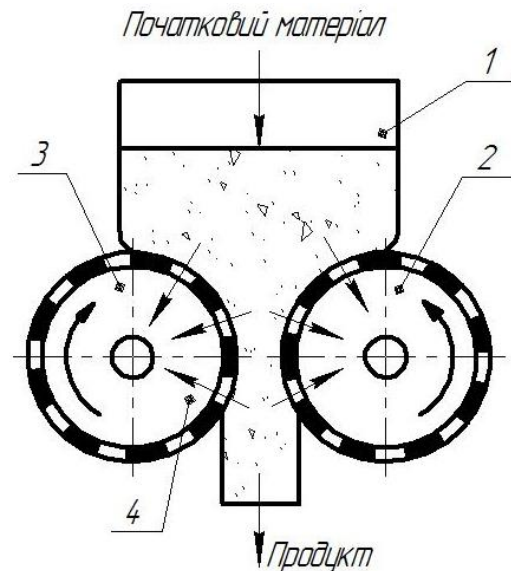


Рис. 8.6. Схема двохвальцевого преса для віджимання рідини: 1 – завантажувальний бункер; 2, 3 – перфоровані вальці; 4 – віджата рідина.

Вальцьовий відтискний прес. Складається з бункера 1 в який засипається подрібнений продукт. Під бункером розташовуються відтискні вальці 2 і 3 (рис. 8.6). Особливість конструкції цих вальців полягає в тому, що їхня робоча поверхня перфорована. Подрібнений продукт надходить з бункера в простір між відтискними вальцями, що обертаються назустріч один одному. Тут відбувається деформація продукту, в результаті якої рідина, що знаходиться в продукті, відтискається і через перфоровану поверхню і вальців відводяться всередину корпусу. Потім ця рідина видаляється з вальців в спеціальну ємність, а відтиснутий продукт подається на подальшу переробку.

Трьохвальцьовий відтискний прес. Конструкція трьохвальцьового відтискного преса (рис. 8.7) відрізняється від двовальцьового преса. Процес віджимання рідини в цьому пресі полягає в тому, що подрібнений продукт 2 на перфорованій прогумованій стрічці проходить між валками 1, 2 і 3, і віджатиї сік зливається в ємність, розташовану під пресом.

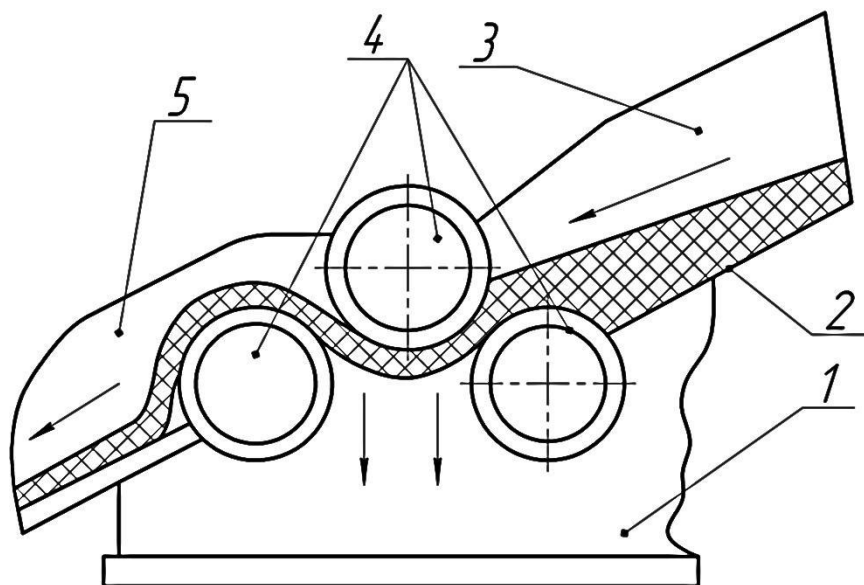


Рис. 8.7. Схема трьохвальцьового віджимного преса:

- 1 – корпус; 2 – подрібнений продукт; 3 – лоток для підведення сітки з продуктом;
4 – відтискні вальці; 5 – лоток для відведення віджатого продукту

Шнекові зеєрні преси для віджимання. Крім відкритих пресів (робоча зона повністю відкрита), застосовують напівзакриті і закриті або зеєрні преси. У зеєрних пресах пакети для маси закладаються в коробки (зеєри), а віджата рідина стікає через отвори в зеєрах (рис. 8.8).

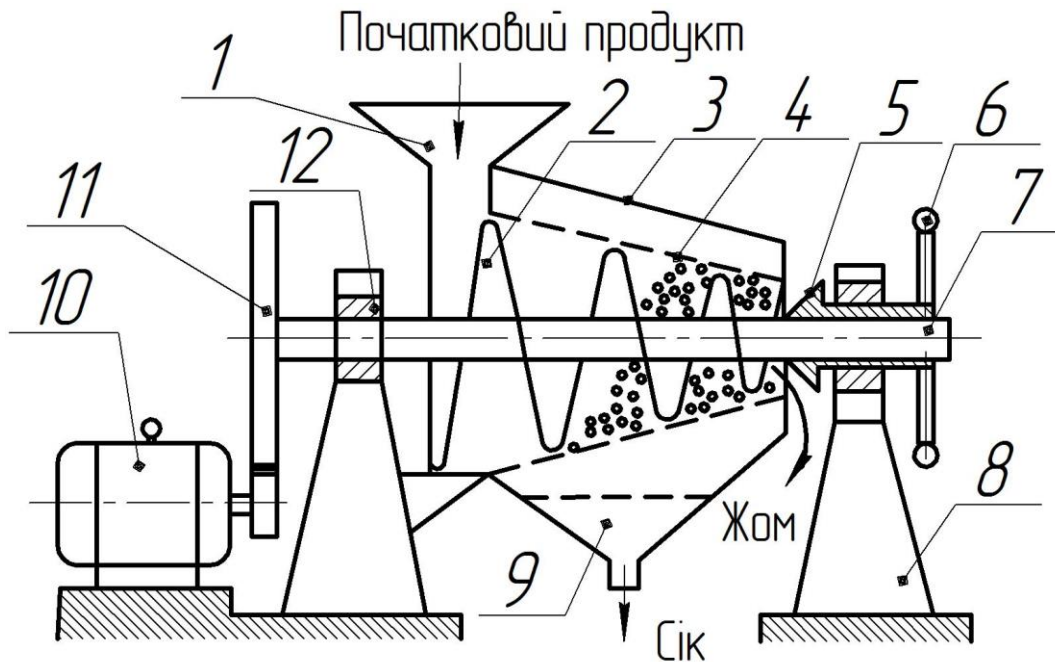


Рис. 8.8. Схема шнекового зєрного преса для вїджимання:

1 – воронка для прийому початкового продукту; 2 – конусний шнек для вїджимання вологи; 3 – камери вїджимання; 4 – перфорований конус; 5 – регульовальний конус; 6 – штурвал; 7 – вал шнека; 8 – стояк; 9 – пїддон для збору соку; 10 – електродвигун; 11 – клинопасова передача; 12 – пїдшипники ковзання.

Технологїчний процес вїджимання продукту на зєрних пресах вїдбувається наступним чином. Сировина подається в лїйку 1 і надходить в барабан 4, перерїз якого звужується по потоку маси. Конусний шнек 2 просуває масу до виходу з камери 3 і видаляє макуху через щїлину регульованого перерїзу. Ступїнь вїджимання маси продукту регулюється конусним клапаном 5 за допомогою штурвала 6. При прокручуваннї штурвала вїдбувається перемїщення конусного клапана в рїзьбовому з'єднаннї вперед або назад, тим самим збїльшуючи або зменшуючи вивантажувальний отвір в барабанї (зеєрї) і потрапляє в пїддон 9 для збору соку. Привїд преса здїйснюється за допомогою трифазного електродвигуна 10, редуктора і клинопасової передачі 11. Частота обертання шнека вїд 5 до 20 об/хв, тиск всерединї зеєра досягає 4 МПа.

8.5. БРИКЕТУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА КОРМІВ

Основні стадїї процесу ущїльнення

Сипкий продукт в процесї пресування ущїльнюється внаслідок вїдносного змїщення складових його частинок, а також в результатї залишкових (необоротних) і пружних (оборотних) деформацїй. У процесї ущїльнення безперервно змїнюються структурно-механїчні властивостї, що стискуваного матерїалу.

На першій стадії процесу ущільнення зближуються частинки, підганяються з форми один до одного. З області високих тисків частинки переміщуються в більш низькі. Ущільнення відбувається, головним чином, в результаті зміни поруватості частинок без значного їх деформування. На цій стадії вже незначний приріст тиску призводить до помітного ущільнення оброблюваного продукту.

У другій стадії процесу відбуваються незворотні деформації – крихкі і пластичні. Крихкі деформації протікають з руйнуванням частинок, призводять до їх більш щільного укладання, а пластичні – без руйнування частинок.

У третій стадії переважають пружні деформації, при цьому навіть значні підвищення тиску призводить до незначного збільшення щільності. Звичайно провести чітку грань між цими стадіями не можна.

Отже, відбувається зближення частинок, і в результаті прояву сил зчеплення утворюються міцні агломерати.

Схематично об'єм брикету V можна уявити, що складається з трьох частин: перша частина має об'єм V_k і висоту h_k і заповнена сухою речовиною; інша частина має об'єм $V_{ж}$ і висоту $h_{ж}$ і заповнена рідкою фракцією; третя частина має об'єм V_r і висоту h_r і заповнена газоподібною фракцією (рис.8.9).

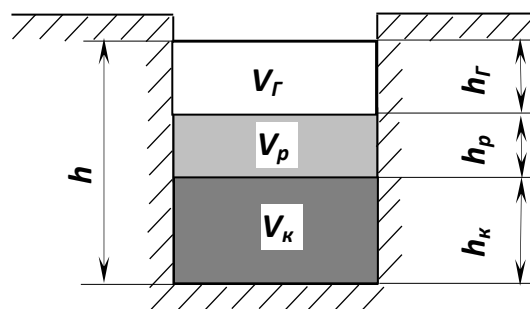


Рис.8.9. Окремі фракції об'єму пресованого продукту.

Показники щільності брикету є коефіцієнт ущільнення β – відношення повного об'єму брикету до об'єму сухої речовини:

$$\beta = \frac{V}{V_k} = \frac{h}{h_k} \quad (8.27)$$

Крім цього, процес брикетування характеризується коефіцієнтом поруватості ε – відношення суми об'ємів рідкої і газоподібної фракцій до об'єму сухої речовини:

$$\varepsilon = \frac{V_{ж} + V_r}{V_k} \quad (8.28)$$

Коефіцієнт ущільнення пов'язаний з коефіцієнтом поруватості наступним співвідношенням:

$$\varepsilon = \beta - 1 \quad (8.29)$$

Якщо площа перерізу брикету по всій його висоті має постійну величину, то рівняння (8.27) можна представити у вигляді:

$$\beta = \frac{\gamma}{\gamma_k} \quad (8.30)$$

де γ – об'ємна маса спресованого брикету, кг/м^3 ; γ_k – об'ємна маса скелета речовини, кг/м^3 .

Основна характеристика процесу брикетування – залежність між приростом тиску пресування і зменшенням коефіцієнта ущільнення речовини. Графічно ця залежність виражається двома кривими пресування (рис.8.10):

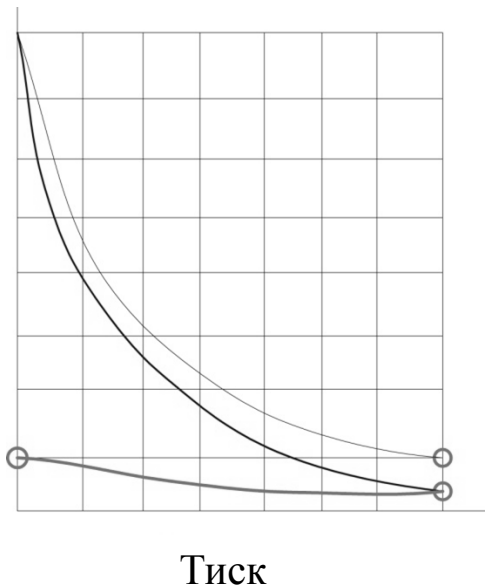


Рис. 8.10. Індикаторна і технологічна криві пресування

Індикаторна крива є найбільш повною характеристикою процесу і дозволяє отримати дані, необхідні для розрахунку пресів і прес-інструменту; технологічна крива дозволяє визначати тиск, необхідний для отримання брикету заданої щільності. Технологічна крива проходить вище першої внаслідок пружної деформації готового брикету, що призводить до зниження щільності.

Тиск пресування складається з тиску, необхідного для ущільнення продукту і подолання сил тертя продукту об прес-інструмент при його ущільненні.

У процесі пресування необхідно прагнути до збільшення показника β і зниження ϵ . На показники β і ϵ впливають як умови процесу, так і фізико-хімічні властивості пресованих продуктів.

До числа першої групи факторів відносяться:

- тиск пресування;
- тривалість витримування продукту під тиском;
- кратність навантаження;
- температура робочих органів і матеріалу;

- конструктивні особливості і технічний стан робочих органів.

Серед другої групи факторів можна виділити:

- хімічний склад продукту;
- дисперсність пресованого продукту;
- коефіцієнт внутрішнього і зовнішнього тертя;
- гігроскопічні властивості;
- кількість і властивості зв'язувальних речовин.

Зі збільшенням тиску пресування підвищується щільність і міцність пресованих продуктів, велика тривалість витримування продукту під тиском викликає релаксацію напруги в ньому, зниження коефіцієнта пружного розширення брикету.

Важливим фактором, що впливає на перебіг процесу пресування, є температура продукту, оскільки як вона визначає стан вологи і міцності її зв'язку з продуктом. Підвищення температури сприяє міграції вологи, пластифікації продукту, знижуючи величину показника пористості ϵ . З підвищенням вологості збільшується зчеплення частинок, але надлишок вологи перешкоджає їх зближенню.

Хімічний склад продуктів також впливає на міцність брикетів. Комбікорми, що містять багато клітковини, утворюють менш міцні брикети або гранули, вимагають великих зусиль для пресування. Більш міцні гранули утворюють комбікорми з високим вмістом білка і крохмалю.

Елементи теорії процесу брикетування.

При ущільненні дисперсного тіла, якщо знехтувати тертям речовини об прес-інструмент і прийняти, що пресований продукт абсолютно однорідний, то процес ущільнення можна охарактеризувати наступними законами, встановленими в механіці дисперсних тіл.

Перший закон – в дисперсному тілі сила, віднесена до одиниці контактної перерізу, нормального до неї, викликає деформацію, не залежну від вихідної поруватості дисперсного тіла:

$$d\delta = \frac{dP}{dF} = -Kd\beta \quad (8.31)$$

де P – сила пресування, H ; F – площа, нормальна до сили P , m^2 ; K – постійний коефіцієнт; β – коефіцієнт ущільнення.

Другий закон – межа міцності і межа плинності дисперсних тіл, віднесені до одиниці контактної перерізу, що не залежать від їх поруватості.

$$\sigma_k = \frac{P}{F} \quad (8.32)$$

Розгляд цих законів призводить до наступного аналітичного виразу процесу ущільнення дисперсної речовини при неможливості її бічного розширення і відсутність втрат тиску на тертя.

$$\Psi \ln \frac{P}{P_0} = \beta_0 - \beta \quad (8.33)$$

де P і P_0 – кінцевий і початковий тиск стиснення, Н; β_0 і β – відповідні їм коефіцієнти ущільнення; Ψ – модуль пресованості.

Основна характеристика процесу брикетування – залежність між приростом тиску пресування ΔP і зменшенням коефіцієнта ущільнення пресованої речовини β . Для виведення рівняння розподілу тиску пресування за висотою брикету розглянемо схему сил, що діють на його елементарний шар (рис. 8.11).

Розглянемо умови рівноваги об'ємного елемента брикету, що знаходиться в матриці на відстані z від пуансона. Прийmemo, що брикет має однаковий поперечний переріз за всією його висотою, площа перерізу F і периметр Π .

На елементарний шар брикету у вертикальній площині діють нормальні сили P_z і $P_z - dP_z$, де dP_z – втрата тиску на внутрішнє тертя за висотою брикету d_z , питомі сили тертя T_z і сили від бічного тиску P_{xz} .

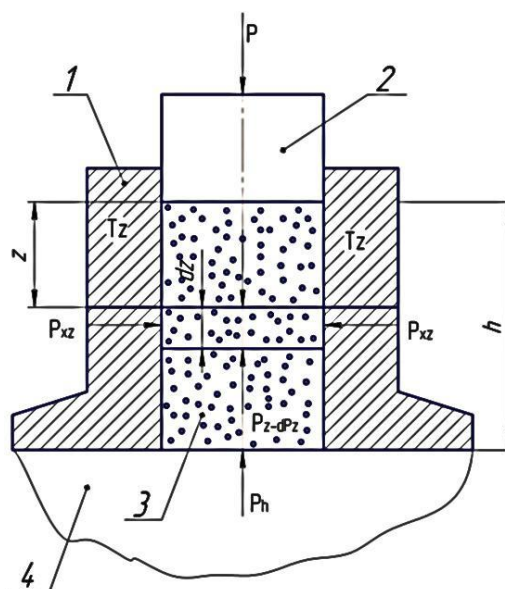


Рис. 8.11. Схема сил діючих на елементарний шар брикету: 1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – брикет; 4 – плита.

Питома сила тертя:

$$T_z = fP_{xz} \quad (8.34)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу об стінку матриці.

Вертикальний питомий тиск пов'язаний з бічним питомим тиском (P_{xz}) співвідношенням:

$$\frac{P_{xz}}{P_z} = \xi \quad (8.35)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску.

Якщо поперечний переріз F і периметр брикету Π , то умову рівноваги сил можна сформулювати наступним рівнянням суми проекцій всіх діючих сил на вісь z :

$$FdP_z = fP_{xz} \Pi dz \quad (8.36)$$

Зважаючи, що прирости тиску і сили тертя рівні, по абсолютній величині, але протилежні за напрямком, отримаємо:

$$FdP_z = -f\xi P_z \Pi dz \quad (8.37)$$

Зінтегрувавши вираз (8.37) в межах від P і P_0 і від 0 до z при сталості величин f і ξ , отримаємо:

$$P_z = P \cdot \exp\left(-\frac{\xi \cdot f \cdot \Pi \cdot z}{F}\right) \quad (8.38)$$

На дні прес-форми питомий тиск дорівнюватиме:

$$P_h = P \cdot \exp\left(-\frac{\xi \cdot f \cdot \Pi \cdot h}{F}\right) \quad (8.39)$$

де h – висота брикету, м.

Вираз (8.38) являє собою *рівняння розподілу тиску пресування* за висотою стисненого брикету. Його можна також використовувати для визначення втрат тиску на тертя об стінки матриці.

Ступінь ущільнення продукту при пресуванні залежить від питомого тиску пресування, яке різне за висотою брикету, отже, і відносні ущільнення різні в різних шарах брикету за його висотою. Чим вище тиск, тим більше ступінь ущільнення продукту. Тому очевидно, що брикет найбільш ущільнений безпосередньо під пуансоном і найменш ущільнений біля дна матриці.

Зменшення коефіцієнта ущільнення елементарного шару, перпендикулярного напрямку сили пресування, пов'язано зі зміною тиску в цьому шарі (див. рівняння 8.33). Якщо прийняти, що первинна щільність брикету за всією висотою постійна, то:

$$\beta_0 - \beta_z = \psi \Psi \ln \frac{P_x}{P_0} \quad (8.40)$$

підставляючи значення P_z з рівняння (8.38), знайдемо:

$$\beta_0 - \beta_z = \Psi \psi \ln \frac{P \cdot \exp\left(-\frac{\xi \cdot f \cdot \Pi \cdot z}{F}\right)}{P_0},$$

звідки

$$\beta_x = \beta_0 - \psi \Psi \ln P + \psi \Psi \ln P_0 + \frac{\Psi \psi \xi f \cdot \Pi \cdot z}{F} \quad (8.41)$$

Середній коефіцієнт ущільнення:

$$\beta = \int_0^h \frac{\beta_z dz}{h}, \quad \text{або} \quad \beta = \int_0^h \frac{\left[\beta_0 - \psi \Psi \ln P + \psi \Psi \ln P_0 + \frac{\Psi \psi \xi f \cdot \Pi \cdot z}{F}\right] dz}{h} \quad (8.42)$$

Зінтегрувавши рівняння (8.42) в межах від 0 до h , після відповідних перетворень отримаємо:

$$\beta = \beta_0 - \psi\Psi\Psi \ln \frac{P}{P_0} + \frac{\Psi\Psi\Psi\xi f \Pi \cdot z}{2F} \quad (8.43)$$

Середня щільність брикету постійного перерізу:

$$\rho = \frac{\rho_0 - \rho_k \Psi\Psi\Psi \ln \frac{P}{P_0}}{1 - \frac{\Psi\Psi\xi f \Pi G_k}{2F^2 P_k}} \quad (8.44)$$

де G_k – маса твердої фази в брикеті, кг; ρ_0 і ρ_k – відповідно початкова і кінцева щільність брикету, кг/м³.

Кінцевий і початковий коефіцієнти ущільнення в цьому випадку $\beta = \rho_0/\rho_k$ і $\beta_0 = \rho_0/\rho_k$; кінцева висота брикету $h_k = G_k/F\rho_k$.

Вирази (8.43) і (8.44) є *основними рівняннями процесу однобічного пресування* дисперсної речовини, отриманими при допущенні сталості коефіцієнтів тертя f і бічного тиску ξ .

При однобічному пресуванні внаслідок тертя продукту об стінки матриці щільність брикету виявляється нерівномірною за висотою. Брикети більш високої якості отримують при двобічному пресуванні. В цьому випадку брикет має більш рівномірну щільність за висотою, що покращує його якість.

Машини та обладнання для брикетування, гранулювання і таблетування

Штемпельні і ротаційні преси застосовуються для брикетування сухого жому, отримання тестових заготовок, напівфабрикатів певної форми і розміру. У штемпельних пресах матриця нерухома, а пуансон (штемпель) здійснює зворотно-поступальний рух. У таких пресах спостерігаються великі інерційні сили при пресуванні, тому вони встановлюються на масивних фундаментах.

Ротаційні преси мають плоску або циліндричну матрицю. Пресувальний вузол складається з пресувальних валків, матриці, пристрою для зрізу гранул, і порожнистого валу. Матриця встановлена на порожнистому валу і обертається разом з ним. Для направлення сухого матеріалу під валки служить конічний розподільник.

Спресований продукт на виході з отвору матриці зрізається ножом і лопаттю і направляється в розвантажувальний лоток. Зазор між матрицею і лезом ножа повинен бути не більше 0,5 мм. Необхідно, щоб ніж перекривав робочу ширину матриці; його лезо повинно розташовуватися паралельно її нижній площині. Кут нахилу ножа до горизонтальної площини матриці становить

30°. Для зрізання брикету встановлено чотири ножа. Якщо необхідно отримати більші брикети, їх кількість зменшують.

Карусельний дисковий прес

(рис. 8.12) використовується у виробництві цукру-рафінаду. Складається з наступних основних вузлів: набивної коробки 1 для прийому рафінадної кашки; диска 2 з матрицями 3 і пуансонами 4; упору 5 для пресування брусків рафінаду; механізмів для натирання столу (диска), подачі цукру в матриці, виштовхування відпресованих брикетів рафінаду, підйому пуансона і повороту диска; приводу; станини.

Стіл-диск 2 несе чотири матриці 3, які розділені перегородками так, щоб рафінад при пресуванні приймав форму брусків.

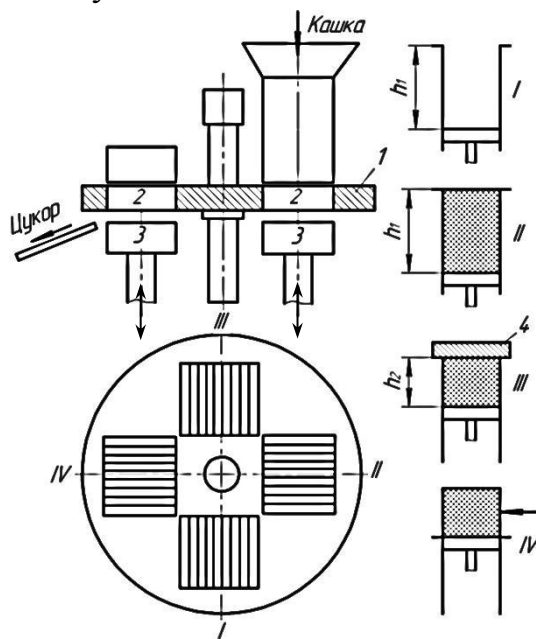


Рис. 8.12. Схема дискового преса для пресування цукру-рафінаду:

1 – набивна коробка; 2 – диск; 3 – матриця; 4 – пуансон; 5 – упор для пресування.

Пресування здійснюється за допомогою пуансонів 4, які служать як би днищем кожної матриці. Пуансони переміщуються в матрицях у вертикальному напрямку вгору і вниз. Матриця-прес виконана у вигляді коробок з латуні, які вставлені в отвір диска.

Для отримання якісного пресованого цукру-рафінаду кашку утфелю (суміш кристалів з міжкристалічним розчином) рафінадних кристалізацій, перед пресуванням ретельно перемішують для того, щоб вона охолоджувалася. До моменту пресування вміст вологи в рафінадній кашці має бути: для грудкового швидкорозчинного цукру – 1,6...1,8 %; грудкового колотого – 2,2...2,3 %; грудкового з властивостями литого – 3...3,2 %.

Рафінадна кашка повинна містити кристали певної величини, так як великі кристали створюють нерівну поверхню брикетів, а дрібні, що мають більшу площу поверхні, містять зайву вологу. Рекомендується наступна структура кристалів рафінадної кашки: розміром 1...1,5 мм і більше – 20...30 %, розміром 0,5...1 мм – 60...65 %, розміром менше ніж 0,5 мм – 5...10 %.

Процес пресування цукру-рафінаду відбувається в наступній послідовності. Кашка, яка направляється в прес, знаходиться в розташованому над ним бункері. Між бункером і столом 2 преса поміщена набивна коробка 1, яка має горизонтальні валики зі штифтами. При положенні пуансона внизу, матриця завантажується кашкою. При

переміщенні пуансона в його верхнє положення об'єм матриці зменшується і кашка пресується.

Круглий стіл преса (диск) робить по 6 ... 8 об/хв навколо вертикальної осі. Повернувшись на 90° стіл зупиняється. В одному з варіантів преса тривалість зупинки столу близько 1 с, а тривалість його руху 1,5 с. Під час кожної з чотирьох зупинок на кожному його квадраті визначається певна операція процесу пресування (рис. 8.12).

На першому етапі (положення I) пуансон опущений на глибину матриці; в положенні II відбувається заповнення матриці рафінадною кашкою; в положенні III матриця зверху закривається плитою, а пуансон піднімається вгору, відповідно спресовуючи брусок; на етапі IV пуансон піднімається в крайнє верхнє положення вище рівня столу преса на 0,5...0,6 мм і виштовхує спресований брусок з матриці вгору. Безпосередньо за цим, на тому ж етапі роботи, бруски зсуваються по столу на підставну сушильну планку.

Після виштовхування брусків з матриці для запобігання налипання кристалів під час наступної зупинки верхня поверхня пуансона протирається зворотно-поступальним переміщенням спеціального протирального пристрою. Поверхню пуансона натирають за допомогою фетрової щітки стеарином з добавкою жиру (маргарину) і абрикосового масла.

За один оберт прес виконує чотири пресування, за цикл 24 пресування.

Матриці і пуансон виготовляються з латуні, тому що, контактуючи з брусками рафінаду, латунь як би полірується і зберігає гладку поверхню, до якої не прилипають кристали цукру.

Прес-гранулятор з кільцевою матрицею (рис. 8.13). Робочим органом пресувального механізму є матриця. Вона являє собою товстостінне перфороване радіальними фільерами кільце. Тиск в продукті створюється при взаємодії матриці 1 з іншим робочим органом – пресувальними роликами 2. Матриця і ролики з'єднуються в механізм, водило так, що пресувальні ролики перекочуються по робочій поверхні матриці.

Циліндрична зовнішня поверхня пресувального ролика має карбування, нанесене паралельно осі ролика або густу перфорацію наскрізними циліндричними отворами. Нерівності поверхні призначені для кращого зчеплення пресувального ролика з продуктом. Ролики встановлені таким чином, щоб зазор між робочими органами був мінімальний. Під час роботи гранулятора сипкий продукт безперервно подають на робочу поверхню матриці. Пресувальний ролик перекочується по шару продукту, стискає його, а потім проштовхує його в фільери матриці. Наступний пресувальний ролик проштовхує в фільери нову порцію, викликаючи рух спресованого продукту до виходу з фільери. Таким чином, при безперервному процесі

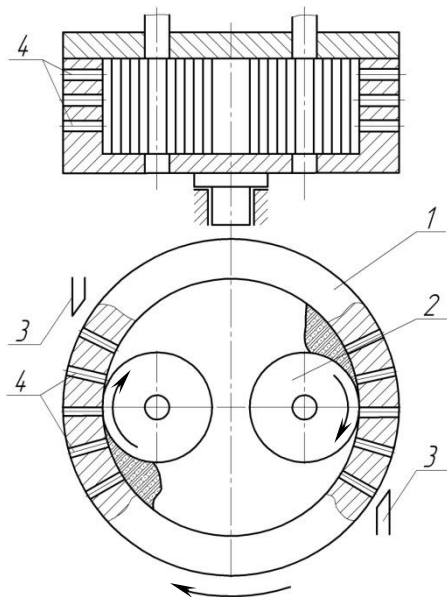


Рис. 8.13. Схема пресувального механізму з кільцевою матрицею і пресувальними роликками:

1 – матриця; 2 – пресувальні роликки; 3 – ніж для зрізання гранул; 4 – отвір в матриці (фільтри).

При основному розташуванні матриці і водила і наявності двох або трьох асиметрично розташованих пресувальних роликків згинальні зусилля від роликків врівноважують один одного, тому вали приводу матриці і водила звільняються від згинальних моментів.

Прес-гранулятор з плоскою матрицею (рис. 8.14). Пресувальні механізми даного типу мають матрицю 1, виконану у вигляді диска, в якому осі фільтер паралельні осі диска. Як і в попередньому пресі, встановлено від двох до п'яти пресувальних роликків 2. Пресувальні роликки приводить в рух водило 3.

Принцип роботи гранулятора з плоскою матрицею аналогічний роботі гранулятора з кільцевою матрицею. Встановлено, що при пресуванні в грануляторах відбуваються пружньо-пластичні деформації продукту.

перемішування пресувальних роликків по робочій поверхні матриці рух продукту в кожній фільтері відбувається періодично – тільки в момент проходу пресувального роликка над її вхідними отворами. За один прохід пресувального роликка гранула з вихідного отвору фільтери висувається на довжину до декількох міліметрів. Зазвичай такі механізми мають від одного до трьох пресувальних роликків. Механізми з одним пресувальним роликком застосовують в пресах малої потужності, оскільки при одному роликку зі збільшенням потужності виникають значні згинальні зусилля, що передаються на вали приводу матриця і водила.

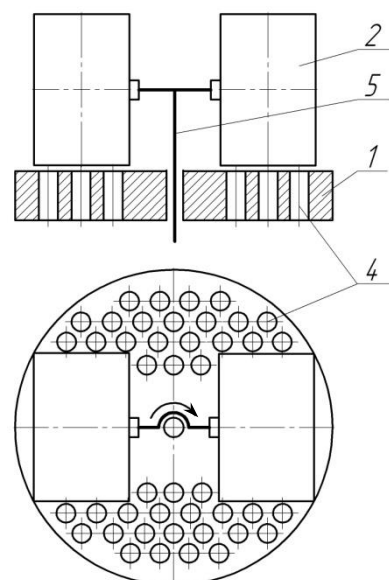


Рис. 8.14. Схема дискового прес-гранулятора:

1 – матриця; 2 – роликки; 3 – ніж для зрізання гранул; 4 – фільтери; 5 – водило роликків.

Напружений стан продукту визначається зовнішніми навантаженнями і механічними характеристиками – коефіцієнтом тертя об контактну поверхню і межею плинності при стисканні.

Ці характеристики продуктів обумовлюють продуктивність преса, сили, що діють на робочі органи пресувального механізму, витрати енергії на гранулювання. Експериментальними дослідженнями встановлено, що межа плинності продукту при одноосьовому стисканні і одночасній дії високого всебічного тиску зростає зі збільшенням останнього і цю залежність можна описати функцією:

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot b \cdot \sigma_c \quad (8.45)$$

де σ_{T0} – межа плинності при одноосьовому стисканні продукту, що знаходиться під впливом атмосферного тиску, Па; b – постійна; σ_c – межа

Залежність коефіцієнта тертя об сталеву контактну поверхню f від нормальної напруги δ_n може бути представлено у вигляді:

$$f = \frac{\tau_0}{\sigma_n} + f_1 + f_2 \sigma_n \quad (8.46)$$

де τ_0 , f_1 – постійні, що залежать від молекулярної взаємодії продукту і контактної поверхні; f_2 – постійна, що враховує деформаційну взаємодію частинок продукту на пружну контактну поверхню.

Межа плинності σ_T і коефіцієнт контактної дії f залежать від складу продукту, його температури і вологості. З підвищенням температури і відносної вологості ці механічні параметри зменшуються.

Формоутворення гранул в каналах фільтер (рис. 8.15). Для збільшення живого перерізу перфорованої частини матриці вхідні отвори фільтер виготовляють з діаметром більшим, ніж діаметр циліндричної частини їх каналів. Порожнина, що з'єднує вхідний отвір з циліндричним каналом, називається вхідною порожниною фільтер. Зазвичай фільтери виготовляються з конічною вхідною порожниною, яка пов'язана з циліндричним каналом (рис. 8.15. а, б).

Після досить тривалого терміну роботи матриці в результаті зносу твірна каналу фільтера набуває форму гладкої опуклої кривої (рис. 8.15, г). Встановлено, що форма вхідної порожнини зношеної фільтери не залежить від вихідних параметрів вхідної порожнини. На вихідній ділянці циліндричного каналу, а також у вихідній порожнині, якщо вона є, знос практично відсутній. Пресування продукту відбувається в каналі фільтери під дією тиску, створюваного робочими органами пресувального механізму біля місця їх найбільшого зближення.

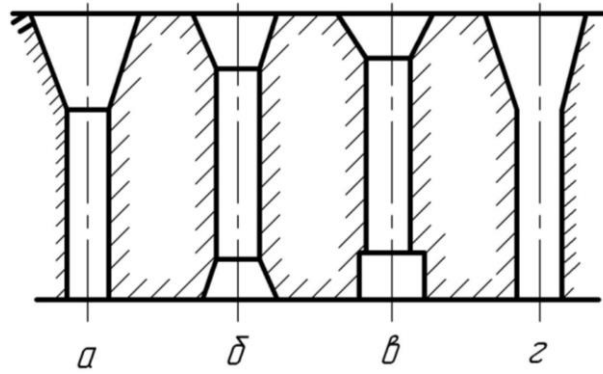


Рис. 8.15. Конструкція каналів фільтер:

а – фільтера, що складається з конічної вхідної порожнини і циліндричного каналу;
 б – фільтера, що складається з конічної вхідної порожнини, циліндричного каналу і конічної вихідної порожнини; в – фільтера, що складається з тороїдної вхідної порожнини циліндричного каналу циліндричної вихідної порожнини; г – канал зношеної фільтери.

Прес гранулятор СРМ-7700. Основою гранулятора є прес, який складається з редуктора і вузла пресування з вертикальною кільцевою матрицею і двома пасивними вальцями (ролерами) (рис. 8.16).

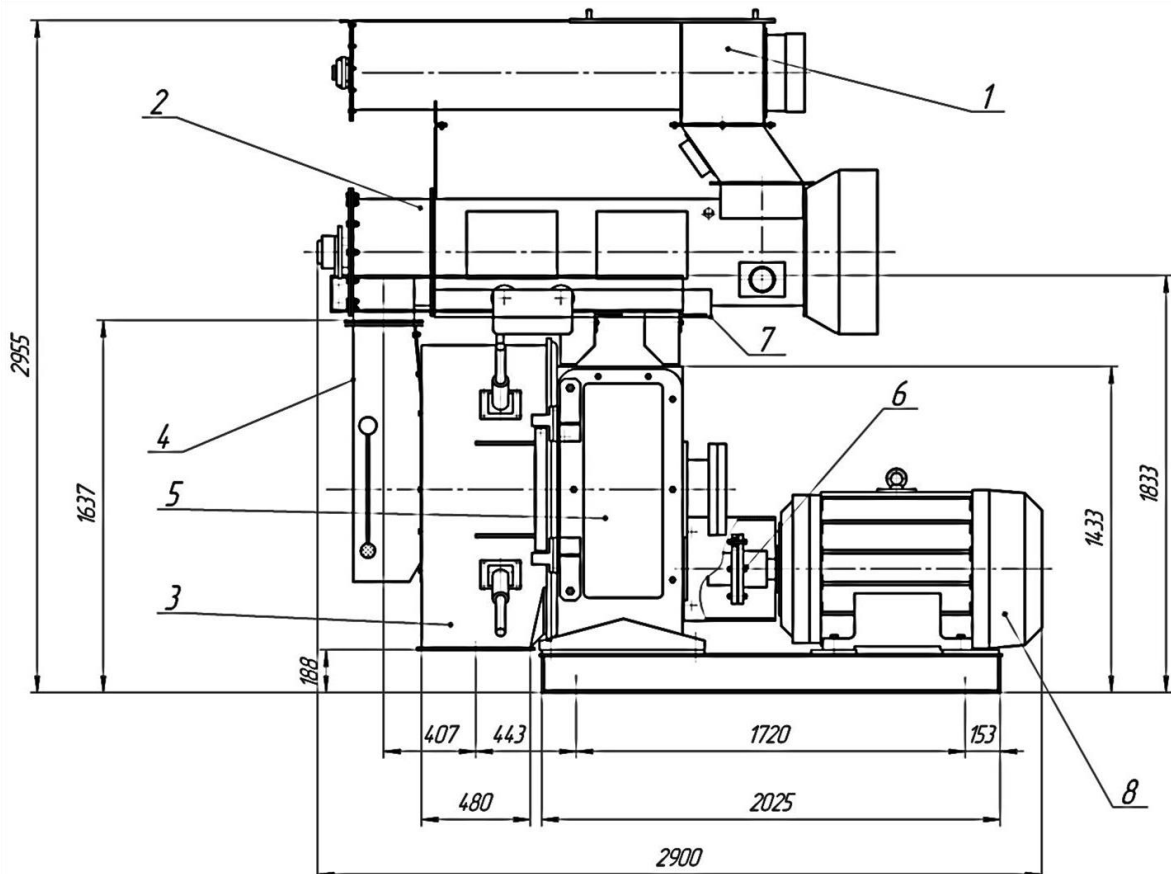


Рис. 8.16. Схема преса гранулятора.

1 – живильник; 2 – кондиціонер; 3 – гранулятор; 4 – лоток швидкого вивантаження;
 5 – редуктор; 6 – муфта; 7 – ручна таль; 8 – електродвигун.

У грануляторі використовується кільцева матриця, що обертається, з маленькими отворами, радіально просвердленими по кільцю. Усередині матриці знаходяться ролики з особливою зовнішньою текстурою поверхні. Кожен ролик прикріплений так, що між поверхнями матриці і ролика утворюється проміжок. Вузкий проміжок створює ефект насоса, який вдавлює продукт через матрицю. Проміжок можна відрегулювати обертанням валу ролика. Регулювання проміжку змінює продуктивність гранул і зменшує знос роликів і матриці.

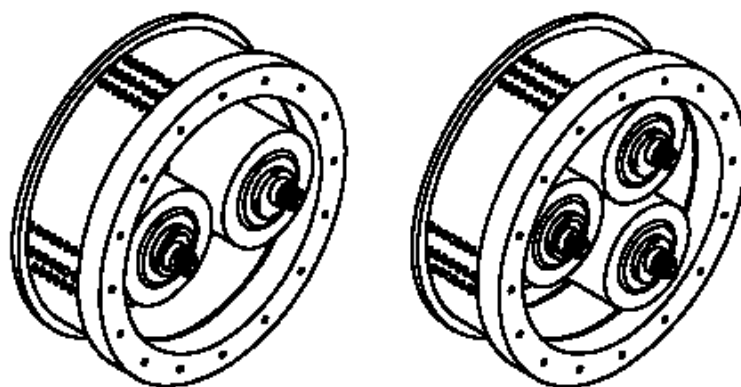


Рисунок 8.17. Матриця з роликами

Продукт поступає з виходу кондиціонера в завантажувальний лоток і порожнину матриці. Коли продукт поступає в матрицю, що обертається, відцентрова сила розподіляє продукт, створюючи шар на поверхні матриць. Потім продукт переміщується в отвір між матрицею і роликом.

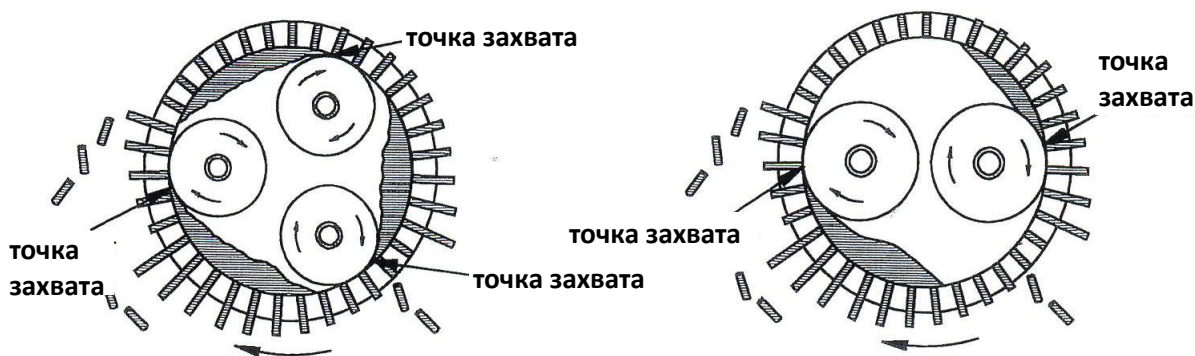


Рисунок 8.18. Подача продукту на матрицю

Обертова матриця управляється основною передачею. Ролики управляються потоком продукту. Високий тиск забезпечує втискування продукту в отвори матриці.

Комбінована механічна і теплова енергія утворюють гранули. Якщо продукт містить крохмаль, це хімічно розбиває (чи желатинуює) великі гранули крохмалю. Ця желатинізація покращує міцність гранул. Желатинізація ця головна перевага процесу гранулювання.

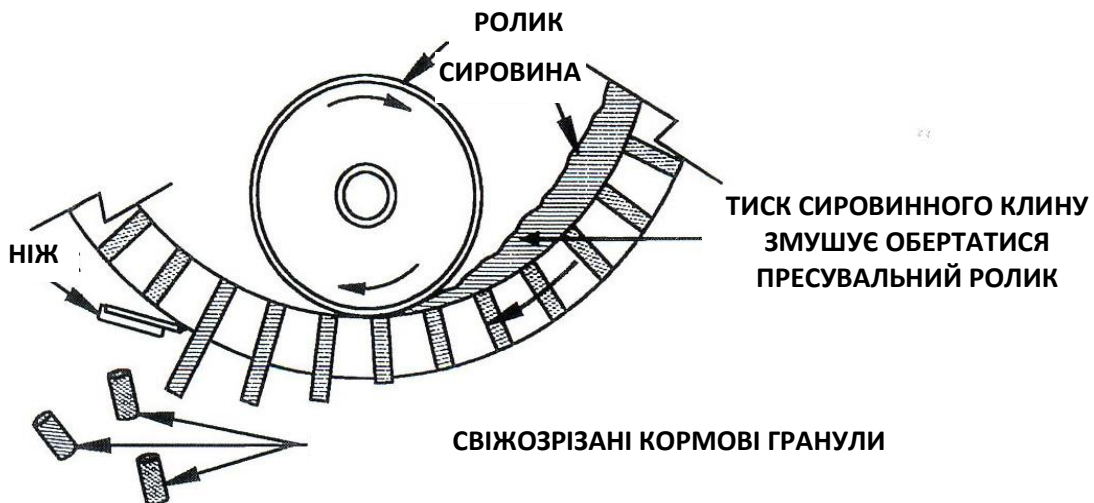


Рис. 8.19. Стиснення продукту і отримання гранул

Стискаюча сила на пресі проштовхує продукт в матрицю. Продукт виходить через отвори. Тертя виконує 2 важливі функції: підвищує компресію для кращого ущільнення продукту та виділяє тепло щоб обробити продукт.

Гранули обрізаються (довільна довжина), або можуть зрізуються ножами (менша довжина). Гранули з матриці, що обертається, збираються усередині камери для гранул і транспортуються конвеєром від гранулятора до наступного етапу грануляції(зазвичай в охолоджувач).

Дуже багато що залежить від кількості отворів в матриці, діаметру, довжини отворів, кількості тертя і тиску на гранули. Чим більше отворів, тим краще проходить продукт і тиск між матрицею і роликками зменшується. Зменшення тиску означає менше пресування продукту і означає тертя при проходженні гранул через матрицю зменшиться.

Найменший діаметр отворів дозволяє просвердлити більше отворів в матриці. Проте кількість отворів в матриці обмежена. Надто багато отворів послабляють матрицю. Діаметр отворів відповідає діаметру вироблюваних гранул. Висота отворів сильно впливає на кількість тертя гранул. Чим більше висота по відношенню до діаметру отвору, тим більше тертя гранул. Висота отворів визначається завтовшки матриці. Товщина матриць залежить від металургійної сили, а так само від думки виробника.

Живильник є конвеєром, використовуваним для просування матеріалу від кошику вгорі над гранулятором в кондиціонер. Привід з регульованою швидкістю дозволяє контролювати швидкість подання на гранулятор. Живильник виводить матеріал в кондиціонер, який має вал, що усередині обертається. Матеріал обробляється, пом'якшується і готуватися інжекційною парою (тепло і волога) в кондиціонері і механічно перемішується лопатями, встановленими на валу. Для поліпшення якості існує різноманітність кондиціонерів і парових сорочок.

Завантажувальний лоток направляє матеріал в порожнину матриці. Ворота розвантаження забезпечує відхилення матеріалу у разі перевантаження гранулятора.

Опціональне примусове подання – цей пристрій приведене мотором, таке, що забезпечує рівномірний розподіл по матриці. Камера гранул збирає гранули і направляє їх через єдиний отвір вниз, в наступну частину устаткування.

Пара для обробки сировини подається в кондиціонер паропроводом, мережею труб і хлипаків. Паросистема видаляє надлишок конденсату і контролює тиск і рівень пари, що подається на сировині.

Матриця є кільцем із загартованої сталі з отворами різної конфігурації, через які проходить матеріал і нарізається на гранули. Матриця обертається і приєднана до мотор-редуктору.

Вальці роликів мають оболонки із загартованої сталі, встановлюються на надпотужні роликові підшипники. Ролики забезпечують силу необхідну для подання матеріалу через отвори матриці.

Механізм налаштування роликів фіксує відстань між роликами і поверхнею матриці. Це забезпечує нормальний експлуатаційний знос поверхні матриці і роликів.

Ротаційний таблетувальний прес. Даний вид пресів набув найбільшого поширення в харчовій промисловості. В цих машинах продукт пресується пуансонами, вмонтованими в ротор по його колу на двох рівнях. Під час роботи пуансони переміщуються уздовж вертикальної осі завдяки копірам і пресувальним роликам, які призначені для їхнього верхнього і нижнього рядів.

При обертанні ротора пуансони, рухаючись в матриці заповненої попередньо таблетувальним матеріалом, стискають його з двох протилежних сторін. Таблетка виштовхується з матриці нижнім пуансоном при виведеному верхньому.

Таблетовані ротаційні машини діляться на два класи: в машинах першого класу пуансони котяться по копірам, другого класу – ковзають. Розрізняють машини однократної і багатократної дії, в якому кожна пара пуансонів за один оберт ротора формує одну або кілька таблеток.

Конструкція таблетувального ротаційного преса показана на рисунку 8.20.

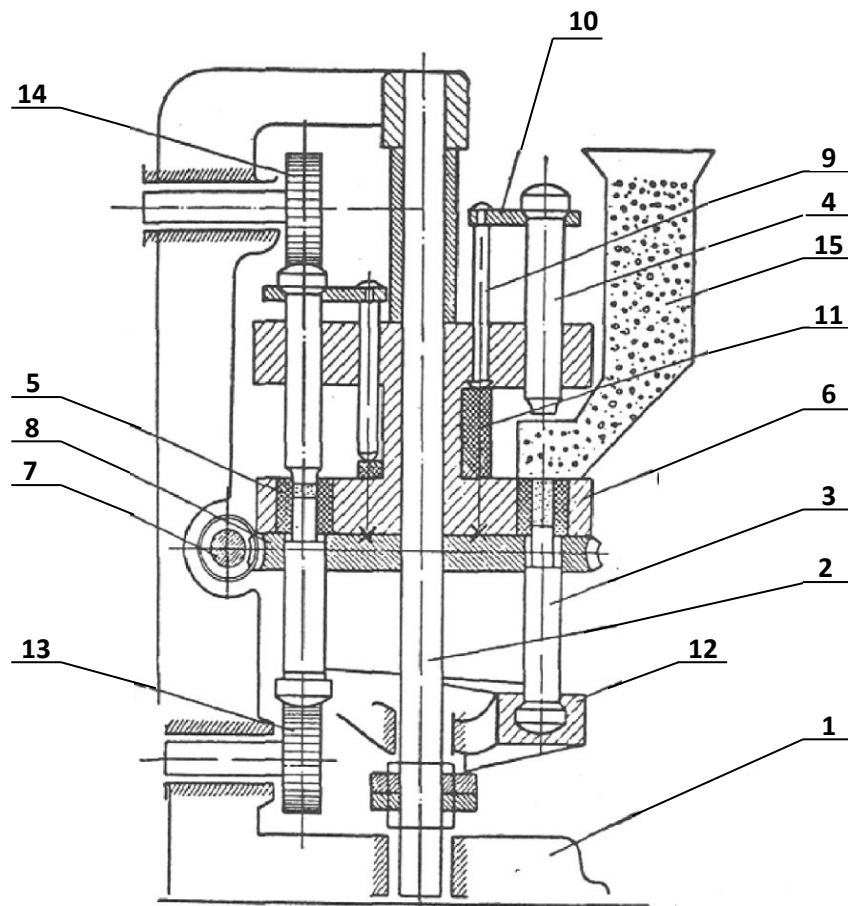


Рис. 8.20. Таблетувальний ротаційний прес:

1 – станина; 2 – нерухома вісь; 3, 4 – нижній і верхній пуансони; 5 – матриця; 6 – стіл; 7 – черв'як; 8 – черв'ячна передача; 9 – водило; 10 – пластина; 11 – нерухома напрямна; 12 – напрямна; 13, 14 – натискні ролики; 15 – бункер.

Роботу, затрачувану на пресування за один хід пуансона можна визначити за допомогою інтегрального рівняння, Дж:

$$A = \int_{h_0}^{h_k} S \cdot p \cdot dh \quad (8.47)$$

де S – площа поперечного перерізу матриці, m^2 ; h_0 і h_k – початкова і кінцева висота брикету, м; p – тиск пресування, Па; A – робота затрачувана на пресування за один хід пуансона, Дж.

Виходячи з витрат енергії на процес деформування, роботу на пресування можна визначити за формулою:

$$A = \varphi_D p \cdot V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \quad (8.48)$$

де φ_D – коефіцієнт повноти діаграми стиснення: коли тиск змінюється по прямій з постійним і рівномірним підйомом, то $\varphi_D = 0,5$; коли зміна тиску відбувається по вигнутій кривій, то $\varphi_D < 0,5$; V_1, V_2 – об'єм маси продукції до і після пресування.

Продуктивність таблетувальної ротаційної машини можна визначити за формулою:

$$Q = 60 \left(\frac{F}{P} \right) \cdot h \cdot \rho \cdot i \cdot m \cdot k \cdot n \quad (8.49)$$

де F – зусилля пресування, Н; P – тиск пресування, МПа; h – висота матеріалу в матриці до пресування, м; ρ – щільність пресованого продукту, кг/м³; i – кількість матриць в роторі, шт; m – кількість гнізд в матриці, шт; k – коефіцієнт багатопозиційності; n – частота обертання ротора, хв⁻¹.

Потужність при роботі таблетоформуального преса витрачається в основному на обробку продукції тиском (N_1) і подолання сил тертя при пресуванні. Потужність N_1 можна визначити за виразом:

$$N_1 = \frac{S \cdot P_{\max}}{10^3 \cdot k_p} \quad (8.50)$$

де S – пресувальна площа пуансона, м²; P_{\max} – максимальний тиск пресування в ексцентрикових пресах визначається в залежності від діаметра шийки d колінчастого вала – $p_{\max} = 47 \cdot 10^3 \cdot d^2$, кН/м², [$p_{\max} = (60,0 \dots 100) \cdot 10^3$ кН/м²]; z – кількість одночасно працюючих пуансонів; ϑ – швидкість руху пуансона, м/с; k_p – коефіцієнт усереднення тиску, $k_p = 2,25$.

Витрати потужності на подолання сил тертя при розрахунках можна прийняти в межах $N_2 = (0,2 \dots 0,4)N_1$

Контрольні питання до теми 8

1. Що називається пресуванням?
2. Які цілі переслідує пресування?
3. Які параметри входять до формули Пуазейля?
4. Які фактори, визначальні процес пресування, відносяться до I групи?
5. Які фактори, визначальні процес пресування, відносяться до II групи?
6. Дайте характеристику процесу екструзії?
7. Для яких операцій застосовується процес пресування?
8. Назвіть формулу основного закону пресування?
9. Які існують процеси утворення брикету?
10. В яких випадках відбувається віджимання рідини?
11. Назвіть основні фактори, що впливають на процес віджимання рідини.
12. Які спеціальні прийоми використовують при віджиманні?
13. Назвіть прийоми полегшувальні процес віджимання рідини
14. Які преси відносяться до відкритих?
15. Назвіть конструкції закритого типу.
16. З яких фракцій складається об'єм пресованого продукту?
17. Що називається ступенем ущільнення матеріалу?
18. Напишіть формулу визначення коефіцієнта ущільнення матеріалу.

19. Що називається коефіцієнтом поруватості?
20. Як пов'язані коефіцієнт поруватості і коефіцієнт ущільнення матеріалу?
21. Який зв'язок встановлює індикаторна крива пресування?
22. Яку зв'язок встановлює технологічна крива пресування?
23. Які сили діють на елементарний шар брикету?
24. Назвіть фактори умови пресування.
25. Які фактори визначають фізико-хімічні властивості пресованого продукту?
26. Поясніть пристрій і принцип дії карусельного дискового преса.
27. Накресліть схему гранулятора з кільцевої матрицею і поясніть принцип його роботи.
28. Накресліть схему преса гранулятора з пласкою матрицею і поясніть принцип його роботи.
29. Які бувають конструкції фільтр для утворення гранул?
30. Поясніть загальний пристрій преса гранулятора і принцип його роботи.
31. Як працює ротаційний таблетований прес?
32. Які параметри визначають продуктивність таблетувального преса?
33. Які параметри впливають на потужність таблетувального преса?

Тести для перевірки знань

- 1) Які цілі переслідує процес пресування харчових продуктів?
 1. Отримання зігнутої форми продукту
 2. Відділення рідини від твердого тіла
 3. Надання продукту певної форми
 4. Ущільнення матеріалів для підвищення їх міцності
- 2) Які чинники характеризують фізико-механічні властивості продукту при пресуванні
 1. Модуль пресованості, вологість
 2. Питомий тиск пресування
 3. Тертя продукту об прес-інструмент
 4. Форма і розміри брикету
- 3) Які чинники характеризують умови пресування?
 1. Режим пресування, питомий тиск
 2. Вологість, температура продукту
 3. Коефіцієнт бічного тиску
 4. Модуль пресованості

- 4) В якому технологічному процесі пресування застосовується метод екструзії?
1. Формування пластичних матеріалів
 2. Брикетування харчових продуктів
 3. Зневоднення продуктів
 4. Таблетування і гранулювання
- 5) Які прийоми не полегшують процес віджимання рідини з продукту
1. Збільшення довжини капіляра
 2. Збільшення пористості продукту
 3. Збільшення тривалості віджимання
 4. Збільшення тиску пресування
- 6) Які преси являються закритими або напівзакритими?
1. Шнекові зерні
 2. Тривальний віджимний
 3. Гідравлічний поршневий
 4. Стрічковий віджимний
- 7) За якою формулою визначається ступінь ущільнення матеріалу?
1. $\beta = \frac{V}{V_k}$
 2. $\varepsilon = 1 - \beta$
 3. $\varepsilon = \frac{V_{\text{воз}} + V_{\text{жид}}}{V}$
 4. $P = F/g$
- 8) Що називається поруватістю матеріалу?
1. Відношення сумарного простору між частинками до повного об'єму шару
 2. Ставлення щільності насипного матеріалу до істинної щільності матеріалу
 3. Відношення об'єму брикету до об'єму сухої речовини
 4. Ставлення ваги брикету до щільності його матеріалу
- 9) Як називається процес зменшення напружень в продукті після зняття навантаження пресування
1. Релаксація
 2. Деформація
 3. Повзучість
 4. Пластичність
- 10) Для чого застосовується процес зневоднення під тиском?
1. Для отримання соків, соняшникової олії
 2. Для отримання брикетів, брусків з вологого матеріалу
 3. Для отримання таблеток і гранул з чаю та кави

4. Для отримання макаронних виробів з рідкого тіста
- 11) Від яких величин залежить середня щільність брикету?
 1. Тиск стиснення, модуль пресованості, коефіцієнт ущільнення
 2. Час пресування, питома щільність матеріалу
 3. Сили тертя об форму, бічний тиск
 4. Поруватість шару, величина деформації
- 12) Який зв'язок між пористістю і ступенем ущільнення матеріалу
 1. $\varepsilon = 1 - \beta$
 2. $\varepsilon = \frac{V_{\text{воз}} + V_{\text{жид}}}{V}$
 3. $\beta = \frac{h}{h_k}$
 4. $i = \frac{D_H}{d_k}$
- 13) Які бувають способи екструзії?
 1. Холодний, тепловий, варильний
 2. Диспергований, гомогенізований
 3. Механічний, пневматичний
 4. Формувальний, змішувальний.

9.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ФОРМУВАЛЬНИХ МАШИН

Формування пластичних матеріалів застосовують в харчоконцентрантному, хлібопекарському, кондитерському, макаронному, комбікормовому виробництвах для додання виробам заданої форми. У хлібопекарському виробництві шматкам тіста додають певну форму в закатних машинах. У виробництві макаронних виробів тісто під великим тиском продавлюється через отвори в філь'єрах. У виробництві печива, цукерок та інших кондитерських виробів необхідну форму продукту отримують, застосовуючи різні способи використання тиску – штампування, видавлювання.

Формотвірні машини, пристосовані для виконання специфічних операцій харчової промисловості мають спеціальні назви. Так, шнеки, призначені для продавлювання через матриці гомогенізованої або пластифікованої суміші, називають *екструдерами*; для продавлювання макаронного тіста – *макаронними пресами*; для подачі до матриці і подрібнення на ній за допомогою обертового ножа м'ясних продуктів – *вовчками*; інших в'язкопластичних матеріалів – *диспергаторами*.

Типи і конструкції формувальних машин наведені на рисунку 9.1. За типом основного робочого органу їх підрозділяють на одно– і двошнекові, багатошнекові, дискові, поршневі, валкові, гвинтові, шестерні та комбіновані.

Конструкції формувальних машин можуть бути класифіковані: за частотою робочого органу – на нормальні і швидкохідні; за конструктивним виконанням – на стаціонарні з обертовим корпусом з горизонтальним розташуванням робочого органу, з вертикальним розташуванням робочого органу.

Найбільше застосування в харчовій промисловості отримали шнекові формотворчі преси та екструдери. Знайшли своє застосування в харчовій технології і машини, що штамнують і вальцюють тістові заготовки, заковчують в них начинку і формують кондитерські та хлібобулочні вироби, конструкції яких досить різноманітні і численні.

Штампувальні машини. Вони формують (відштамповують) вироби зі стрічки пластичного матеріалу, можливо з нанесенням рисунку. На штампувальних машинах виготовляють печиво, цукерки. Стрічка може переміщатися переривчасто або безперервно. В останньому випадку штампувальні пуансони переміщаються разом з нею.

У ротаційних штампувальних машинах пуансон вигравіювані на масивному валу, а стрічка притискається до нього валом з м'якого прогумованого матеріалу.

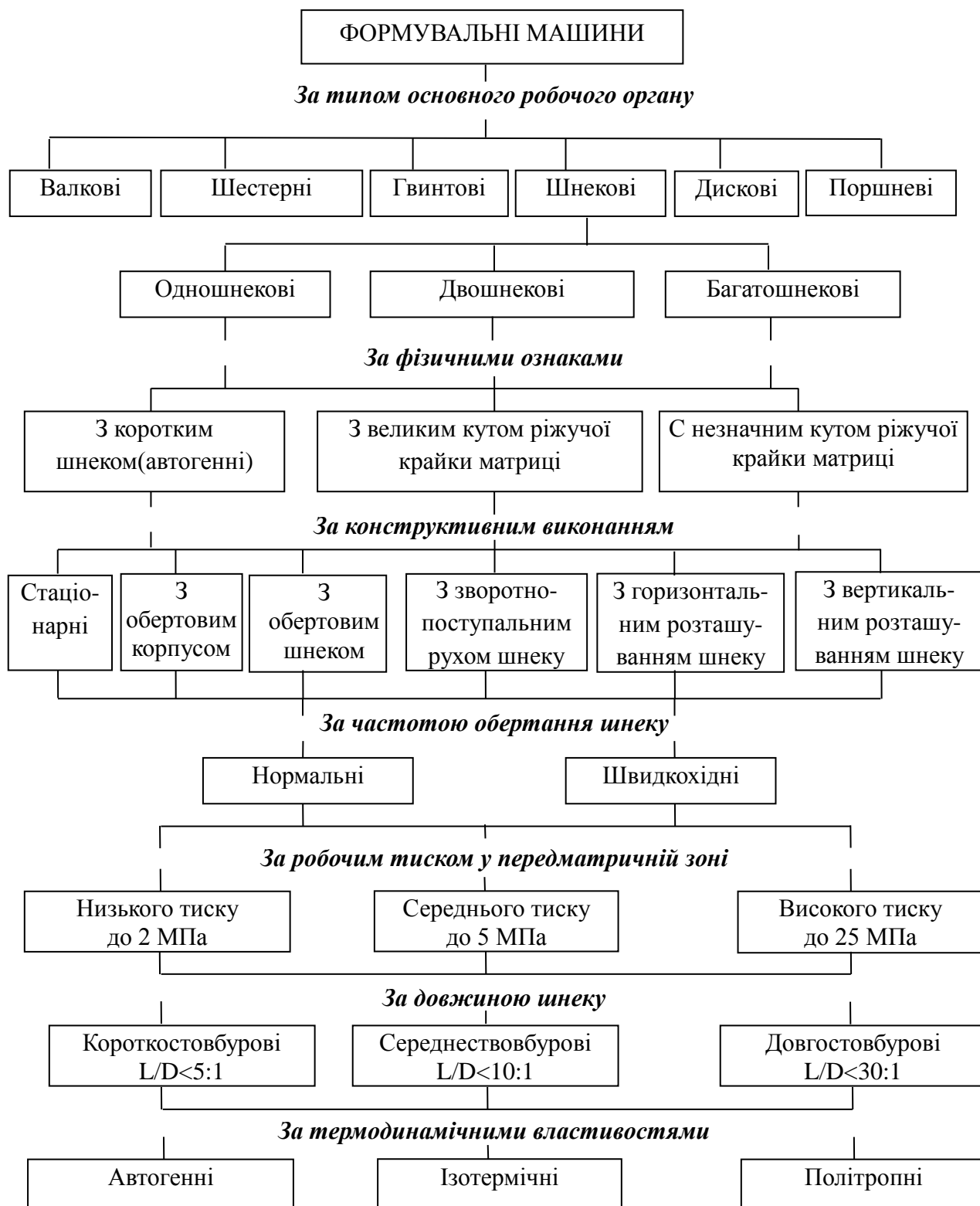


Рис. 9.1. Класифікація формувальних машин.

Вальцювальні машини. Застосовуються на хлібопекарських і кондитерських виробництвах. Вальцюють пласкі шари тестових матеріалів, циліндричні тестові заготовки батонів тощо. Шматок тіста потрапляє на плаский стрічковий конвеєр, затягується в простір між ним та іншим конвеєром, який рухається у зворотний бік, але з меншою швидкістю. При русі по цьому простору він набуває форму циліндра. Далі тістова заготовка потрапляє в простір між нерухомою площиною і конвеєром і при русі по ній набуває форму циліндричного батона. Тиск в таких машинах не перевищує 0,1 МПа.

Округлювальні машини. Такі машини застосовують для додання заготівкам округлої форми з гладкою зовнішньою поверхнею. Тістові заготовки в залежності від виду виробу мають різну масу і склад, тому вимагають різного механічного впливу. Формування здійснюється між двома поверхнями робочих органів машини. Поверхня, яка забезпечує переміщення заготовки, називається *несучою*, а поверхня, що надає їй певну форму шляхом зміни напрямку руху – *формувальною*. Залежно від форми, яку надає машина тістовій заготівці, розрізняють округлювальні машини, формувальні кулясті заготівки, закатні машини, формувальні подовжені циліндричні заготівки.

Округлення необхідне для згладжування всіх нерівностей на поверхні шматків і створення плівки, яка перешкоджає виходу газів з тіста при попередньому розстоюванні. Наявність плівки дає збільшення об'єму і рівномірну пористість м'якушки після випічки.

9.2. ПРОЦЕСИ ФОРМОУТВОРЕННЯ В ШНЕКОВИХ ПРЕСАХ

В одношнековому пресі при русі в'язкопластичних матеріалів уздовж циліндричного корпусу можуть розвиватися високі тиски. Температура матеріалу при цьому також істотно підвищується. Виходячи з пресу, стислий і нагрітий матеріал, потрапляє в інші умови, як правило, атмосферні. Це порушує усталений в ньому стан рівноваги. Явище переходу матеріалу в такий стан називається *тепловим шоком*. Відповідно до принципу Ле Шательє, в матеріалі починаються процеси переходу в новий стан рівноваги. Найбільш яскравий з них – закипання рідини, яка стала в нових умовах перегрітою. Зазвичай цей процес носить *характер вибуху* і призводить до зміни структури матеріалу. На основі використання явища теплового шоку побудовані такі технологічні процеси переробки харчових продуктів, як виготовлення повітряних паличок (кукурудзяних, круп'яних), руйнування оболонки крохмальних зерен при переробці крохмалевмісної сировини на спирт, виробництво повітряних пластівців. В процесі здавлювання і

нагрівання в'язкопластичних харчових мас, змінюються їх властивості, що створює можливість отримання принципово нових продуктів харчування.

Корпус шнека може підігріватися або охолоджуватися зовні. Що призводить до передачі теплоти деформовуваному матеріалу або до відведення теплоти від нього.

У шнекових пресах реалізуються такі основні процеси:

- просування матеріалу до матриці;
- нагрів матеріалу з використанням зовнішніх нагрівачів або шляхом перетворення механічної енергії його руху в теплову;
- пластифікація або зменшення в'язкості матеріалу;
- продавлювання матеріалу крізь матрицю.

У одношнекових пресах вирішальним фактором, що забезпечує переміщення матеріалу, є його взаємодія зі шнеком і стінками циліндра. Ця взаємодія визначається значеннями коефіцієнтів тертя на відповідних деталях. Для ефективної роботи преса ***тертя об шнек має бути малим і об стінки циліндра – великим***. Інакше при деяких значеннях цих параметрів можливе обертання матеріалу разом зі шнеком без просування в осьовому напрямку.

У гвинтових каналах одношнекового преса можуть реалізуватися течії у взаємно протилежних напрямках – до матриці і зворотно. Зворотний рух має місце як в самому каналі, так і в зазорі між шнеком і корпусом. Такі течії називають ***зворотними потоками***, зумовленими перепадом тисків і витоком. Витік може бути нехтовно малим при зменшенні зазору або в разі пресування високов'язкого матеріалу. Зворотний потік цими засобами ліквідований бути не може, наявність перепаду тисків уздовж каналу шнека, який спонукає рух назустріч основному потоку – природна властивість шнекового преса. Таким чином, якщо співвідношення коефіцієнтів тертя на поверхнях шнека циліндра визначає тиск, що створюється пресом, то співвідношення прямого і зворотного потоків – витрата матеріалу через прес та інтенсивність перемішування.

Перемішування матеріалу в каналах шнекового преса обумовлено зовнішнім і внутрішнім ефектами. ***Зовнішній ефект*** визначається наявністю прямого і зворотного потоків в одному каналі. При цьому поблизу поверхонь рухомого шнека матеріал рухається в прямому напрямку (вздовж каналу до матриці, а поблизу нерухомої поверхні корпусу – в зворотному напрямку). В результаті кожна частка матеріалу рухається по статичним законам, то в один, то в інший потік і опиняючись то на поверхні, то в глибині каналу шнека. Це визначає інтенсивне перемішування матеріалу. Причиною ***внутрішнього ефекту*** служить відмінність швидкостей руху окремих шарів матеріалу з-

через внутрішнє тертя. Це перемішування відбувається у відносно менших масштабах і сприяє гомогенізації матеріалу.

У *багатошнекових пресах* зі шнеками, які знаходяться в зачепленні, поступальний рух матеріалу не залежить від коефіцієнтів тертя об поверхні; в них відсутній і зворотний потік. Рух матеріалу збуджується переміщенням в осьовому напрямку поверхні виступу одного зі шнеків увпадині іншого, по мірі їх обертання. Це призводить також до відсутності перемішування матеріалу в порожнинах шнека і до пульсацій подачі матеріалу через матрицю в разі нерівномірного заповнення каналів шнека на вході в нього.

9.3. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ РОЗРАХУНКУ ФОРМОТВОРЧИХ ПРЕСІВ.

Розглянемо в якості прикладу макаронний прес (рис. 9.2), який являє собою складний безперервно працюючий агрегат. Він складається з тістозмішувача з дозаторами борошна і води, та преса безперервної дії. Привод преса забезпечує безперервне обертання валу тістозмішувача і пресувального шнека. У тістозмішувачі інтенсивно перемішуються борошно і вода, які періодично дозуються, в результаті чого утворюється тістова маса. Приготоване таким чином тісто надходить на однозахідний шнек, що складається з двох частин. У кільцевій камері при переході тіста з одного шнека на інший, підтримується вакуум та з тіста видаляються повітря і водяна пара. В кінці корпусу преса встановлена сорочка, по якій циркулює охолоджуюча вода. У частині, близької до пресувальної головки, сирі макаронні вироби, які виходять з матриці, обдуваються повітрям, яке підсушує і охолоджує їх поверхню.

Прес макаронний МШ–35С призначений для виробництва макаронних виробів різної конфігурації. Застосовується на дрібних підприємствах громадського харчування, індивідуальних господарствах. Експлуатація преса допускається в закритих приміщеннях, які відповідають вимогам до приміщень для технологічних процесів виробництва харчових продуктів.

На рисунку 9.2 дана схема макаронного шнекового преса «Мішель» – 35С і дана його технічна характеристика.



Рис. 9 .2. Схема шнекового преса МС–35С:

1 – рама; 2 – мотор–редуктор; 3 – кулачково-дискова муфта; 4 – кожух;
5 – пасова передача; 6 – бункер змішувача; 7 – гвинт фіксатор; 8 – бункер
формувального шнека; 9 – привод механізму різання; 10 – матриця.

Прес складається з рами 1, закріпленого на ній мотор-редуктора 2, який, у свою чергу, з'єднується за допомогою кулачково-дискової муфти 3 і зубчастої та клинопасової передач з двома валами: валом шнека і валом змішувача. Вал шнека розміщений у корпусі підшипників на двох радіальних №208 і упорному №8113 підшипниках.

Вал змішувача розміщений на двох опорах 8 з підшипниками №203, опори прикріплені до бокових стінок бункера змішувача 6. Шнек преса суцільний – виконаний заодно з валом. Головка преса розрахована на круглу матрицю з товщиною 22 і 28 мм. Механізм різання встановлений на накидній гайці і приводиться у дію через клинопасову передачу (на фото не показана). Зубчаста та клинопасова передачі привода змішувача закриті захисними кожухами (кожух пасової передачі не показаний).

Нижня частина бункера-змішувача 8 з'єднана з вікном корпусу шнека, в середині якого встановлено формувальний шнек. Шнек виготовлений заодно з валом. В середину накидної гайки вставляється матриця 10 з фільєрами під заданий вид продукції. Механізм різання, встановлений на накидній гайці, приводиться в дію за допомогою гумового кільця, яке з'єднує його зі шківом привода різання 9, закріпленого на вільному кінці валу змішувача,

встановленого в бункері формувального шнека 8. Циліндрична зубчаста захищена кожухом 4.

Основним експлуатаційним показником макаронного преса є його продуктивність. Її розраховують за запропонованою М.Н. Караєвим формулою, кг/год:

$$Q_{\Pi} = 0,25 \cdot 10^{-6} m \cdot y \frac{D_2^2 - D_1^2}{4} \cdot \left(S - \frac{b_1 + b_2}{2 \cos \alpha} \right) \cdot n \cdot k_H \cdot k_Y \cdot k_{\Pi} \quad (9.1)$$

де m – кількість заходів шнека; y – кількість шнеків; D_2 – зовнішній діаметр шнека, м; D_1 – внутрішній діаметр шнека, м; S – крок гвинта шнека, м; b_1 – ширина гвинтової лопаті за внутрішнім радіусом, м; b_2 – ширина гвинтової лопаті шнека в нормальному перерізі за зовнішнім радіусом, м; α – кут підйому гвинтової лінії лопаті за середнім діаметром шнека, град; k_H, k_Y, k_{Π} – коефіцієнти, які враховують відповідно наповнення шнека, ущільнення тіста і подачу тіста шнеком.

Коефіцієнти наповнення, ущільнення і подачі тіста можна визначити з наступних виразів:

$$k_H = -0,314 \frac{S}{D_2} + 0,689; \quad k_Y = \frac{\rho_H}{\rho_{m3}}; \quad k_{\Pi} = 0,9 \dots 0,95$$

де ρ_H – насипна щільність тіста, кг/м³, ($\rho_H = 719$ кг/м³); ρ_{m3} – щільність пресованого тіста до виходу з матриці.

Коефіцієнт наповнення k_H – ступінь наповнення простору в шнековому каналі тістом в діапазоні значень $S/D_2 = 0,6 \dots 1,0$. Коефіцієнт ущільнення k_Y тіста враховує зменшення його об'єму в шнековому каналі. Коефіцієнт подачі показує наявність обробленого потоку тіста в шнеку, тобто характеризує роботу шнека як транспортувального елемента.

Потужність приводу пресувального шнека (кВт) можна розрахувати за формулою:

$$N = \frac{A_0 \cdot \eta_{\Pi}}{6 \cdot 10^4 \eta} \quad (9.2)$$

де A_0 – робота рушійної сили процесу за один оберт шнека, Дж; η – ккд передачі від вала двигуна до вала приводу шнека.

Робота рушійної сили A_0 витрачається на роботу A_1 подачі сировини, роботу A_2 тертя поверхні пресової камери і на роботу A_3 тертя об витки шнека:

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 \quad (9.3)$$

Перелічені роботи визначаються з рівнянь:

$$A_1 = P_1 \cdot S_1 = S_1 \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot P \cdot 10^6 \quad (9.4)$$

$$A_2 = P_2 \cdot f \cdot S_1 = f \cdot S_1 \frac{\pi \cdot D_2 \cdot P \cdot 10^6 \cdot L_{\Pi}}{4} \cdot f \cdot S_1 \quad (9.5)$$

$$A_3 = f(P_3 + q \cdot \operatorname{tg}\alpha) = f \left[\frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4} P \cdot 10^6 + q \cdot \operatorname{tg}\alpha \right] \pi D_c \quad (9.6)$$

де P_1 – сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз шнека, (Н); P_2 – сумарне навантаження від тиску на внутрішню поверхню шнекової камери, (Н); P_3 – сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз потоку тесту, (Н); f – наведений коефіцієнт загального опору просуванню тесту; q – рушійна сила (обертота), діюча на шнек (Н).

Другим, не менш важливим експлуатаційним показником макаронного преса є продуктивність за сухими виробами кг/год:

$$Q_m = 3600 \cdot \vartheta_{\Pi} \rho_{m3} F \frac{100 - W_T}{100 - W_{\text{изд}}} \quad (9.7)$$

де ϑ_{Π} – швидкість руху тіста по формувальним каналам, м/с; F – площа живого перерізу матриці, м², в залежності від виду виробу; W_T – вологість тіста, %; $W_{\text{изд}}$ – вологість сухих виробів, %; ρ_{m3} – щільність пресованого тіста до виходу з матриці, кг/м³.

Швидкість руху тіста по формувальним каналам матриці ϑ_{Π} залежить від форми перерізу каналу (рис. 9.3.):

а) для трубчастих виробів (макаронів):

$$\vartheta_{\Pi} = \vartheta_0 + \frac{1}{4\mu} (\Delta P + \rho_{m3} \cdot g (\ln \frac{R_H}{R_B})^{-1} \left[(R_H^2 - R_B^2) \cdot \ln \frac{r}{R_B} - (r^2 - R_B^2) (\ln \frac{R_H}{R_B}) \right]) \quad (9.8)$$

де ϑ_0 – швидкість ковзання (приймається $\vartheta_0 = 0$); μ – динамічна в'язкість, яка залежить від в'язкості макаронного тіста, Па·с, ($\mu = 0,4 \cdot 10^4 \dots 0,3 \cdot 10^6$ Па·с); ΔP – перепад тиску за довжиною формувального каналу, Па/м; g – прискорення вільного падіння, м²/с; R_H і R_B – відповідно зовнішній і внутрішній радіуси отворів трубки макаронів, м (рис. 9.3); l – довжина формувального отвору, м.

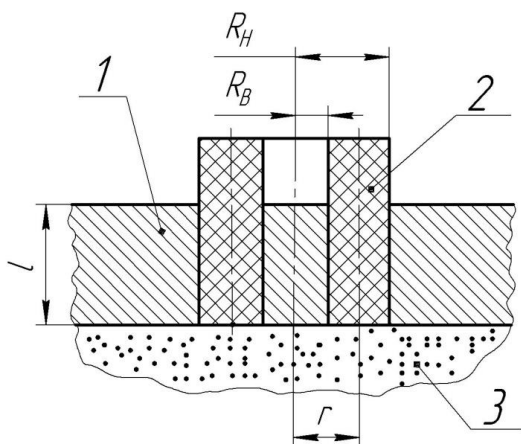


Рис. 9.3. Схема проходження тіста по кільцевому каналу матриці: 1 – матриця; 2 – макарони; 3 – макаронне тісто.

б) для вермішелі:

$$\vartheta_{\Pi} = \vartheta_0 + \frac{R^2}{4\mu} (\Delta P + P_g \left[\left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \right]) \quad (9.9)$$

де R – радіус перерізу формувального отвору, м.

в) для локшини:

$$\vartheta_{\Pi} = \vartheta_0 + \frac{1}{4\mu} (\Delta P + P_g) \left(\frac{l^2 + a^2}{2} \right) \quad (9.10)$$

Дана методика розрахунку найчастіше використовується для визначення продуктивності вже існуючих типів матриць, які серійно випускаються промисловістю, але вона може бути використана і для проектних розрахунків.

9.4. ФОРМУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ ЕКСТРУЗІЇ

Екструдувати – в буквальному розумінні означає «**виштовхувати назовні**». Формування харчових продуктів проводять в екструдерах шляхом розм'якшення або пластифікації і надання їм форми продавлюванням через екструзійну головку, переріз якої відповідає конфігурації виробу.

Екструзія буває холодною, теплою і гарячою (варильною).

Холодна екструзія – відбувається тільки механічне формування пластичної сировини в результаті продавлювання її через матрицю. Цей вид екструзії застосовують при виробленні борошняних виробів, макаронів, плавлених сирів, цукеркових мас, м'якого фаршу та інших продуктів.

Тепла екструзія – використовується для часткової клейстеризації крохмалевмісних матеріалів вологістю 20 ... 30% з подальшим обсмажуванням або випіканням.

Гаряча (варильна) екструзія – характерна тим, що під час нагрівання (температура обробки сировини перевищує 100°C) в перероблюваному матеріалі відбуваються необхідні біохімічні зміни, перш за все білків, крохмалю і клітковини. Цей процес проводять при високих швидкостях і тисках, значному переході механічної енергії в теплову. Отриманий таким чином, екструдований продукт сушать або обсмажують і покривають смаковими добавками. Способом варильної екструзії отримують сухі сніданки, хлібці, сухі напої, супи, м'ясопродукти, дитяче харчування, гранульовані корми.

Готовий продукт або напівфабрикат, вироблений на екструдері, називається **екструдатом**. Його форма визначається конфігурацією отворів в матриці, яку встановлюють на виході матеріалу з екструдера. Особливе значення мають такі параметри, як кількість теплової енергії, що утворюється в процесі екструдкування за рахунок механічного перетворення енергії, температури під час проведення процесу, вологості екструдованої маси.

Найбільш складним і трудомістким є процес гарячої (варильної) екструзії. Даний процес здійснюється наступним чином. Підготовлена вихідна сировина у вигляді гранул або порошку з живильного бункера через завантажувальний отвір надходить до шнеку, який переносить його вздовж корпусу (рис. 9.4).

Продукт всередині робочої камери рухається за складною траєкторією, при цьому збільшується ступінь стиснення, яка визначається відношенням площі робочого каналу до сумарної площі фільтер на виході продукту з профілюючої матриці. Таким чином, в ході процесу вихідний

крохмалевмісний матеріал, після термомеханічної декструкції, переходить з дисперсного сипкого стану в пружно-в'язко-пластичну масу (гель), характерну для крохмальних клейстерів високих концентрацій і денатурованих білків.

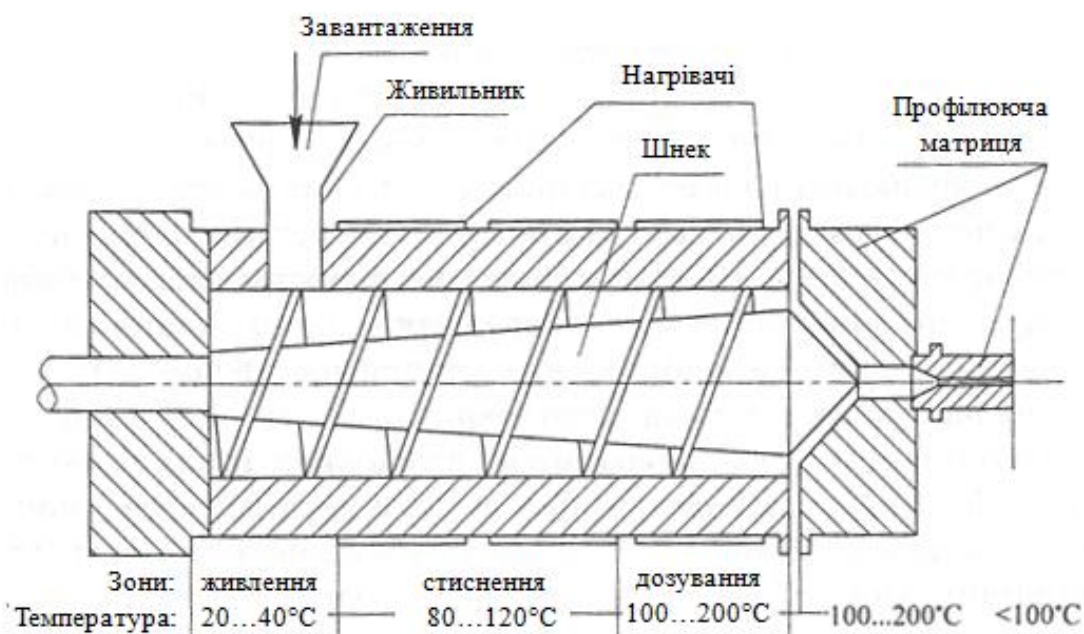


Рис. 9.4. Технологічні зони і зміни параметрів процесу по довжині робочої зони екструдера

Ці перетворення відбуваються при дії на сировину з необхідною кількістю вологи (до 20%), високих температур (до 200°C) і тиску (до 25 МПа). Нагрівається продукт як в результаті перетворення механічної енергії робочих органів машини в теплову енергію (продукт, під час ущільнення, прогрівається за рахунок сил тертя частинок об поверхню обертових робочих органів та деформації зсуву в самому продукті) – автогенний режим роботи, так і внаслідок додаткового регульованого нагріву від зовнішнього джерела тепла, наприклад, електрообігріву – політропний режим роботи. Утворювана маса переміщується шнеком до матриці і при певному тиску випресовується через її отвори.

Величина тиску в значній мірі обумовлена опором отворів матриці, конфігурацією шнека і структурно-механічними властивостями оброблюваної маси. Після виходу продукту з отворів матриці в результаті різкого перепаду температури і тиску (між зоною високого тиску (25 МПа) і зоною атмосферного тиску) відбувається миттєве ($1,2 \cdot 10^{-4} \text{C}$) випаровування вологи, акумульована продуктом енергія вивільняється зі швидкістю приблизно рівною швидкості вибуху, що призводить до утворення пористої структури і випинанню екструдату.

9.5. КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКСТРУДЕРІВ

Розглянемо класифікацію шнекових екструдерів за конструктивними ознаками (рис. 9.5). Крім того, екструдери можуть бути класифіковані за геометричною формою, механічним, функціональним або термодинамічним параметрам, оскільки вони впливають на хімічні і структурні характеристики екструдованих продуктів.



Рис. 9.5. Класифікація шнекових екструдерів.

Шнекові екструдери в порівнянні з аналогічними формувальними машинами мають багато переваг.

Однією з характерних особливостей екструдерів є те, що їх коефіцієнт теплопередачі досить високий і навіть в разі переробки в'язких матеріалів можливий гомогенний теплообмін протягом короткого проміжку часу (близько 30 с).

Таким чином, екструдери можна вважати теплообмінниками з гарними параметрами. Багато продуктів харчування чутливі до нагрівання, тому піддавати їх тепловій обробці необхідно швидко. Використовуючи екструдери, можна здійснювати високотемпературну обробку протягом

короткого проміжку часу – зокрема, проводити стерилізацію в'язких матеріалів, що раніше було важко здійснити.

Наступна перевага екструдерів полягає в тому, що високотемпературна обробка проводиться практично в герметичному об'ємі. Створити в ньому температуру близько 200°C не складно, а з огляду на те, що при такій температурі тиск навіть водяної пари перевищує 1,5 МПа, відомі пристрої типу котлів можна вважати судинами високого тиску. Установки такого типу безперервної дії мають досить складну конструкцію, тому для переробки в'язких матеріалів не використовуються. Екструдери ж дозволяють отримати дуже високі тиски. Здійснювати екструдювання з тиском стиснення 10 МПа і більше, не становить особливих труднощів. При такому високому тиску в екструдері виникають великі сили зсуву, завдяки чому з'являється можливість, наприклад, формувати волокнисту структуру з білків рослинного походження (тобто отримувати вироби, які імітують м'ясо), що неможливо в умовах традиційної технології теплової обробки. Завдяки високому тиску значно скорочується час варіння. Крім того, коли в умовах такого тиску на виході профілюючого пристрою тиск різко падає до атмосферного, відбувається розбухання, що дозволяє здійснювати формування в'язких матеріалів. Перегріта пара буквально підриває видавлений матеріал, що призводить до збільшення його об'єму (випинання).

Перевага екструдерів полягає також у тому, що вони забезпечують рівномірність перемішування протягом короткого проміжку часу. Слід зазначити, що можливості екструдерів подібні відомим тістомішалкам і змішувачам сипких матеріалів. Змішувальна здатність екструдерів залежить від типу шнеків і їх компоновання, частоти обертання.

Екструдери дозволяють за рахунок високого тиску, температури великих зсувних напружень значно зменшити тривалість технологічних операцій. При цьому за рахунок поєднання кількох операцій скорочується тривалість всього технологічного процесу, що дозволяє зменшити трудомісткість і скинути енергоспоживання.

Процес екструзії дозволяє цілеспрямовано змінювати властивості і структуру перероблюваного матеріалу, забезпечує безперервність процесу, а також можливість обробляти матеріал ароматизаторами, барвниками, пластифікаторами та смаковими домішками.

9.6. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ФОРМОВАНИЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Однією з найважливіших задач в області одношнекової екструзії є створення такої математичної моделі процесу, яка дозволяла б прогнозувати

якість екструдата і враховувати необхідні показники якості при розрахунку або виборі геометричних параметрів шнека.

Якість екструдата і продуктивність екструзійної машини в значній мірі визначаються режимом роботи дозуючої (останньої за ходом руху продукту) зони шнека, де і відбуваються в основному структурні перетворення поживних речовин – білків, крохмалю і клітковини.

Математичні моделі одношнекової екструзії полімерів, найзручніше розділити на три основні групи:

- гідродинамічні моделі;
- геометричні моделі;
- реологічні моделі.

Так, наприклад, Мак-Келві отримав вираз для визначення *об'ємної* продуктивності зони дозування Q_V , м³/с:

$$Q_V = F_D \frac{u_z h W}{2} - \frac{h^3 W}{12 \mu_H} \left(\frac{dP}{dz} \right) F_P \quad (9.11)$$

де u_z – компонента швидкості руху корпусу щодо шнека в напрямку z (ось z орієнтована уздовж осі гвинтового каналу), м/с; h – глибина каналу шнека, м; W – ширина каналу, м; μ_H – в'язкість ньютонівської рідини, Па·с; dP/dz – градієнт тиску по осі каналу z , Па/м; F_D і F_P – безрозмірні коефіцієнти форми, що враховують вплив на розподіл потоків співвідношення h/W (значення F_D і F_P завжди менше одиниці, вони відображають гальмівний вплив стінок каналу на продуктивність).

Ця формула придатна для якісного розуміння механізму руху і створення тиску на продукт, а також для приблизних оцінок продуктивності екструдера.

Математична модель, запропонована В.А. Силінім, є прикладом *геометричного підходу* до вирішення задачі моделювання процесу екструзії біополімерів для зони дозування і дозволяє визначити продуктивність екструдера в цій зоні Q_Γ кг/год:

$$Q_\Gamma = \frac{\pi(D^2 - d_D^2)(H - e) 60n\gamma}{4} \eta_D - \left(1 - \frac{P_\Gamma}{P_{\max}} \right) \quad (9.12)$$

де D – зовнішній діаметр шнека, м; d_D – діаметр сердечника черв'яка в зоні дозування, м; H – крок шнека, м; e – осьова ширина витків шнека, м; n – швидкість обертання шнека, с⁻¹; γ – щільність розтопу в каналі черв'яка в зоні дозування кг/м³; η_D – коефіцієнт осьового переміщення розтопу в каналі черв'яка в зоні дозування; P_Γ – протитиск екструзійної головки, Па; P_{\max} – максимальний тиск, що створюється всіма витками черв'яка при закритій голівці, Па.

В основу цієї моделі покладено теорію транспортуючих черв'яків, згідно з якою рух полімерів в каналі черв'яка розглядається, як передача частини об'єму одного витка за один оборот.

Найбільш точно реальну фізичну картину процесу екструзії відображають *реологічні моделі*. Реальний рух розтопу полімеру в зоні дозування – це тривимірна неізотермічна течія аномально в'язкої рідини. Однак, отримані формули розрахунку продуктивності Q_p досить громіздкі і трудомісткі в розрахунках. Найбільш компактне рівняння отримано І.Е. Груздєвим для розрахунку продуктивності дозуючої зони екструдера Q_p , $\text{м}^3/\text{с}$, за ізотермічних умов течії аномально в'язкої рідини зі складним зсувом.

$$Q_p = q_x q_{\max} \eta v_0 h S i \quad (9.13)$$

де q_x, q_{\max} – безрозмірні витрати продукту; η – коефіцієнт проковзування; v_0 – окружна швидкість черв'яка, $\text{м}/\text{с}$; S – ширина каналу, м ; i – число заходів шнека.

Для двошнекових машин найбільш досконала модель розроблена В. С. Кімом на основі дослідження гідродинаміки процесів в каналах зачеплення і характеристик модельних екструдерів. Аналіз характеристик таких екструдерів з урахуванням опору каналу обробленому течією робочої рідини з формувального інструмента показав, що продуктивність двошнекових машин виражається у вигляді:

$$Q_{ds} = Q_{ds}^{\max} - \Delta Q_{ps} - \Delta Q_c \quad (9.14)$$

де Q_{ds}^{\max} – максимальна продуктивність екструдера, розрахована з умови поступального руху секцій без витоків, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔQ_{ps} – витoki в зазорах зачеплення під дією тиску в формувальному інструменті, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔQ_c – витoki під дією градієнтів тисків в каналі черв'яка, $\text{м}^3/\text{с}$.

Таким чином, наявні моделі зон дозування двошнекових екструдерів дозволяють отримати з певним ступенем наближення математичний опис процесу екструзії і розрахувати його основні характеристики, що є достатнім для вирішення деяких завдань оптимізації роботи екструдерів.

9.7. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ ЕКСТРУЗІЇ

Одношнекові екструдери.

Технологічна частина складається з корпусу, оснащеного нагрівальними і охолоджувальними елементами; робочого органу (шнека), розміщеного в корпусі; профілювальної матриці (фільєри); вузла завантаження перероблюваного продукту; силового приводу; системи задання і підтримки температурного режиму та інших контрольно-вимірювальних і регулювальних пристроїв. Корпус і шнеки можуть бути виконані з окремих

секцій. Кожна секція має отвори для встановлення термопар і датчиків тиску (рис. 9.6).

Корпус екструдера, як правило, обігривається електричними нагрівачами опору, а шнеки за необхідності охолоджуються водою, що циркулює через отвір в секціях корпусу або в порожнистих валах шнека.

Шнеки, корпус, а також вузол завантаження продукту виготовляють з високоміцної зносостійкої сталі (азотовані сталі, що містять хром і нікель). Шнеки можуть збиратися з окремих замінних елементів різної конфігурації, послідовно утворюючи зони завантаження, змішування пластифікації і дозування. Технологічною особливістю цих зон є наявність фазових переходів стану продукту і відмінність його фізико-хімічних властивостей за довжиною шнека.

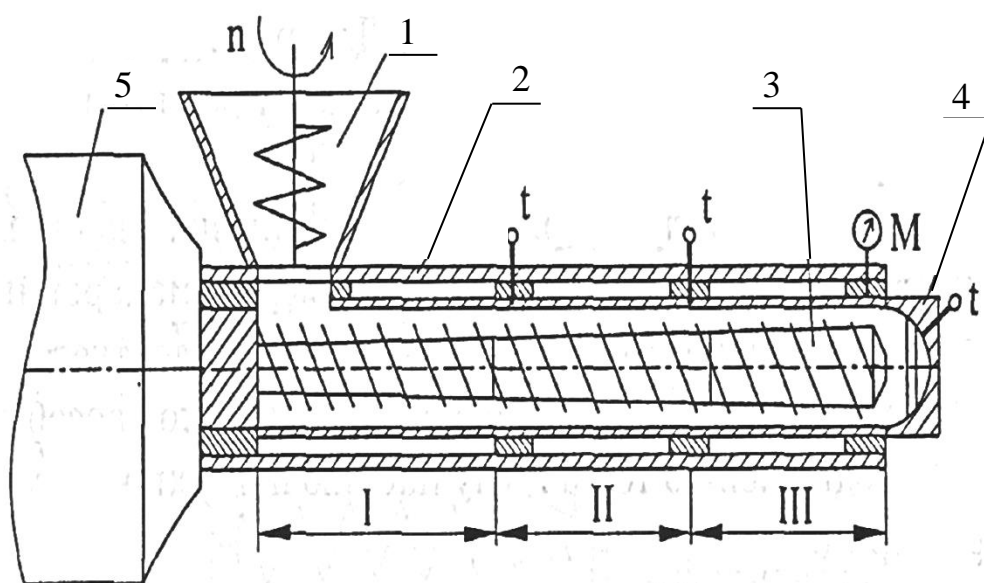


Рис. 9.6. Схема одношнекового екструдера:

1 – завантажувальна лійка; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – фільтри; 5 – привод; t – термопари; M – датчик тиску.

Конструкція завантажувальних пристроїв екструдерів залежить від виду матеріалу. Для завантаження сипкої суміші з невеликою насипною щільністю ($100 \dots 400 \text{ кг/м}^3$) застосовуються лійкоподібні бункери з перегрібачами, що представляють собою вертикальний вал з привареними похилими лопатками. Для подачі тістоподібних, вологих і порошкоподібних матеріалів, що володіють підвищеною адгезією, застосовують одночерв'ячні і двочерв'ячні завантажувальні пристрої.

На схемі одношнекового екструдера (рис. 9.6) зона I відповідає матеріалу в зволоженому стані, зона II – в пластичному стані, в зоні III матеріал являє собою аморфну плинну масу. Діаметр шнека такого екструдера

зазвичай становить 50 ... 250 мм, довжина від 10 до 20 діаметрів. Форма профілю витка прямокутна або трапецоїдна.

Одношнекові екструдери мають як переваги, так і недоліки. Вони простіше у виготовленні, відносно дешеві, можливе відновлення їх робочих органів, але за деякими параметрами складні в експлуатації. Недоліком одношнекових екструдерів є погане змішування оброблюваного продукту, відсутність примусового транспортування і самоочищення. У таких екструдерах частіше виникають підйоми тиску через накопичення продукту; перехід з однієї сировини на інше ускладнений тим, що камеру і шнек необхідно очищати, а значить потрібно розбирати екструдер. Більш високі витрати з експлуатації одношнекових машин пов'язані з тривалими простоями при чищенні, великими трудозатратами і об'ємом робіт з обслуговування.

Двошнекові екструдери.

Застосування двошнекових екструдерів в харчовій промисловості має значну перевагу і набагато більші перспективи перед одношнековими.

Незважаючи на складність конструкції (внаслідок чого споживають на 20 ... 50% більше енергії, а вартість їх вище на 60%), трудомісткість у використанні і значний знос робочих органів, двошнекові машини забезпечують більш високу якість продукції.

Застосування двошнекового екструдера не вимагає попередньої гідротермічної обробки продукту, що спрощує виробничий процес. Перевага двошнекового екструдера – об'ємне дозування, краще перемішування продукту, ефект самоочищення, а також здатність переробляти суміші з високим вмістом жиру і цукру.

Конструкція екструдера дозволяє досягти високих частот обертання робочого органу і, як наслідок, великих зсувних зусиль, що діють на продукт. Гвинтовий канал кожного з зачіпних шнеків розділений на С-подібні камери гребенями витків сполученого шнека, між якими через малість бічних зазорів обміну матеріалу не відбувається. Матеріал заповнює С-подібну порожнину, яка передається зі шнека на шнек і таким чином здійснюється транспортування продукту до виходу з екструдера.

Двошнекові екструдери з зачіпними шнеками, що обертаються в різних напрямках, мають більшу перемішувальну здатність, проте не набули широкого поширення через значний знос корпусу і робочого органу екструдера, крім того частота обертання шнеків обмежена.

Знос виникає в результаті притиснення шнеків до стінок корпусу екструдера через утворення «клинової ділянки» продукту між робочими органами, який створює протилежно спрямовані розтискні зусилля.

Класифікація двошнекових екструдерів приведена на рис. 9.7.

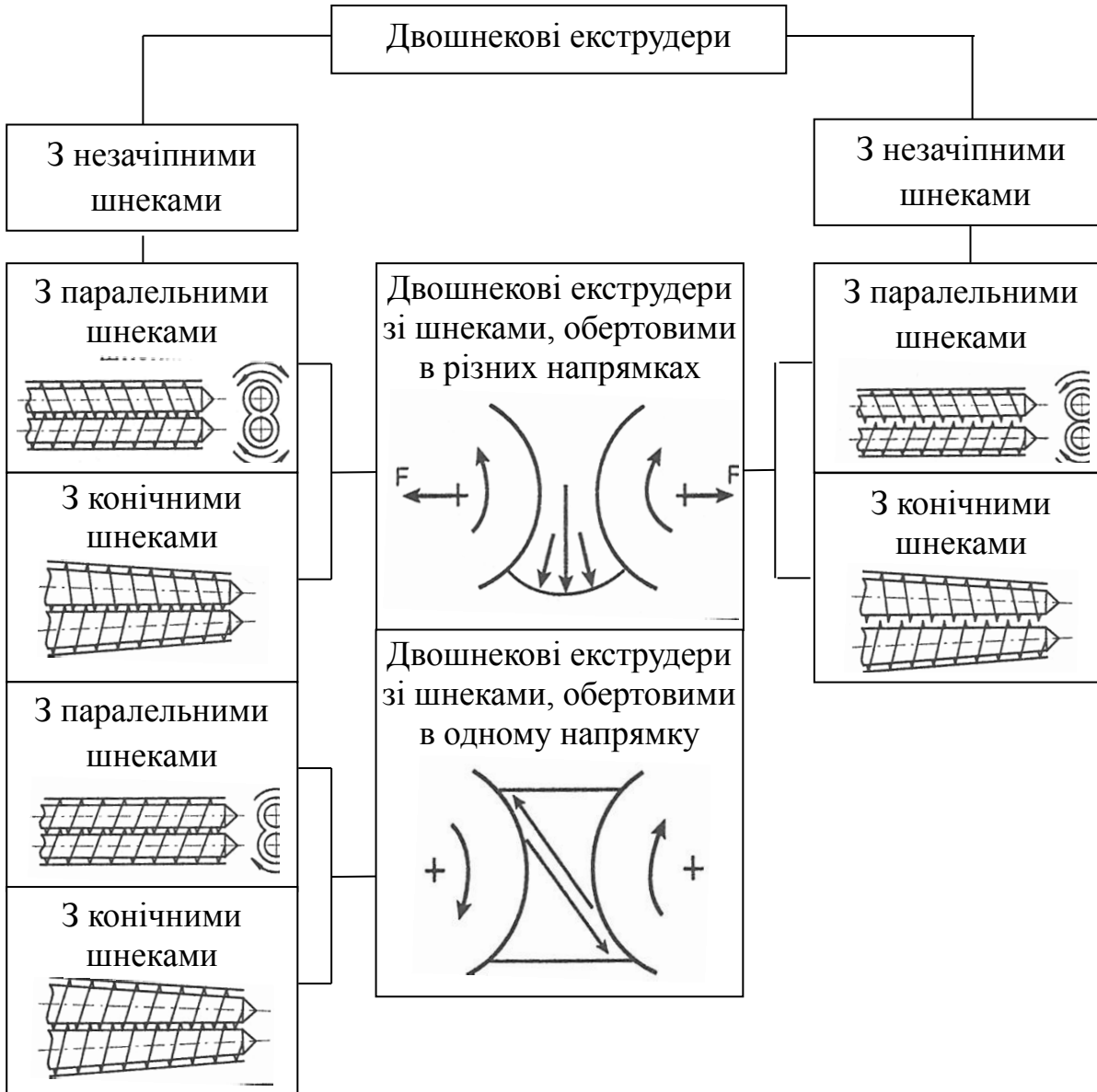


Рис. 9.7. Класифікація двошнекових екструдерів.

Двошнекові екструдери з незачіпними шнеками мають перед одношнековими переваги лише в разі перемішування. Подібно одношнековим машинам вони являються екструдерами тертя і тому мають ті ж недоліки; застосовуються в процесах холодної екструзії.

Екструдери з двома конічними шнеками дають можливість створювати великі тиски, інтенсифікувати перемішування перероблюваного продукту, підвищити надійність і довговічність підшипникового вузла екструдера. З недоліків можна відзначити тільки складність при виготовленні шнеків і корпусу.

Екструдери з набірними шнеками з різною конфігурацією шнекових елементів дозволяють розширити технологічні можливості екструдера з переробки матеріалів з різними реологічними властивостями; знизити

витрати по заміні елементів, що вийшли з ладу, оскільки знос шнека за довжиною корпусу екструдера не рівномірний.

Двошнековий екструдер 2Е – 60 П. Складається з декількох основних вузлів - корпусу 1, оснащеного нагрівальним елементом 2, робочих органів (шнеків) 3, розміщеного в корпусі 1 дозатора сухих компонентів 4 і рідких компонентів 5, формувальної матриці 6 механізму різання готового продукту 7, приводу 8 і системи управління робочими параметрами екструдера (рис. 8.22).

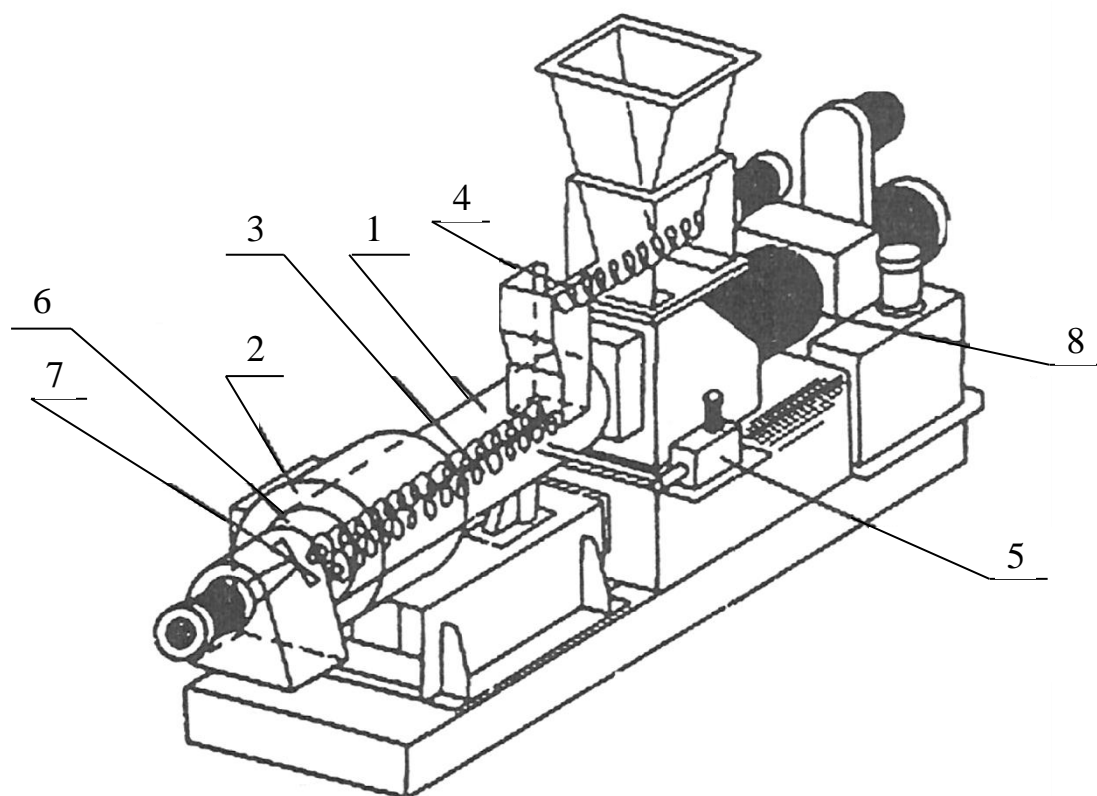


Рис. 9.8. Схема двошнекового екструдера 2Е – 60 П:

1 – корпус; 2 – нагрівальний елемент; 3 – шнеки; 4 – дозатор сухих компонентів; 5 – дозатор рідких компонентів; 6 – формувальна матриця; 7 – механізм різання; 8 – привод.

Корпус 1 екструдера виготовлений у вигляді декількох циліндрів, зчленованих між собою за допомогою болтового з'єднання. У загальному випадку за довжиною робочої камери екструдера можна виділити декілька зон, в яких перероблюваний матеріал змінює свій фазовий стан: зони завантаження і стиснення, плавлення і гомогенізації, а також дозування і безпосередньо екструзії. Довжина функціональних зон залежить від реологічних властивостей матеріалу, технологічних особливостей виробництва і безпосередньо конструктивних параметрів екструдера.

У зоні завантаження матеріал захоплюється шнеком дозатора сухих речовин 4 і подається на пресувальні шнеки 3, які здійснюють

транспортування продукту всередині корпусу 1 екструдера, при цьому інтенсивно перемішуючи його. При подальшому просуванні відбувається ущільнення вихідного продукту в зоні стиснення за рахунок зменшеного вільного об'єму, обмеженого стінками корпусу 1 і поверхнею шнеків 3. В результаті цього під дією деформаційних зсувних зусиль і сил тертя об поверхню робочих органів і корпус, продукт розігрівається.

В міру просування вздовж корпусу екструдера, температура якого підвищується через зовнішній і внутрішній енергопроводи 2, продукт нагрівається і під дією температури і тиск починає плавитися. Плавлення починається при досягненні перерізу корпусу екструдера з температурою, рівній температурі плавлення продукту в двох основних зонах: поблизу поверхні корпусу екструдера за рахунок теплопровідності і в аксіальних зазорах зачеплення шнеків 3.

Довжина зони плавлення залежить від конструктивних і технологічних параметрів екструдера: зростання тиску в предматричній зоні призводить до збільшення довжини зони плавлення і її зміщення до завантажувального отвору, до того ж результату призводить зміна шнека на шнек з більшим ступенем стиснення і збільшення його частоти обертання.

Продукт транспортується до формувальної головки екструдера робочими органами з утворенням однорідного розтопу. У формувальній голівці продукт рухається поступально. Розширення продукту на виході з отворів матриці можна пояснити як пружним відновленням матеріалу на виході з матриці, так і наслідком вибухового випаровування вологи. При таких термічних умовах (зміна температури в екструдері може бути в межах від 130 °С до 200 °С) і під дуже великим тиском вода існує тільки в рідкому стані. Коли пластифікований матеріал виходить з фільтер і досягає атмосферного тиску, вода зі стану перегрітої рідини миттєво перетворюється в пар, виділяючи значну кількість енергії. Під дією тиску пара в продукті утворюється пари, а крохмальні зерна, що залишилися цілими, розриваються. Різка зниження температури забезпечує затвердіння крохмалю.

Фірма ТОВ «Арсенал» випускає кілька модифікацій даного екструдера: ВЕД-60 (2Е-60П), РЗ-КЕД-88 (2Е-88П). Їх коротка технічна характеристика наведена в таблиці 9.1.

Регулювання швидкості різального пристрою і змінні матриці дозволяють отримати продукти різної форми і розміру. Конструкція екструдера забезпечує легкий доступ до шнеків для їх заміни та контролю технічного стану. В установках застосовуються самоочищувальні шнеки зі спеціальним профілем, що спрощують експлуатацію установки.

Двошнековий екструдер «Штак-72» (рис.9.9). Розроблений в двух модифікаціях – «Штак-50» і «Штак-72». Призначені для виробництва хлібців, трубочок або подушечок з начинкою, екструзійної соломки, заготовок для чіпсів, кормів для тварин, екструзійного модифікованого крохмалю та інших продуктів.

Таблиця 9.1. Технічна характеристика двошнекових екструдерів ТОВ «Арсенал»

Марка екструдера	Продуктивність кг/год	Діаметр шнеків, м	Відносна довжина зони екструзії, м	Споживана потужність, кВт	Витрата води для охолодження, кг/год	Займана площа, м ²	Маса, кг
2Е-60П	90	60	8,33 (L/D)	35	2	2,5	1500
2Е-88П	250	88	6,8 (L/D)	90	2	9,6	4055

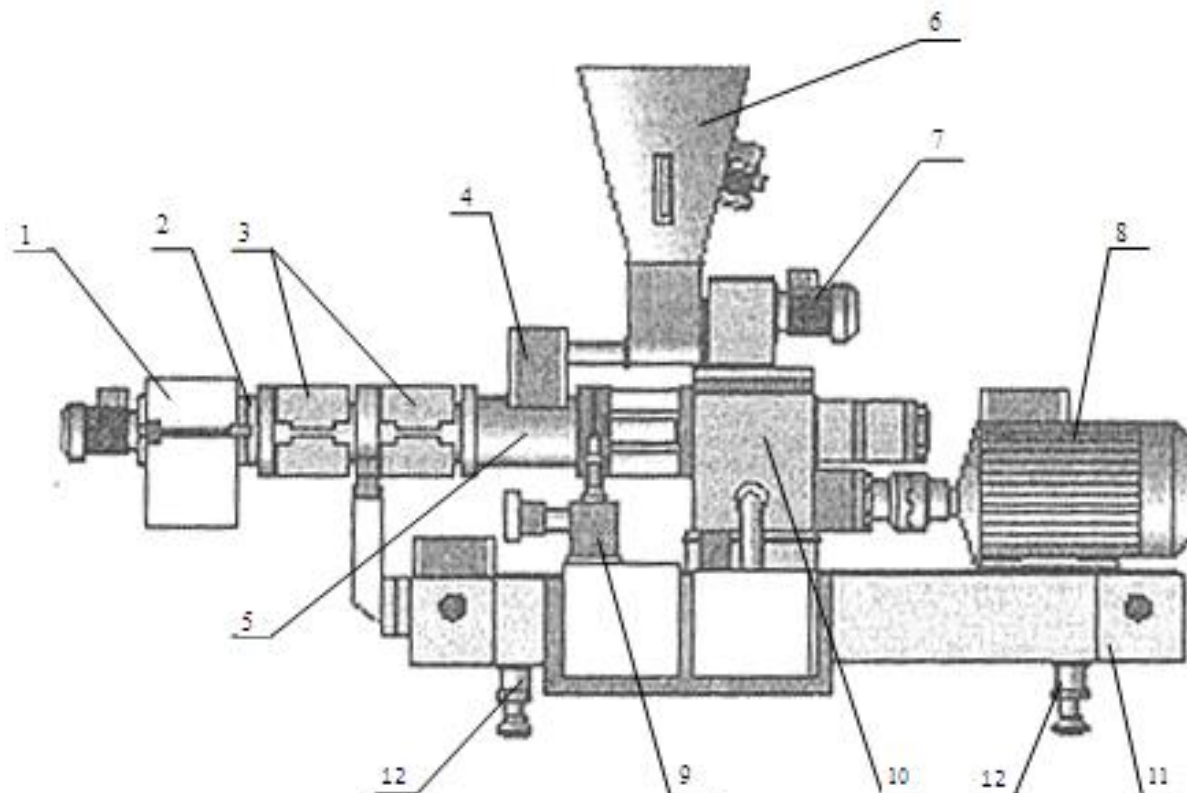


Рис. 9.9. Двошнековий екструдер «Штак-72»:

На екструдерах «Штак» використовуються асинхронні двигуни, у яких частота обертання шнеків регулюється частотними перетворювачами. Коригування роботи екструдера здійснюється за рахунок оперативного

регулювання технологічних параметрів з пульта управління (подача питної води, частота обертання дозатора і головного приводу, автоматична підтримка температури робочої зони). Технічна характеристика екструдерів представлена в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. Технічна характеристика двошнекових екструдерів

Екструдер	Продуктивність, кг/год	Діаметр шнеків, м	Відношення L/D	Потужність, кВт		Маса, кг
				Привода	Нагрівальних елементів	
Штак–50	60...200	60	10,65	45	15	2500
Штак–72	300	88	10,65	75	26	3000

Споживана потужність екструдера залежить від типу приводу. Знаючи напругу і силу струму, можна розрахувати активну потужність (кВт) споживану електродвигуном екструдера за формулою:

$$N_{ак} = \frac{\sqrt{3} U I}{1000} \cdot \cos \varphi \quad (9.15)$$

де U – напруга, В; I – сила струму; $\cos \varphi$ – коефіцієнт зміщення фаз.

Показник роботи екструдера – його ефективність, яка визначається відношенням числової продуктивності $Q_{ч}$ до одиниці споживаної потужності $N_{ак}$:

$$\eta_{эк} = \frac{Q_{ч}}{N_{ак}} \quad (9.16)$$

Знаючи її, можна розрахувати при відомій потужності приводу максимальну продуктивність або навпаки, при заданій продуктивності – необхідну потужність. Ефективність екструдера обчислюють для кожного нового матеріалу, що переробляється. Зіставлення ефективності різних машин при виробництві одного і того ж продукту дозволяє вибрати оптимальну конструкцію екструдера.

Контрольні питання до теми 9

1. За якими ознаками класифікуються формувальні машини?
2. Для чого призначені екструдери?
3. Для чого призначені диспергатори?
4. Призначення і принцип роботи штампувальних машин?
5. Призначення і принцип роботи вальцювальних машин?
6. Призначення і принцип роботи округлювальних машин?
7. Поясніть процес формоутворення в шнековому пресі?

8. Що таке тепловий шок в матеріалі при формоутворенні?
9. На яких основних процесах реалізується формоутворення в шнекових пресах?
10. Як утворюються зворотні потоки в каналах шнека? Об'ясніть зовнішній ефект перемішування матеріала в каналах шнекового преса.
11. Поясніть внутрішній ефект перемішування матеріалу в каналах шнекового преса.
12. Назвіть особливості роботи багатошнекових пресів?
13. Поясніть пристрій роботи багатошнекових пресів?
14. Від яких параметрів залежить продуктивність макаронного преса?
15. Які складові входять в формулу роботи рушійної сили? Накресліть схему і поясніть проходження тіста по кільцевому каналу матриці.
16. Характеристика процесу екструзії.
17. Які бувають способи екструзії?
18. Дайте характеристику холодної екструзії.
19. Коли використовується тепла екструзія?
20. Дайте характеристику гарячої екструзії.
21. Які технологічні зони утворюються по робочій довжині екструдера?
22. Які параметри впливають на утворення екструдера?
23. За якими ознаками проводиться класифікація екструдерів?
24. Назвіть основні переваги екструдерів.
25. Які моделі використовуються для вирішення завдань процесу екструзії?
26. Які складові входять в формулу В.С. Кіма для визначення екструдера?
27. На які види поділяються двошнекові екструдери?
28. Який основний недолік екструдерів з зачіпними шнеками?
29. Поясніть конструкцію і принцип роботи двошнекового екструдера.
30. Як визначається показник ефективності роботи екструдера?

Тести для перевірки знань

- 1) У яких формувальних машинах обробляють пластифіковані суміші?
 1. Екструдери
 2. Макаронні преси
 3. Вовчки
 4. Диспергатори

- 2) Як називається явище закипання рідини при виході матеріалу з матриці преса?
1. Тепловий шок
 2. Зовнішній ефект
 3. Вибух
 4. Внутрішній ефект
- 3) За якою формулою визначається коефіцієнт наповнення шнекової камери?
- 1.
 2. $k = -0,314 \frac{S}{D^2} + 0,689$
 3. $k = \frac{\rho_n}{\rho_{m3}}$
 4. $k = 0,9 \dots 0,95$
 5. $k = \frac{S}{D^2} = 0,6 \dots 1,0$
- 4) За якою формулою визначається робота, витрачена на подачу сировини в шнековому пресі?
- 1.
 2. $A = P_2 \cdot f \cdot S_1$
 3. $A = P_1 \cdot S_1$
 4. $A = f(P_3 + q \cdot \text{tg}\alpha)$
 5. $A = P_1 \cdot S_1 + P_2 \cdot f \cdot S_1$
- 5) При якому вигляді екструзії відбувається тільки механічне формування пластичної сировини?
1. Холодна екструзія
 2. Тепла екструзія
 3. Гаряча екструзія
 4. Варильна екструзія
- 6) Які технологічні зони утворюються по робочій довжині екструдера?
1. Зона живлення, стиснення, дозування
 2. Зона нагріву, транспортування, стиснення
 3. Зона завантаження, дозування, нагрівання
 4. Зона завантаження, нагріву, стиснення
- 7) Яка модель дає найточнішу реальну фізичну картину процесу екструзії?
1. Реологічна модель
 2. Гідродинамічна модель

3. Геометрична модель
 4. Біологічна модель
- 8) Які екструдери дають можливість створити великий тиск і інтенсифікувати перемішування продукту?
1. Екструдери з двома конічними шнеками
 2. Екструдери з зачіпними паралельними шнеками
 3. Екструдери з незачіпними паралельними шнеками
 4. Екструдери зі шнеками, обертовими в одному напрямку
- 9) Які екструдери дозволяють розширити технологічні можливості з переробки матеріалів?
1. Екструдери з набірними шнеками
 2. Екструдери з двома конічними шнеками
 3. Екструдери з паралельними шнеками
 4. Екструдери зі шнеками, обертовими в різних напрямках
- 10) За якою формулою визначається потужність приводу пресувального шнека?
- 1.
 2.
$$N = \frac{A_0 \cdot \eta_{ш}}{6 \cdot 10^4 \eta}$$
 3.
$$N = \frac{\sqrt{3} JU}{1000} \cdot \cos \varphi$$
 4.
$$N = \frac{S \cdot P_{\max} \cdot z \cdot \theta}{10^3 \cdot k_p}$$
 5.
$$N = \frac{W \cdot F_1 \cdot Q}{1000 \cdot \eta_H \cdot \eta_M}$$

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЯ НАДВИСОКОГО ТИСКУ

ТЕМА 10 ОБРОБКА ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ МЕТОДОМ НАДВИСОКОГО ТИСКУ.

10.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ НАДВИСОКОГО ТИСКУ (НВТ)

З кожним роком населенню планети потрібно все більше натуральних харчових продуктів. Всі вони, включаючи страви швидкого приготування і готові до вживання, повинні бути безпечні, смачні, поживні, мати привабливий зовнішній вигляд і великі терміни зберігання.

Підвищення вимог до якості їжі призвело до того, що звичайні методи пастеризації і видалення патогенної мікрофлори шляхом термічного впливу стали багато в чому неприйнятними і не задовольняють сучасним вимогам. Недостатній нагрів не може повністю знищити патогенні мікроорганізми. Надмірний нагрів призводить до втрати смакових і поживних властивостей готового продукту.

В кінці ХХ століття іспанська компанія NC Norelbarik запропонувала революційну технологію нетермічної пастеризації для харчової промисловості, відому як технологія надвисоких тисків (технологія НВТ). Харчова безпека і чудова якість обробки продуктів НВТ отримали наукове і практичне підтвердження протягом останніх років. Технологія НВТ отримала нове прискорення в великій кількості напрямків харчової промисловості. Найбільш відомі такі продукти, пастеризовані НВТ:

- м'ясні делікатеси, варена шинка, ковбаси, сосиски, нарізка з яловичини, телятини, свинини, бекону, курчати;
- фрукти, овочі, соки і напої, джеми, соуси, желе, різні салати;
- готова слабосолона і копчена риба, омари, крабове м'ясо, креветки, устриці;
- молоко, йогурти, молочні продукти (кефір, сметана, вершки, ряжанка).

В даний час активно розвиваються м'ясні та молочні напрямки харчопрому, застосування в яких технології НВТ дозволяє отримати якісно нові, неможливі раніше продукти з покращеним смаком, без консервантів, втрат вітамінів і цінних поживних речовин.

Сутність обробки продуктів харчування надвисоким тиском полягає в наступному. При впливі на продукт тиску понад 4000 бар все бактерії, віруси та інші мікроорганізми денатуруються. У комбінації з м'яким нагріванням

також можуть бути знищені і спори. Треба відзначити, що НВТ нічого не руйнує, не зминає і не нагріває.

Конструктивно установка НВТ є гідравлічною машиною циклічної дії, тобто потужним гідравлічним пресом з горизонтальним розташуванням циліндричної робочої камери. Робочим тілом установки є *звичайна вода* кімнатної або більш низької температури, нагнітувана в камеру з уже завантаженим і встановленим продуктом за допомогою *двоступеневого насоса-нагнітача* надвисокого тиску (до 6000 бар).

З одного боку, за рахунок рівномірного розподілу гідростатичного тиску по всьому об'єму камери і продукту для життєдіяльності мікроорганізмів створюються такі умови, в яких вони не можуть розвиватися, припиняється процес клітинної активності, і до моменту повернення до нормального тиску клітини втрачають свою цінність і відразу ж гинуть під впливом кислотного середовища продукту.

З іншого боку, обробка НВТ не має негативного впливу на продукт. Тиск, з якому він піддається, не досить високий, щоб зруйнувати молекулярні зв'язки, таким чином зберігаються органолептичні властивості і харчова цінність продукту, не ушкоджуються нестійкі до термообробки поживні речовини, вітаміни і пігменти (не руйнується вітамін С в соках, фруктах, овочах), а також не модифікуються інші компоненти з низькою молекулярною вагою, які відповідають за запах і смак.

По-третє, для запобігання контакту з водою в установці і з навколишнім середовищем продукт перед обробкою поміщають в м'яку (гнучку) бар'єрну упаковку (РА / РЕ пакет, блістер, герметизовану комірку, контейнер, пластмасову пляшку тощо), в якій він може зберігатися тривалий термін до розкриття споживачем, зберігаючи свою природну свіжість і натуральний смак.

Упаковка продукту при обробці НВТ може бути різною. Ідеальною вважається вакуумна упаковка продукту в багатошарові пакети з високими бар'єрними властивостями. Для підвищення привабливості продукту сьогодні виробниками використовується різна тара: пластикові пакети, пляшки, комірки, контейнери, блістери з підніжкою, трубки, ріжки, конуси, коробки-тетра паки, інші ємності, навіть скляні, металізовані і металеві банки і пляшки. Також можна впевнено сказати, що хоча вакуумна упаковка і використовується повсюдно, її застосування не обов'язково. *Головне, щоб в упаковці вміст повітря був мінімальним.*

Застосування різної тари підтверджує той факт, що досить гнучка упаковка у вигляді пакету, трубки, склянки тощо, нормально переносить процес обробки високим тиском, і при цьому така упаковка має незаперечні

переваги перед простою вакуумною плівкою. Розмір упаковки та її вигляд не мають значення для процесу обробки НВТ, тому що тиск, створений гідропресом, рівномірно розподіляється по всьому об'єму продукту, незалежно від його форми і розмірів. Це може бути цілий окіст, або маленький пакетик з соусом.

Процес пастеризації харчових продуктів за допомогою надвисокого тиску – це натуральна екологічно чиста технологія, що має такі переваги:

- широка різноманітність оброблюваних НВТ харчових продуктів: овочі, фрукти, фруктові соки і напої, молоко і молочні продукти, м'ясні, рибні та морепродукти і інше;

- збільшення термінів зберігання продуктів без зміни їх натурального смаку і кольору;

- можливість кардинального (аж до декількох порядків) зберегти мікрофлору і найбільш важливі для забезпечення безпеки продуктів харчування патогенні мікроорганізми;

- збереження органолептичних властивостей і поживної цінності: не ушкоджуються нестійкі до термообробки (вітаміни, особливо вітамін С, на відміну від традиційних способів пастеризації), а також не змінюються інші компоненти з низькою молекулярною вагою, які відповідають за запах і смак;

- відсутність необхідності застосування консервантів і добавок, що збільшують термін зберігання;

- можливість створення нових продуктів завдяки нетермічній пастеризації;

- можливість зміни форми консервної банки (контейнера, бутля ємності) і поліпшення виконання поточних процесів обробки продукту;

- усунення деформації продуктів харчування завдяки рівномірному розподілу гідростатичного тиску (незалежно від об'єму і форми продукту), що зменшує час обробки продукту;

- збільшення або поява нових функціональних властивостей у продуктів;

- модифікація (пом'якшення) текстури м'яса і риби;

- відповідає екологічно чистій технології, сучасним вимогам з охорони навколишнього середовища;

- відсутність великих енергетичних витрат.

10.2. ОСОБЛИВОСТІ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ НАДВИСОКИМ ТИСКОМ

Обробка харчових продуктів надвисоким тиском складається з декількох операцій:

- 1) упаковка продукту в поліетиленові пакети і їх герметична заварка;
- 2) укладання готового пакета в контейнер установки;
- 3) завантаження контейнера в камеру, герметизація камери гідрозакривами;
- 4) затоплення камери водою і підйом тиску в ній до 600 МПа;
- 5) витримка упакованого продукту при цьому тиску протягом 3–5 хвилин;
- 6) скидання тиску, розгерметизація камери, злив води, відкриття гідрозакривів і вивантаження контейнера з камери;
- 7) вивантаження пакету з продуктом з контейнера і приміщення його в холодильну камеру.

Весь цикл обробки продукту займає близько 10 хвилин.

Технологія використання надвисоких тисків дає можливість обробляти великий асортимент харчових продуктів.

Овочі та фрукти

Пастеризація за допомогою надвисоких тисків широко використовується для продуктів з овочів ягід і фруктів: овочеві пюре, салати і соуси, овочі і фрукти, нарізані шматочками. На відміну від теплової обробки зберігаються антимутагенні компоненти в моркві, цвітній капусті, ріпі, шпинаті, буряках, помідорах. Знижується алергічність рису, зменшується активність ензимів, що відповідають за зміну смаку і кольору, зберігаються поживні речовини і харчова цінність свіжих овочів і фруктів. Ця технологія дозволяє отримувати нові функціональні продукти з овочів і фруктів з антиканцерогенними властивостями.

Овочеві та фруктові соки і напої

При обробці овочевих і фруктових соків і напоїв НВТ збільшується термін придатності продуктів, зберігаючи їх первісну свіжість. Овочеві та фруктові соки зберігають вітаміни і свій натуральний смак, при цьому не змінюється їх поживна цінність, не зменшується вміст вітамінів, а біоактивні і фітохімічні компоненти зберігають свою активність. Після обробки високим тиском кількість шкідливих мікроорганізмів значно знижується і залишається постійним протягом декількох тижнів при зберіганні при невисокій температурі.

Молоко і молочні продукти

Йогурти. Технологія обробки продуктів надвисоким тиском використовує особливу чутливість до тиску кожного виду мікроорганізмів. Обробка високим тиском йогуртів після їх упаковки дає істотні переваги:

- інактивація дріжджів – до 3-х місяців зберігання;

- збереження числа *Lactobacillus*: не відбувається подальшого підкислення;
- інактивація шкідливих і підкислювальних бактерій: виживають тільки пробіотичні види;
- відміна високотемпературної обробки йогуртів, що призвело до поліпшення смаку;
- зменшення відсотка псування і повернення продуктів;
- розширюються можливості використання виробничих і складських потужностей;
- використання технології НВТ для фруктів замість термообробки дозволяє виробляти високоякісні йогурти з цільними і соковитими шматочками фруктів.

Використовуючи технологію надвисокого тиску, був отриманий новий продукт, в якому немає дріжджів і закваски, і в той же час збережені живі мікроорганізми і активні культури, включаючи пробіотичні бактерії. Термін зберігання натурального йогурту досягає 90 днів.

Молоко. У наш час практично неможливо знайти свіже молоко в магазинах. Більшість магазинів у великих містах торгують відновленим молоком, виготовленим з молочного порошку. Купити свіже молоко можна тільки на ринку, але немає ніяких гарантій його безпеки. Для досягнення терміну зберігання такого ж, як у термічно пастеризованого молока, досить обробити молоко при тиску 500 МПа протягом 3 хвилин. Більш того, молоко, оброблене надвисоким тиском, може поліпшити текстуру продуктів, вироблених з нього.

Спосіб пастеризації молока НВТ дозволить отримати безпечне свіже («живе») молоко з терміном зберігання до 45 діб.

Сир. Обробка свіжих сирів надвисоким тиском покращує їх дозрівання і вбиває патогенні бактерії. Це також може бути корисним при пастеризації сирів з сирого молока (з точки зору гігієни).

Морозиво. При заморожуванні морозива в поєднанні з надвисоким тиском досягається підвищена м'якість і збереження текстури морозива. Застосування високого тиску знижує температуру заморожування води до -22°C при 200 МПа, що перешкоджає утворенню крупнокристалічного льоду.

М'ясні продукти.

Технологія надвисоких тисків дозволяє збільшити термін придатності м'ясних продуктів, зберігаючи їх оригінальну свіжість, тому що пастеризація відбувається не термічним способом, а при кімнатній або більш низькій температурі. Крім цього, дана технологія дає можливість розробляти нові види готових м'ясних продуктів, з більш тривалим терміном придатності і

поліпшеними органолептичними властивостями. З'являється можливість створювати нові дієтичні продукти з малим вмістом солі і жирів.

Використання технології обробки харчових продуктів надвисоким тиском в деяких країнах, а також її основні показники наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1. Застосування технології обробки харчових продуктів НВТ.

Країна рік	Продукт і упаковка	Процес	Технологічні процеси і термін придатності
ОБРОБКА НАДВИСОКИМ ТИСКОМ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ			
ІСПАНІЯ 1998	Варена шинка, нарізка, свинина, курча Вакуумна упаковка або з інертним газом	400 МПа 10 хв, +8°C	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Термін придатності 2 місяці
США 2001	Варена, пермська шинка в нарізці, продукти зі свинини. Вакуумна упаковка	600 МПа	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Термін придатності 2 місяці
США 2001	Готові продукти (домашня птиця) PE пакети з інертним газом	600 МПа	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Термін придатності 4 тижні
США 2002	Готові курча, телятина в нарізці, начинка фахітас Вакуумна упаковка	600 МПа	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Начинка коржів фахітас – м'ясо, цибулю, перець і салат, також оброблені надвисоким тиском Термін придатності від 3 до 6 тижнів
ІСПАНІЯ 2002	Шинка, індичка в нарізці, продукти з курчати. Вакуумна упаковка Darlfresh	500 МПа 4 - 10 хв, +8°C	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Збільшення терміну придатності і зменшення кількості добавок. Термін придатності 2 місяці для варених продуктів
ІТАЛІЯ 2003	Шинка пармська, салямі, моцарела. Вакуумна упаковка	600 МПа 10 хв, +7°C	Збереження кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Збільшення терміну придатності. Продукти для США і Японії. Термін придатності 2 місяці
ЯПОНІЯ 2005	Варена свинина без нітратів, бекон, шинка, сосиски. Вакуумна упаковка	600 МПа 5 хв, +5°C	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Збільшення терміну придатності. Термін придатності 4 тижні
ФРГ 2005	Копчена німецька шинка; в нарізці і шматочками. Вакуумна упаковка	600 МПа 2 хв, +5°C	Пастеризація без зміни кольору і смаку. Знищення <i>Listeria</i> . Продукти, призначені для експорту в США. Термін придатності 8 тижнів
ОБРОБКА НАДВИСОКИМ ТИСКОМ НАПІВФАБРИКАТІВ І ГОТОВИХ СТРАВ			
ІСПАНІЯ	Закуси - шматочки	400	Пастеризація без зміни кольору і

1998	свинини, курчати. Вакуумна упаковка і інертний газ	МПа 10 хв, +8°C	смаку. Термін придатності 2 місяці
ЯПОНИЯ 2000	Варений рис гіпоалергенний.	400 МПа	Денатурація гіпоалергенних білків високим тиском після термічної стерилізації. Продукт для лікарень. Зберігати при кімнатній температурі
ІСПАНІЯ	Готові страви з овочів. Вакуумна плівка Skin pack	500 МПа	Пастеризація, збільшення терміну придатності. Термін придатності 1 місяць

Обробка сирокоченого окосту при тиску 600 МПа протягом 6 хвилин збільшують термін його придатності до 120 днів. Протягом цього періоду зберігаються органолептичні властивості продукту без утворення кислого або гіркого смаку. Обробка тиском охолоджених курячих грудок, упакованих з додаванням соусу або маринаду, надає продукту необхідної м'якості, покращує його колір і смак. Куряча грудка після пастеризації зберігає свою свіжість протягом 45 ... 60 днів.

Риба та морепродукти.

Обробка надвисоким тиском руйнує патогенні бактерії, знижуючи ризик бактеріального забруднення. Значно збільшується термін придатності сирих і варених морепродуктів при збереженні їх органолептичних властивостей.

Обробка високим тиском різноманітних морепродуктів (раки, креветки, краби, омари тощо.) без термічної обробки дозволяє легко витягувати їх м'ясо без погіршення його якості, при цьому досягається:

- збільшення ефективності процесу і виходу продукту при вилученні м'яса (от 25 % до 50 %);
- зменшення бактеріального забруднення завдяки скороченню ручної праці;
- можливість створення нових свіжих або заморожено-варених морепродуктів за рахунок нетермічного способу обробки.

10.3. МАШИННО-АПАРАТНЕ ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ПРОДУКТІВ НАДВИСОКИМ ТИСКОМ.

Характеристика конструкційно-експлуатаційних показників.

Відмінними рисами установок НВТ є наступні:

- Вертикальна конструкція установки
- Горизонтальна конструкція установки

- Різні діаметри і об'єм робочих камер
- Продуктивність установок
- Ступінь автоматизації обробки продукту
- Можливість інтеграції у виробництво і технологічні лінії
- Безпека, гнучкість, ергономічність
- Особливий дизайн, спеціально розроблений для харчової індустрії
- Екологічна чистота

Перші зразки гідропресів мали істотний недолік – вертикальне розташування робочої камери (спадок конструкції гідравлічних пресів, що застосовуються в машинобудуванні). Для монтажу гідропреса, що має вертикальну конструкцію робочої камери з верхнім завантаженням і розвантаженням, необхідна яка додаткова підставка для завантаження-вивантаження, або облаштування значного поглиблення в фундаменті, що вимагає додаткових витрат і ускладнює подальший демонтаж або переміщення гідропреса. Ще один недолік вертикального завантаження – наявність ризику випадкового змішування обробленого і необробленого продукту в процесі пастеризації.

До останнього часу недостатньою для харчових виробництв вважалася:

- абсолютна продуктивність установки НВТ, кг/год на установку;
- відносна продуктивність, кг/год на 1 літр об'єму робочої камери.

Цілком очевидно, що продуктивність установки НВТ безпосередньо пов'язана зі збільшенням об'єму камери і скороченням часу перезавантаження продукту. Якщо перші конструкції установок мали ємність найбільшої робочої камери 420 м³ і продуктивність 2300 кг/год.

Збільшення робочого органу камери гідропреса потребувало міцніших конструкційних матеріалів, нових конструктивних рішень і потужніших і ефективних насосів-нагнітачів надвисокого тиску, які здатні піднімати тиск набагато швидше за своїх попередників.

На думку провідних конструкторів, на даний момент **об'єм 420 літрів – це сучасна межа для камери установки НВТ** по технічним причинам. Тому підвищення продуктивності установки в подальшому буде пов'язано з розвитком автоматизації завантаження-вивантаження і осушення продукту. Час простою обладнання в момент перезавантаження камери повинно бути мінімальним.

З впровадженням останніх конструктивно-технологічних поліпшень і збільшенням метражу і продуктивності установок НВТ вартість пастеризації продукту впала в два рази і становить зараз в середньому близько 0,5 грн за кілограм обробленого продукту.

Установка Wave 600/55.

Розроблена провідною компанією NC Hyperbarik для роботи з продуктами різної порціонної маси, що гарантує необхідну гнучкість процесу з широким асортиментом продуктів різної ваги і форми.

Предмет особливої уваги – це робоча камера установки надвисокого тиску. Завдяки особливому способу виробництва камери тиск передається на продукт найбільш ефективно. Гідронасоси високої потужності дозволяють досягти необхідного рівня тиску не тільки найефективнішим способом, але і в найкоротший час. Продуктивність установки складає 170 кг/год. (рис. 10.1).

Горизонтальне розташування камери відповідає всім вимогам харчової промисловості, що стосуються контролю за процесом (збір повної інформації про кожну операцію процесу харчового виробництва). Камера розташовується в центральній частині машини і знаходиться на одній лінії з напрямними рейками для транспортних контейнерів. Таким чином, необроблений продукт завантажується з одного боку установки, а готовий продукт розвантажується з іншого. Така виробнича лінія виключає ризик випадкового змішування обробленого і необробленого продуктів.

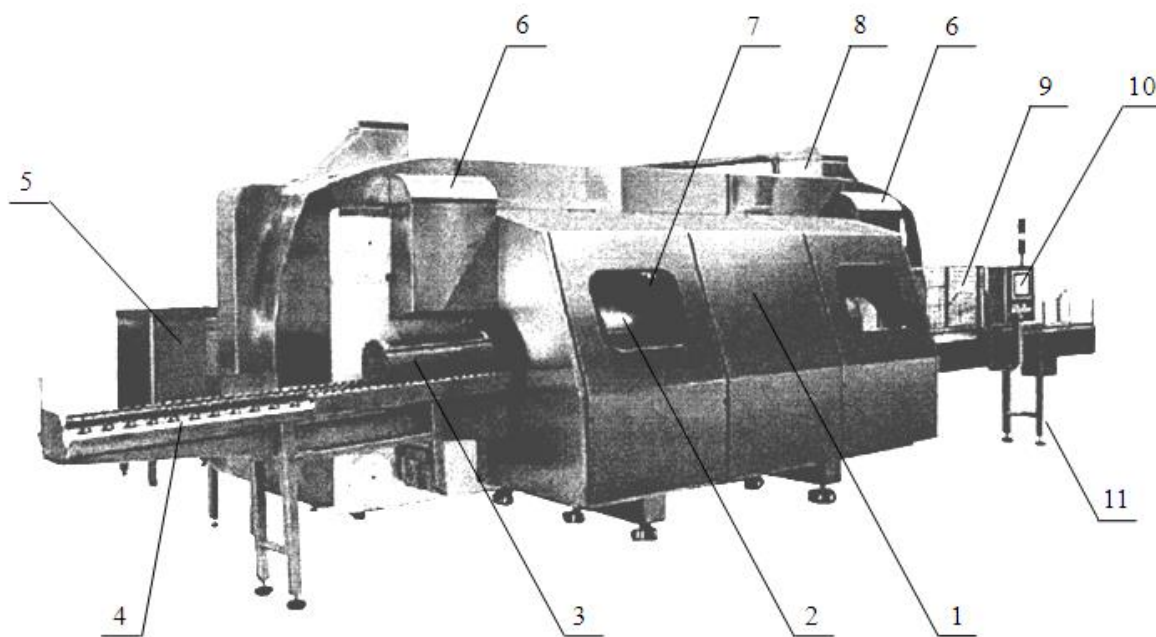


Рис. 10.1. Установка надвисокого тиску Wave 600/55

1 – зовнішній захисний бокс; 2 – камера надвисокого тиску (всередині захисного боксу); 3 – контейнер для продуктів; 4 – рейковий транспортер; 5 – електрошафа управління; 6 – осушувач; 7 – оглядове вікно; 8 – гідронасос-нагнітач; 9 – продукт в упаковці; 10 – комп'ютерний контроль; 11 – опорні регульовані стійки.

Завдяки горизонтальному розташуванню установка Wave 600/55 має прийнятну габаритну висоту і легко вбудовується в виробничу лінію. Монтаж установки гранично спрощений і не передбачає ніяких складних установчих

робіт. Обслуговування і заміна запасних частин здійснюється швидко і просто. Спрощена санітарна обробка обладнання. Крім того, робоче місце із завантаження та розвантаження продукту виконано з урахуванням ергономіки оператора, тобто з урахуванням його зростання.

Установка Wave 600/55 використовує звичайну прісну воду нетоксичну, без домішок, яка повністю видаляється з камери і запірних клапанів, не залишаючи ніяких слідів. Всі компоненти і пристрої, що контактують з водою і продуктом, зроблені з високоякісної харчової нержавіючої сталі.

Автоматична система завантаження-розвантаження дозволяє повністю автоматизувати весь процес обробки продукту надвисоким тиском, завдяки чому обладнання може бути легко адаптоване у виробничу лінію без додаткових капіталовкладень. Повернення контейнерів після вивантаження з них готового продукту за допомогою поворотного контейнера до місця завантаження значно спрощує процес.

Надійність і безпека установки Wave 600/55 забезпечується за допомогою трьох важливих конструкторських рішень:

- надійна система контурів надвисокого і високого тиску мінімізують кількість зносних частин;
- багатопарова конструкція камери гарантує надійність роботи обладнання;
- наявність захисного режиму мінімізує ризик виникнення аварій.

Система комп'ютерного контролю SCADA реєструє всі можливі дані (стан камери, параметри процесу, помилки, дані обслуговування) і підвищує рівень контролю за процесом виробництва.

Використання ефективних гідронасосів-нагнітачів тиску дозволяє за короткий час створювати надвисокий тиск (до 600 Мпа) і істотно скоротити витрату електроенергії.

Спарена установка Wave 600/300 Tandem.

Спарена автоматизована установка є однією з найбільших установок надвисокого тиску, створених для промислового застосування. Завдяки великому об'єму робочих камер (2 камери по 300 літрів) вона є і найпродуктивнішою. Стандартний комплект поставки включає в себе 8 гідронасосів-нагнітачів тиску, кожен з яких може працювати незалежно від інших, що значно спрощує процес обслуговування і дозволяє робити заміну запчастин, не зупиняючи виробничий процес обслуговування, і дозволяє робити заміну запчастин, не зупиняючи виробничий процес. Сучасна конструкція нагнітачів тиску (принцип здвоєного гідронасоса) вимагає мінімум площі і об'єму.

Спарена установка Wave 600/300 Tandem має продуктивність понад 2000 кг год, важить близько 130 тонн (рис. 10.2)

На ній встановлено дві горизонтально розташовані робочі камери з двосторонніми затворами (тобто працює «наскрізь»), що відповідає вимогам системи управління харчової безпеки НАССР. Процес завантаження-вивантаження повністю автоматизований, установка не простоює в очікуванні наступного завантаження. Комплекс використовується цілодобово 7 днів на тиждень при цьому його продуктивність в середньому становить 45 тонн продукції на добу. При використанні його в безперервному режимі організуються накопичувачі – зони накопичення продукту, як з боку завантаження, так і з боку вивантаження. Істотне вдосконалення отримала система автоматизації управління виробничим процесом. Виключений варіант проходження необробленого продукту крізь гідропрес. Перетворювач високого тиску підтверджує в кожному робочому циклі, що необхідний гідростатичний тиск в камері був досягнутий і утримувався заданий час.

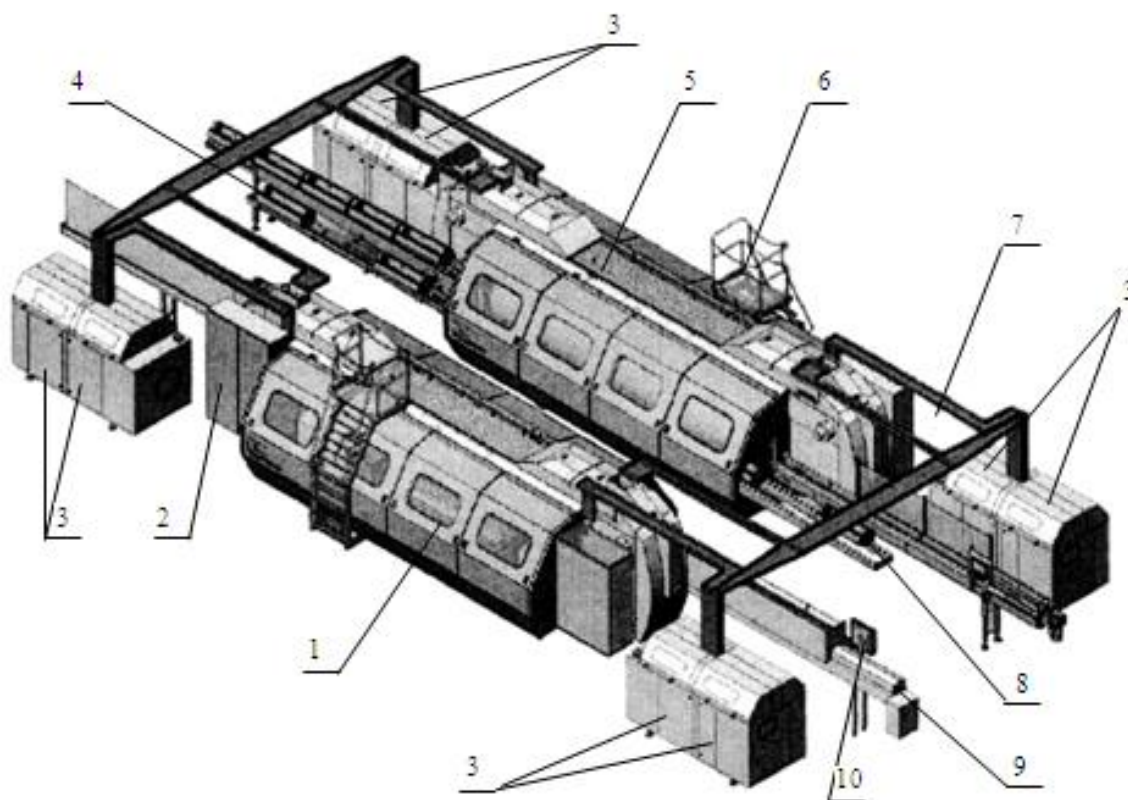


Рис. 10.2. Спарена установка надвисокого тиску Wave 600/300 Tandem
1 – зовнішній захисний блок; 2 – електрошафа; 3 – гідронасос-нагнітач тиску; 4 – поворотний конвеєр; 5 – камера надвисокого тиску (всередині захисного боксу); 6 – оглядовий місток; 7 – трубопровід надвисокого тиску; 8 – контейнер для продукту; 9 – транспортний конвеєр; 10 – сканер; 11 – осушувач.

На вході установки розміщений сканер унікального коду завантажувального продукту для виключення його знеособлення. Номер виробничого циклу, дата, час, параметри процесу записуються в пам'ять

системи контролю і надалі можуть бути ідентифіковані за штрих-кодом для здійснення контролю.

Після вивантаження контейнера з продуктом з робочої камери він рухається по контейнеру з нержавіючої сталі, де періодично перевертається для звільнення з контейнера і попередньої осушки зовнішньої оболонки від води. Потім упакований продукт подається в осушувач, де сильним потоком повітря без нагріву видаляються залишкові краплі вологи. Далі на готовий оброблений продукт встановлюється етикетка та він при необхідності поміщається в додаткову транспортну тару.

Основні моделі установок надвисокого тиску і їх параметри представлені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2. Технічні характеристики установок НВТ

Модель	Призначення	Діаметр камери	Об'єм камери	Продуктивність
Wave 6000/55	Ідеально підходить для невеликих і дослідних виробництв	200 мм	55 л	170 кг/год
Wave 6000/135	Має контейнери збільшеної місткості	300 мм	135 л	400 кг/год
Wave 6000/300	Ідеальна установка для сучасних підприємств	300 мм	300 л	850 кг/год
Wave 6000/300T	Тандем – здвоєна установка високої продуктивності	2×300 мм	2×300 л	2000 кг/год

10.4. НАСОСИ НАДВИСОКОГО ТИСКУ

Гідрокомпоненти, що працюють при тиску до 42,0 МПа досить широко і детально описані в технічній літературі, каталогах і рекламних матеріалах виробників.

Гідросистеми з надвисоким тиском (понад 70,0 МПа) використовуються для приводу малогабаритного ручного інструменту, спеціального обладнання, застосовуються в випробувальних стендах і інших відповідальних виробках.

При передачі однієї і тієї ж потужності від первинного двигуна до виконавчого гідромеханізму збільшення тиску тягне за собою зменшення витрат. В результаті потрібно менші типорозміри насоса, гідродвигунів, клапанно-розподільної апаратури, трубопроводів тощо. Використання гідроприводів з надвисоким тиском дозволяє істотно зменшити габарити і масу обладнання, підвищити його питомі показники.

Розвиток гідросистем з надвисоким тиском є одним з ключових факторів створення компактних потужних гідроприводів для різних галузей економіки.

Багатий досвід створення і експлуатації різноманітних гідроприводів показав, що надвисокий тиск можуть розвивати лише обмежені види насосів. До них відносяться поршневі і плунжерні типи. Розглянемо ці конструкції, які випускаються серійно і досить широко використовуються в промисловості.

Привід насосів надвисокого тиску можна розділити на три типи, які визначають їх конструкцію: ручний (мускульний), механічний, пневматичний.

Насоси з ручним приводом.

Ручні (важільні) насоси надвисокого тиску приводяться в дію м'язовою силою людини. Їх завдання – розвинути надвисокий тиск, виробляючи невелику порційну витрату, що надходить до виконавчого гідроцилиндру.

Насоси з м'язовим приводом складаються з поршня, який переміщається всередині циліндра. Рух поршня управляється важелем. Важіль переміщається рукою людини або ногою педаллю з поворотною пружиною. На рис. 10.3 наведені типові насоси надвисокого тиску з ручним і педальним приводом.

Як в будь-якому поршневому насосі принцип їх дії заснований на всмоктуванні і нагнітанні робочої рідини при зворотно-поступальному русі поршня. На рис. 10.3 показана конструктивна схема насоса з ручним приводом.

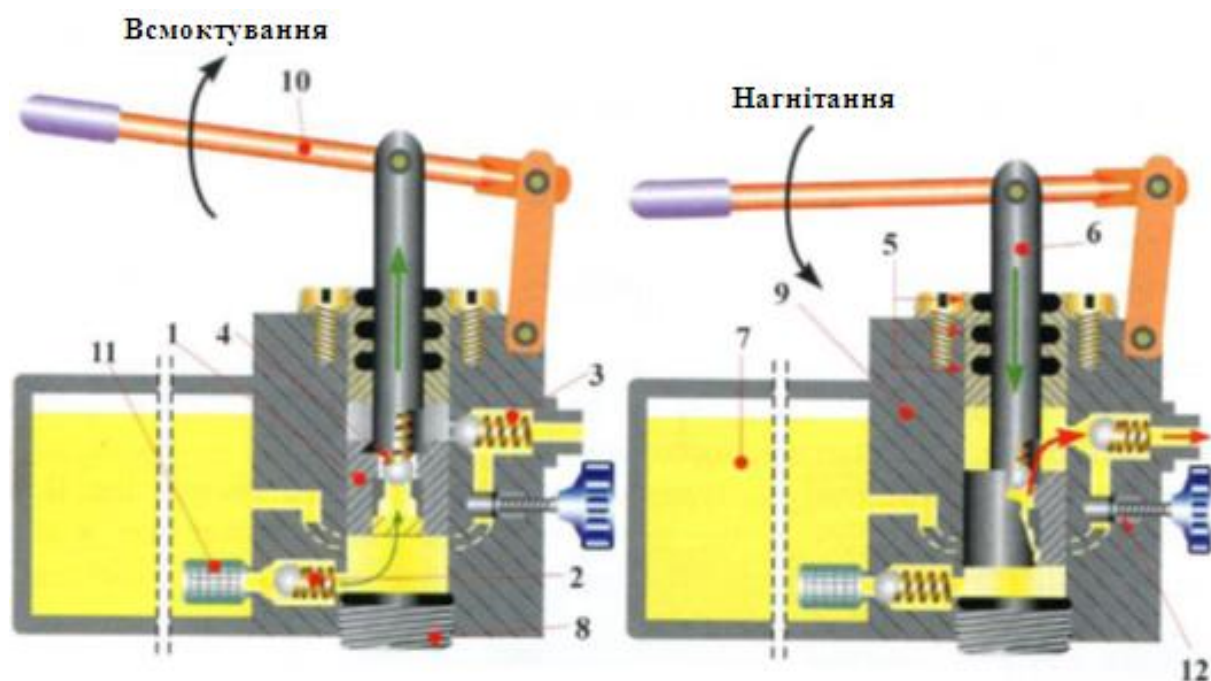


Рис. 10.3. Конструктивна схема насоса з ручним приводом

1 – поршень, 2 – впускний клапан, 3 – випускний клапан, 4 – проміжний клапан, 5 – ущільнення, 6 – шток, 7 – гідробак, 8 – зливна заглушка, 9 – корпус насоса, 10 – приводний важіль, 11 – всмоктуючий фільтр, 12 – кран повернення рідини в гідробак

У циліндричній порожнині корпусу 9 встановлений поршень 1, жорстко зв'язаний з штоком 6. Шток 6 шарнірно з'єднаний з приводним важелем 10. У поршні 1 встановлений проміжний клапан 4, що зв'язує поршневу і штокову порожнини насоса. Поршнева порожнина через впускний клапан 2 з'єднана з гідробаком 7.

У таких насосах невеликий гідробак, зазвичай, є складовою частиною їх конструкції. У гідробаку, перед впускним клапаном часто встановлюють всмоктуючий фільтр 11.

Штокова порожнина через випускний клапан 3 з'єднується з вихідним портом насоса. У кришці корпусу 9 насоса, яка служить напрямною штока 6, встановлені ущільнення 5. Гвинтовий кран 12, розташований в байпасному каналі насоса, служить для повернення робочої рідини в гідробак. Для заміни гідравлічного мастила і обслуговування насоса в корпусі 9 виконана заглушка 8.

При переміщенні приводного важеля 10 вгору шток 6 піднімає поршень 1. Впускний клапан 2 відкривається, і робоча рідина всмоктується в поршневу порожнину насоса. Проміжний клапан 4 запобігає надходженню рідини з штокової порожнини в поршневу.

Після досягнення верхньої мертвої точки оператор, докладаючи м'язові зусилля, опускає приводний важіль 10 вниз. Під тиском рідини впускний клапан 2 закривається. Проміжний клапан 4 піднімається, і робоча рідина, під тиском, надходить в штокову порожнину насоса. Вона відкриває випускний клапан 3 і надходить в гідросистему. Об'єм витісненої порції робочої рідини дорівнює добутку площі поршня на величину його ходу, тобто

$$V_{\text{п}} = F_{\text{п}} \cdot l, \quad (10.1)$$

де $V_{\text{п}}$ – робочий об'єм поршневої порожнини насоса, м^3 ; $F_{\text{п}}$ – площа поршня насоса, м^2 ; l – хід поршня насоса, м .

При подальшому переміщенні приводного важеля 10 вгору, і, відповідно, підняттям поршня 1, проміжний клапан 4 закривається. Робоча рідина з штокової порожнини продовжує, під тиском, надходити в гідросистему. Але, одночасно, робоча рідина з бака всмоктується в штокову порожнину насоса. Об'єм знову надійшої порції робочої рідини в гідросистему менше, ніж попередній. Він дорівнює добутку площі поршня в штоковій порожнині насоса на величину його ходу.

$$V_{\text{ш}} = (F_{\text{п}} - F_{\text{ш}}) \cdot l, \quad (10.2)$$

де $V_{ш}$ – робочий об'єм штокової порожнини насоса, m^3 ; $F_{ш}$ – площа штока насоса, m^2 .

Таким чином, робочий об'єм насоса при повному циклі руху поршня (вперед-назад) дорівнює сумі робочих об'ємів поршневої і штокової порожнин, тобто

$$V = V_{п} + V_{ш} = (2F_{п} - F_{ш}) \cdot l, \quad (10.3)$$

Після виконання робочої операції, виконавчий гідроциліндр або домкрат необхідно повернути в початкове положення. Для цього відкривається кран 12 і робоча рідина з гідросистеми по байпасному (обвідному) каналу повертається в гідробак.

Її рух відбувається за рахунок дії на виконавчий гідроциліндр, сил ваги, або м'язових зусиль оператора.

Робочий об'єм у таких насосів невеликий, приводний важіль має відносно короткий хід, тому вироблювана витрата невисока. Тим не менш, це найбільш поширені насоси в усьому світі, оскільки використовуються в дуже багатьох галузях промисловості. Тиск, розвиваний ручними насосами, становить від 70,0 до 280,0 МПа в деяких спеціальних гідросистемах.

Двоступеневі ручні насоси, схема яких представлена на рис. 10.4, містять два поршні, які шарнірно з'єднані з коромислом приводного важеля.

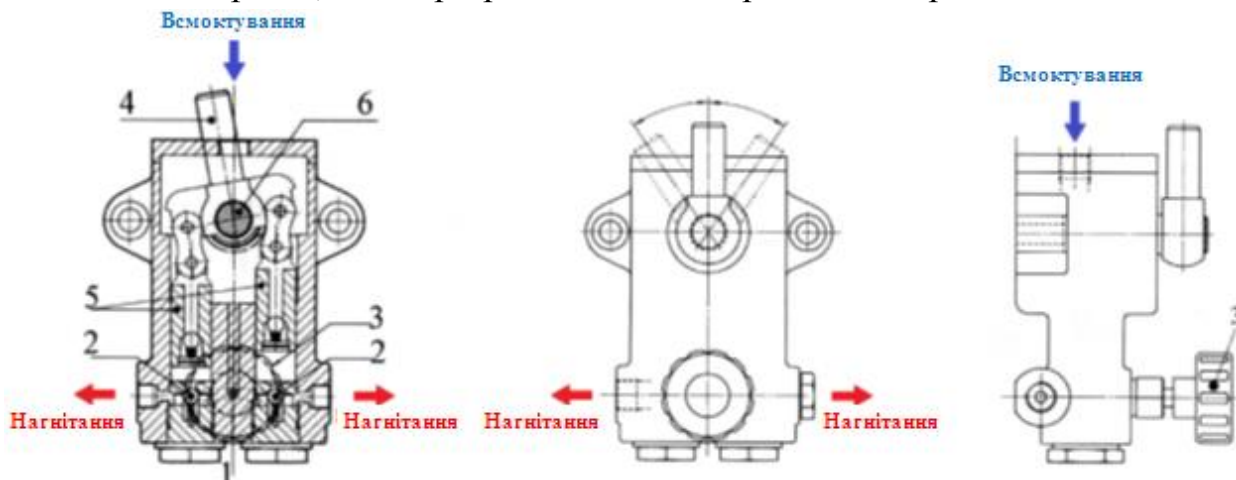


Рис. 10.4. Конструктивна схема двоступеневого ручного насоса
1 – обвідний (байпасний) клапан, 2 – випускной клапан, 3 – захопний пристрій, 4 – приводний важіль, 5 – поршні, 6 – вісь повороту приводного важеля

При переміщенні приводного важеля вліво один поршень піднімається і всмоктує рідину, а другий – опускається і нагнітає її в гідросистему. При переміщенні приводного важеля вправо, навпаки, перший поршень нагнітає рідину, а другий її всмоктує.

Таким чином, при почережній роботі однакових поршнів, робоча рідина подається в гідросистему безперервно і більш рівномірно, ніж в

одноступінчатих насосах. Зі схеми на рис. 10.4 видно, що двоступеневі насоси здатні приводити в дію одночасно два контури гідросистеми.

У промисловості широко застосовуються двоступінчасті версії ручних насосів з коаксіальними поршнями різної площі. При низькому тиску обидва поршні нагнітають робочу рідину в гідросистему з великою витратою. При високих навантаженнях в гідросистему нагнітає рідину тільки один поршень з малою площею, розвиваючи надвисокий тиск при малій витраті.

Насоси з м'язовим приводом використовуються в різних гідромеханізмах. Серед деяких з них: різні види домкратів, статичний гідроінструмент, Паралелограмні механізми підйомних платформ, малогабаритні вантажопідйомні крани, преси, лабораторне випробувальне обладнання на тиск до 200,0 МПа тощо.

Насоси з механічним приводом

Механічний привід насосів здійснюється електромоторами і двигунами внутрішнього згоряння (бензиновими і дизельними). Їх завдання не тільки забезпечити надвисокий тиск в гідросистемі, а й подавати до виконавчих гідроциліндрів стабільну витрату робочої рідини. Насоси надвисокого тиску з механічним приводом випускаються двох типів: аксіально-поршневі і радіально-поршневі.

Аксіально-поршневі мікронасоси

Аксіально-поршневі насоси надвисокого тиску з постійним робочим об'ємом випускаються в малогабаритному виконанні (діаметр корпусу від 30 до 70 мм, довжина до 110 мм). Одним з провідних світових виробників таких гідрокомпонентів є компанія Vieri (Швейцарія). На прикладах її продукції розглянемо реальні конструкції. На рис. 10.5 показаний типовий малогабаритний аксіально-поршневий мікронасос з похилою шайбою.



Рис. 10.5. Мікронасос на тиск 70,0 МПа

Мікронасоси розвивають тиск до 70,0 МПа. Їхній робочий об'єм постійний і, в залежності від виконань, становить типорозмірний ряд від

0,016 до 2,2 см³. Характеристики мікронасосів інших виробників можуть незначно відрізнятися. Величину робочого об'єму конкретного виконання визначає кількість поршнів в насосі. Їх може бути від 2 до 7 шт. Регулювання потоку робочої рідини може здійснюватися за рахунок зміни частоти обертання валу первинного двигуна.

Мікронасоси містять вхідний і вихідний порти, але існують виконання, з отвором в корпусі, через яке відбувається всмоктування робочої рідини.

На рис. 10.6 показана конструкція аксіально-поршневого мікронасоса надвисокого тиску.

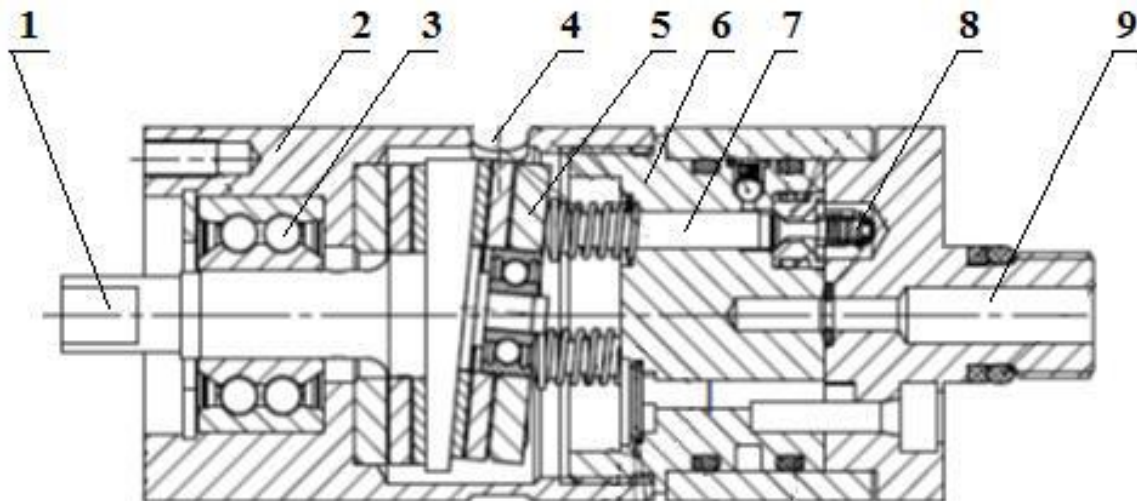


Рис. 10.6. Аксіально-поршневий мікронасос надвисокого тиску
1 – приводний вал, 2 – корпус, 3 – підшипник, 4 – всмоктувальний отвір, 5 – похила шайба, 6 – блок циліндрів, 7 – плунжер, 8 – розподільний клапан, 9 – нагнітальний канал

Мікронасоси надвисокого тиску мають наступні переваги:

- високий ККД при низькій частоті обертання приводного валу;
- широкий діапазон частоти приводного обертання валу;
- низький рівень шуму;
- висока довговічність;
- змащення та охолодження насоса – від вхідного потоку робочої рідини.

Вони використовуються в гідросистемах з щільною питомою потужністю: переносних насосних і випробувальних станціях (в тому числі, працюючих від акумуляторних батарей), авіації, підводних апаратах, для вироблення невеликої витрати в автомобілях, хімічній та харчовій промисловостях для дозування рідких речовин тощо.

Спеціальні радіально-поршневі насоси

Радіально-поршневі насоси надвисокого тиску мають широкий ряд виконань, серед них: однопоточні, комбіновані, багатопотокові.

Однопоточні насоси

Радіально-поршневі насоси надвисокого тиску зазвичай випускаються з постійним робочим об'ємом і клапанним розподілом потоків робочої рідини. Розглянемо принципову конструкцію трьохплунжерного насоса на прикладі моделі PR4 компанії Bosch Rexroth (Німеччина), представленій на рис.10.7.

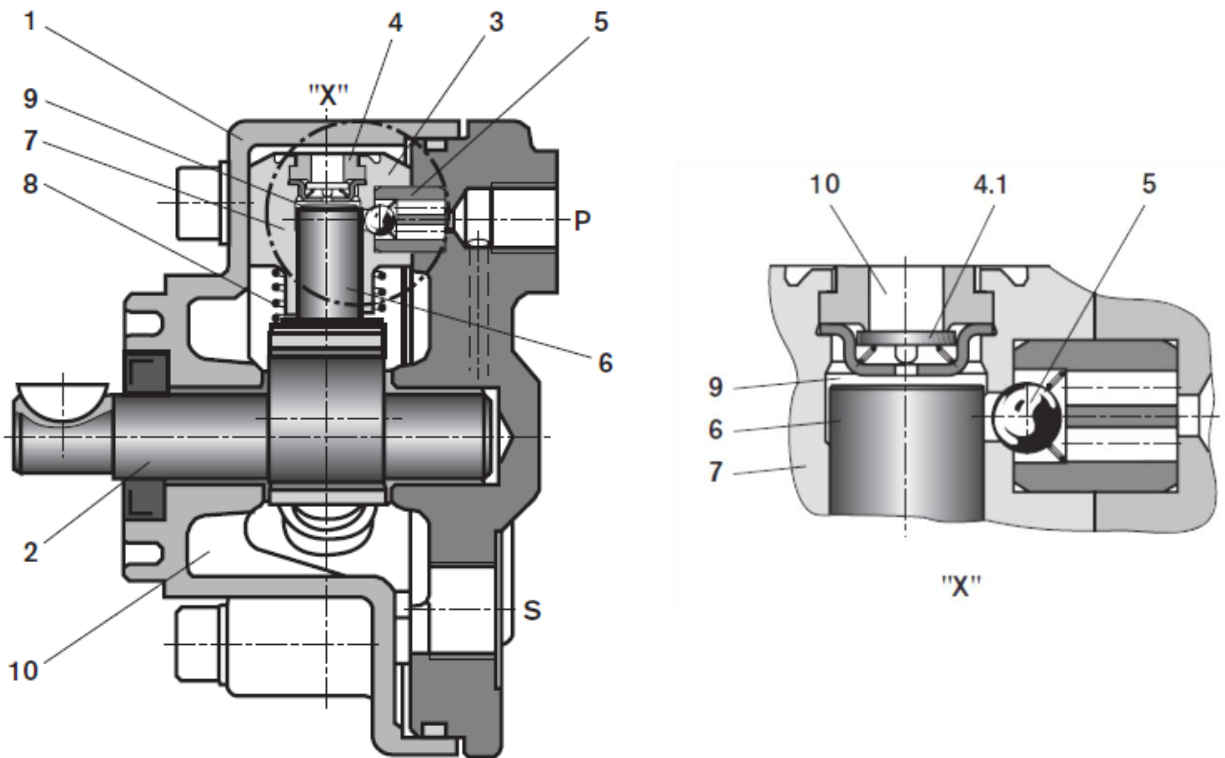


Рис. 10.7. Радіально-поршковий насос з клапанним розподілом РЖ S – всмоктуючий порт, P – нагнітальний порт

1 – корпус, 2 – приводний ексцентриковий вал, 3 – коливальний вузол, 4 – всмоктувальний клапан, 4.1 – запірний елемент всмоктувального клапана, 5 – напірний клапан, 6 – поршень, 7 – циліндр, 8 – зворотна пружина, 9 – робоча камера, 10 – всмоктувальна порожнина.

Насос містить корпус 1, в якому встановлений приводний ексцентриковий вал 2. У корпусі 1 розміщені три однакових коливальних вузла. Коливальний вузол 3 складається з циліндра 7, закріпленого на корпусі 1, поршня 6, який переміщається всередині циліндра 7. Поршень 6 своєю п'ятою спирається на робочу поверхню ексцентрика приводного вала 2. На зовнішню поверхню циліндра 7 надіта поворотна пружина 8. З одного боку вона впирається в буртик циліндра 7, з іншого – в п'яту поршня 6. Рухомий поршень 6 утворює з внутрішньою порожниною циліндра 7 робочу камеру 9. На торці циліндра 7, з боку всмоктувальної порожнини 10, встановлений клапан 4 з запірним пластинчастим елементом 4.1, а в нагнітальній порожнині – кульковий напірний клапан 5.

Працює насос наступним чином. При обертанні ексцентрикового вала і переміщенні поршня 6 вниз під дією пружини 8, об'єм робочої камери 9 збільшується. Тиск в ній падає, і запірні пластини 4.1 відходять від ущільнювальної кромки сідла. Клапан 4 відкривається, поєднуючи всмоктувальну порожнину 10 насоса з його робочою камерою 9. Камера 9 наповнюється гідравлічною рідиною. Під час руху поршня 6 вгору, всмоктувальний клапан 4 закривається, а напірний кульковий клапан 5 відкривається. Робоча рідина через нагнітальний порт Р надходить в гідросистему.

На рис. 10.8 показаний типовий радіально-поршневий насос надвисокого тиску компанії Vieri (Швейцарія).

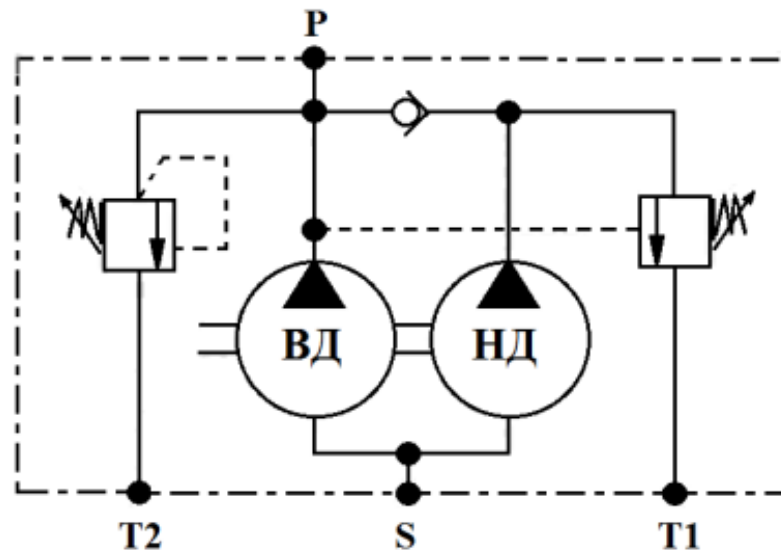


Рис. 10.8. Радіально-поршневий насос надвисокого тиску компанії Vieri

Різні виконання насосів типу BRK цієї компанії розраховані на тиск: 50,0; 65,0; 70,0; 85,0; 90,0 і 100,0 МПа. Типорозмірний ряд робочих об'ємів – від 0,47 до 8,14 см³. Робочий об'єм кожної моделі визначається кількістю поршнів в коливальних вузлах. Їх кількість завжди непарна і може становити 3, 5, 7 або 9 шт. Чим більше кількість поршнів, тим нижче пульсація потоку.

Комбіновані насоси

Комбіновані насоси містять два гідроконтури – низького і високого тиску. При виконанні малонавантажених і холостих операцій, гідроконтур низького тиску, працюючи спільно з насосом надвисокого тиску, забезпечує велику швидкість виконавчого механізму, створюючи відносно невеликі зусилля (наприклад, підведення інструменту в робочу зону, зворотний хід гідродвигуна тощо). Гідроконтур надвисокого тиску, при мінімальних витратах, розвиває дуже великі зусилля (відбувається силова робоча операція). На рис. 10.9 показана гідросхема комбінованого насоса (а) і зовнішній вигляд його виконань (б, в).



а)



б)



в)

Рис. 10.9. Гідросхема комбінованого насоса і зовнішній вигляд його виконань
 ВД – гідроcontури надвисокого тиску, НД – гідроcontури низького тиску, S – порт
 всмоктування, P – порт нагнітання, T1, T2 – порти зливу

В якості секції низького тиску в деяких моделях використовуються серійні шестеренні насоси (рис. 10.9б). Вони кріпляться безпосередньо до зовнішньої поверхні корпусу насоса надвисокого тиску. Привод здійснюється від загального наскрізного валу. На корпусі шестеренного насоса встановлюють клапанний блок, поєднуючи його з гідравлічними каналами обох коливальних вузлів за схемою, показаної на рис. 10.9а. Тиск і робочий об'єм шестеренного насоса вибирають виходячи з приводної потужності і параметрів гідравлічного обладнання. Так, наприклад, поширені моделі типу SKP компанії Vieri комплектуються шестеренними насосами, що розвивають тиск до 10,0 МПа, а лінійка робочих об'ємів становить від 4,0 до 16,71 см³/об.

Секція високого тиску, розрахована на 70,0 МПа при робочих об'ємах від 0,45 до 2,71 см³/об.

Інші модифікації комбінованих насосів мають вбудоване виконання коливального вузла низького тиску. Його конструкція відрізняється від аналога для надвисокого тиску збільшеним діаметром поршнів. На зовнішній поверхні корпусу встановлюються тільки клапанні блоки. Зовнішній вигляд таких насосів показаний на рис. 10.9в. Для моделей типу ККР гідроконтур низького тиску розрахований на 16,0 МПа, а лінійка робочих об'ємів становить від 0,47 до 4,60 см³/об. Секція високого тиску розрахована на 70,0 МПа при робочих об'ємах від 0,12 до 2,71 см³/об.

Комбіновані насоси надвисокого тиску знайшли широке застосування в приводах ручного гідравлічного інструменту та іншому аналогічному обладнанні.

Багатопотокові насоси

Багатопотокові насоси застосовуються в гідросистемах, що містять кілька гідроконтурів. Кожен контур таких гідроприводов, може вимагати однакових або різних витрат або тисків. Багатопотокові радіально-поршневі насоси містять поршневі коливальні вузли, кожен з яких, або декілька з них, з'єднуються з окремими вихідними портами нагнітання. Залежно від комбінацій об'єднання коливальних вузлів, в тому числі з різними діаметрами поршнів, можна підібрати необхідні витрати робочої рідини і налаштувати необхідний максимальний тиск в окремих контурах гідросистеми.

Багатопотокові насоси надвисокого тиску використовуються в складному відповідальному обладнанні, наприклад, для синхронізації руху силових домкратів при підйомі важких великогабаритних конструкцій. Вони також застосовуються для приводу ручного гідроінструмента, систем тензорних домкратів та іншого подібного обладнання.

На рис. 10.10 показані гідросхеми насоса типу MRK компанія Vieri і його зовнішній вигляд. Цей радіально-поршневий насос розвиває тиск до $p = 100,0$ МПа. Опції насоса містять від 3-х до 12-ти коливальних вузлів, які можуть комплектуватися поршнями різного діаметру. Комбінуючи кількість коливальних вузлів і розміри поршнів, в них можна реалізувати через відповідні порти нагнітання, від 2-х до 8-ми незалежних потоків робочої рідини.

При загальному робочому об'ємі насоса 5,43 см³/об, в окремих контурах він може становити від 0,16 до 2,71 см³/об. Слід зазначити, що при тисках нижче 65,0 МПа, робочий об'єм окремих контурів насоса може досягати 3,62 см³/об за рахунок збільшення діаметра поршнів.

Максимальна частота обертання валу насоса становить 2000 об/хв.
Висота всмоктування – 500 мм.



$Q_1, Q_2, Q \dots; p_1, p_2, p \dots$ – Витрата і тиск в гідроконтурах 1, 2, ... S – порт всмоктування

Рис. 10.10. Багатопотоковий радіально-поршневий насос на 100,0 МПа

Для приводу насоса з відповідними робочими об'ємами його контурів, потрібна різна потужність, що передається первинним двигуном. Її можна розрахувати за наступною формулою.

$$N = \frac{\Sigma(p \cdot V_i) \cdot n \cdot k}{\eta \cdot 60 \cdot 10^3}, \quad (10.4)$$

де N – потрібна потужність насоса, кВт; p – робочий тиск, МПа; V_i – робочий об'єм контуру насоса, см³/об; n – частота обертання приводного валу насоса, об/хв; η – загальний ККД насоса ($\sim 0,9$); k – коефіцієнт пульсації насоса

Коефіцієнт пульсації k залежить від кількості поршнів (коливальних вузлів) в насосі і визначається з таблиці 10.3.

Таблиця 10.3. Значення коефіцієнта пульсації в залежності від кількості поршнів в насосі

Кількість поршнів в насосі, шт.	шт	3	4	5	6	Понад 7
Коефіцієнт пульсації	k	$\sim 1,05$	$\sim 1,1$	$\sim 1,0$	$\sim 1,05$	$\sim 1,05$

Плунжерні насоси

Плунжер – витіснювальний елемент циліндричної форми, довжина якого набагато більше діаметру. Плунжерні насоси здатні розвивати більш високий тиск, ніж поршневі. У таких насосах жорсткі вимоги висуваються до точності і чистоти обробки зовнішньої циліндричної поверхні плунжера. При виробництві поршневих насосів найбільш важливою операцією є розточення внутрішніх поверхонь циліндрів. Шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь технологічно здійснюється легше, ніж внутрішніх. Точність сполучення рухомих пар коливальних вузлів у сучасних плунжерних насосів дуже висока і становить 2-3 мкм. Тиск, який здатний витримувати плунжерні пари досягає 200,0 МПа.

Плунжерні насоси застосовуються в багатьох галузях економіки. У машинобудуванні вони часто використовуються в силових агрегатах, гідравлічних пресах, формувальному, випробувальному обладнанні тощо

У верстатобудуванні знайшли застосування рядні плунжерні насоси з ексцентриковим валом. При обертанні ексцентриків плунжери, спираючись на їх поверхні, здійснюють зворотно-поступальні рухи. Відбуваються процеси всмоктування і нагнітання робочої рідини.

Широке поширення в різних галузях промисловості отримали плунжерні насоси з кривошипно-шатунним механізмом. На рис. 10.11 показана кінематична схема таких насосів.

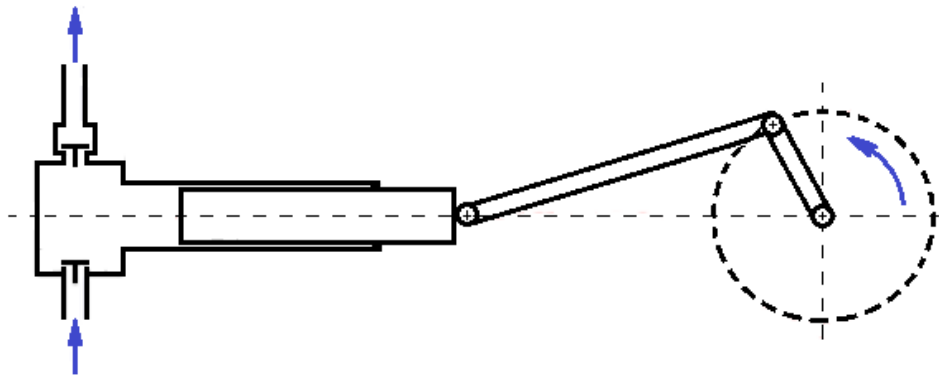


Рис. 10.11. Схема плунжерного насоса з кривошипно-шатунним механізмом

Плунжерні насоси з кривошипно-шатунним механізмом характеризуються високою продуктивністю. Вони виробляють витрати від 4 до 430 л/хв і більше. На рис. 10.12 показаний зовнішній вигляд і розріз коливального вузла такого насоса.

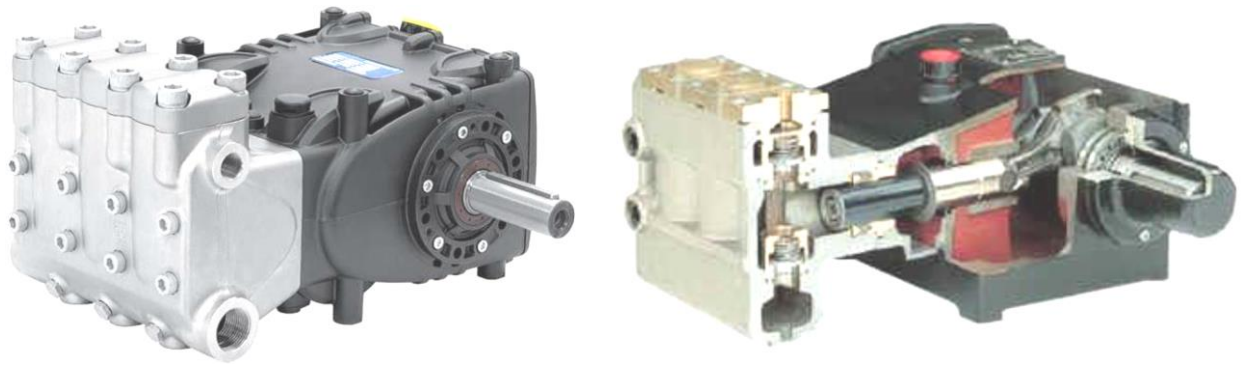


Рис. 10.12. Плунжерні насоси з кривошипно-шатунним механізмом

Насоси з пневматичним приводом

Принцип дії насосів з пневматичним приводом заснований на роботі пневмогідролічного мультиплікатора (підсилювача), тобто на динамічній рівновазі системи «поршень пневмоциліндра – плунжер гідронасоса». Співвідношення площ поршня пневмоциліндра і нагнітаючої робочої рідини плунжера визначає коефіцієнт посилення насоса по тиску. Такі насоси називають бустерними або дотискними.

На відміну від об'ємних насосів з механічним приводом, жорстко з'єднані між собою поршень пневмоциліндра і плунжер гідронасоса забезпечують зворотний зв'язок за тиском на виході в системі «насос – гідропривод». При мінімальному тиску в гідросистемі швидкість плунжера, а, отже, і витрата насоса – максимальні. Зростання тиску рідини призводить до зменшення швидкості руху плунжера, аж до повної його зупинки, що відповідає нульовій витраті насоса. Важливо відзначити, що робота при нульовій витраті (підтримка тиску в гідросистемі) є для насоса нормальним робочим режимом.

Бустерні насоси живляться від пневмомережі підприємств або окремих компресорів. Діапазон тисків живильної пневмомережі – від 0,02 до 1,0 МПа. Розвиваний тиску в гідравлічному контурі становить 100,0-150,0 МПа, а в окремих виконаннях перевищує 600,0 МПа.

Насоси надвисокого тиску з пневмоприводом застосовуються в різних галузях промисловості: нафтогазовидобувній, хімічній, комунальному господарстві та ін. В машинобудівній гідравліці вони використовуються в приводах верстатного обладнання, гідравлічних пресів, затискачів, роботів, підйомних засобів, ручного інструменту, випробувальних стендах тощо. Ці насоси ефективно використовуються в обладнанні, що працює у вибухонебезпечних умовах.

Насоси надвисокого тиску компанії KSB

Насоси KSB можна розділити на 3 групи залежно від сфери застосування:

1) *Промисловість і технології:*

- транспортування великих об'ємів води або конденсату;
- отримання рідини під тиском для пресових установок;
- для снігових гармат.

Для реалізації подібних завдань KSB випускає горизонтальні насоси зі спеціальною оболонкою корпусу з радіальними робочими колесами (рис.10.13).



Рис. 10.13. Насос надвисокого тиску компанії KSB

- **CHTC** однопоточковий, багатоступінчастий, з фланцевим з'єднанням або під зварювання, $H_{\max} = 4,000 \text{ М}$, $Q_{\max} = 1,278 \text{ м}^3/\text{год}$.
- **CHTD** однопоточковий, багатоступінчастий, $H_{\max} = 5,300 \text{ М}$, $Q_{\max} = 3,600 \text{ м}^3/\text{год}$.
- **CHTR** одно- і двопоточковий, багатоступінчастий, під приварення або фланці, $H_{\max} = 4,000 \text{ М}$, $Q_{\max} = 1,450 \text{ м}^3/\text{год}$.
- **HGB** секційного типу з поздовжнім роз'ємом корпусу, радіальні колеса, 1- або 2-поточковий, багатоступінчастий, $H_{\max} = 2,000 \text{ М}$, $Q_{\max} = 1,650 \text{ м}^3/\text{год}$.
- **HGS** секційного типу з поздовжнім роз'ємом корпусу, радіальні колеса, 1 або двопоточковий, багатоступінчастий, $H_{\max} = 4,200 \text{ М}$, $Q_{\max} = 1,650 \text{ м}^3/\text{год}$.

2) Енергетика.

Спеціально для роботи в реакторах високонапірних систем живлення і відведення залишкового тепла компанією KSB були розроблені насоси **RHM** і **RVM**.

Перший – **RHM** – це горизонтальний насос з характеристиками максимального напору 2100 м, максимальної подачі 300 м³/год, максимальний тиск з напірної сторони 220 бар, температура рідини до 180 °С.

Другий – **RVM** – вертикальний насос з показником максимального напору 2000 м, а подачі 50 м³/год. Насос може витримувати максимальний тиск до 200 бар, встановлюється вертикально і забезпечує частоту обертання до 6000 оборотів в хвилину.

Серед насосів надвисокого тиску KSB для енергетики варто також відзначити вертикальний секційний барельний насос WKVA для підвальної установки в шахтах з метою транспортування конденсату на електростанціях. Його характеристики Н max 340 метрів, Q max 1800 м³/год.

3) нафтогазовий сектор.

Крім загальнопромислових насосів надвисокого тиску для нафтової і газової промисловості компанією **KSB** був створений насос **WKTR**, представляє себе вертикальний барельний насос (горщикоподібний) для енергетичних установок, перекачування конденсату, з максимальними значеннями напору 500 метрів, подачі 400 м³/год.

Контрольні питання до теми 10

1. Які продукти можна пастеризувати НВТ?
2. Поясніть сутність обробки продуктів НВТ?
3. Які основні переваги обробки надвисоким тиском?
4. Як встановлюється тара при даній обробці?
5. З яких операцій складається обробка продуктів НВТ?
6. В яких межах створюється тиск в камерах НВТ?
7. Які властивості овочевих і фруктових соків покращуються після обробки НВТ?
8. Назвіть переваги обробки йогуртів НВТ?
9. Особливості обробки молока НВТ і термін його зберігання?
10. Як оброблюються м'ясні продукти надвисоким тиском і який термін зберігання?
11. Що досягається при обробці риби і ракоподібних при обробці НВТ?
12. Назвіть відмітні особливості установок НВТ.
13. Які суттєві недоліки мали перші зразки гідропресів?

14. Які параметри установок НВТ були недостатні для харчових виробництв?
15. Від чого залежить продуктивність НВТ?
16. В чому полягає пристрій і робота спареної установки надвисокого тиску Wave 6000/55?
17. В чому полягає пристрій і робота спареної установки надвисокого тиску Wave 6000/300 Tandem?
18. Які конструктивні рішення впливають на надійність і безпечність установок НВТ?
19. На які групи поділяються насоси по типу витискального робочого елемента?
20. Як влаштований важільний насос надвисокого тиску?
21. На чому заснований принцип дії поршневого насоса?
22. За якою формулою визначається робочий об'єм насоса при повному циклі руху поршня?
23. Поясніть будову і принцип дії двоступеневого важільного насоса.
24. Назвіть типи насосів з механічним приводом.
25. Якими енергетичними засобами здійснюється привод насосів?
26. З яких основних частин складається аксіально-поршневий насос надвисокого тиску?
27. Які переваги мають аксіально-поршневі мікронасоси надвисокого тиску?
28. Назвіть області застосування аксіально-поршневих мікронасосів НВТ.
29. Поясніть будову і принцип дії одно потокового радіально-поршневого насоса.
30. Надайте характеристику комбінованим радіально-поршневим насосам.
31. Поясніть загальну будову багатопотокового радіально-поршневого насоса.
32. За якою формулою визначається потужність радіально-поршневого насоса НВТ?
33. Надайте загальну характеристику плунжерним насосам надвисокого тиску.
34. За яким принципом заснована дія насоса з пневматичним приводом?

Тести для перевірки знань.

- 1) Установка НВТ є:
 1. Гідравлічною машиною циклічної дії.
 2. Гідравлічним пресом безперервної дії.
 3. Гідравлічним насосом високого тиску
 4. Гідравлічним апаратом з похилою робочою камерою.
- 2) Яке розташування робочої камери на установці НВТ найбільш ефективно?
 1. Горизонтальне
 2. Вертикальне.
 3. Похиле (45°).
 4. Похиле (60°).
- 3) Що являється робочим тілом установки?
 1. Вода.
 2. Розчин натрієвої солі.
 3. Синтетична олія.
 4. Рідина для гідросистем.
- 4) Який тиск створюється в камері НВТ?
 1. 400 ... 600 МПа.
 2. 200 ... 300 МПа.
 3. 100 ... 200 МПа.
 4. < 100 МПа
- 5) Що являється головним при упаковці продукта перед обробкою НВТ?
 1. Вміст повітря в упаковці повинен бути мінімальним.
 2. Запобігання контакту з водою.
 3. Запобігання контакту з навколишнім середовищем.
 4. Якісна герметизація упаковки або тари.
- 6) Яку основну якість повинна мати упаковка?
 1. Упаковка повинна бути достатньо гнучкою.
 2. Упаковка повинна мати невеликі розміри.
 3. Вигляд упаковки повинен бути компактним.
 4. Упаковки продуктів повинні бути однаковими.
- 7) Який проміжок часу займає весь цикл обробки продуктів НВТ?
 1. 3 ... 10 хв.
 2. 10 ... 20 хв.
 3. 20 ... 30 хв.

4. До 40 хв.
- 8) Який об'єм камери установки НВТ вважається граничним?
1. 420 л.
 2. 500 л.
 3. 350 л.
 4. 300л.
- 9) Які типи насосів можуть створювати надвисокі тиски.
1. 1. Плунжерні.
 2. Шнекові.
 3. Гвинтові.
 4. Відцентрові.
- 10) Який максимальний тиск розвиває важільний насос?
1. 70 ... 280 МПа.
 2. 280 ... 400 МПа.
 3. 400 ... 500 МПа.
 4. 500 ... 600 МПа.
- 11) Скільки поршнів може бути в аксіально-поршневому насосі?
1. 2 ... 7 шт.
 2. 8 ... 10 шт.
 3. 1 поршень.
 4. 10 ... 12 шт.
- 12) Яка кількість поршнів в коливальних вузлах радіально-поршневих насосів НВТ?
1. 3, 5, 7.
 2. 1, 2, 4.
 3. 6, 8, 10.
 4. Більше 10.
- 13) Скільки незалежних потоків робочої рідини можна реалізувати в багатопотокових радіально-поршневих насосах?
1. Від 2-х до 8-ми потоків.
 2. Від 8-ми до 10-ти потоків.
 3. Більше 10-ти потоків.
 4. Не більше 2-х потоків.
- 14) За якою формулою визначається робочий об'єм важільного насоса?
1. $V = (2F_{\Pi} - F_{Ш}) \cdot l$
 2. $V = F \cdot l$
 3. $V = (F_{\Pi} - F_{Ш}) \cdot l$
 4. $V = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} + \frac{\pi D_{Ш}^2}{4}$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стабников В. Н., Лысянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник. 3-е изд., испр. и доп. М. : Пищевая промышленность, 1976. 663 с.
2. Стабников В. Н., Лысянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств : учебник. 3-е изд., испр. и доп. М. : Агропромиздат, 1985. 503 с.
3. Кавецкий Г. Д., Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1999. 551 с.
4. Горбатюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств : ученик. М. : Колос, 1999. 335 с.
5. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм : учебное пособие. Л. : Колос, 1978. 560 с.
6. Фёдоров Н. Е. Процессы и аппараты мясной промышленности. М. Пищевая промышленность, 1969. 550 с.
7. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками : пер. с польського. Под ред. И. А. Щупляка. М. : Химия, 1975. 384 с.
8. Шалугін В. С., Шмандій В. М. Процеси та апарати промислових технологій : навч. посібник. К. : Центр учбової літератури, 2008. 392 с.
9. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник / Поперечний А. М., Черевко О. І., Гаркуша В. Б., Кирпиченко Н. В. ; за ред. А. М. Поперечного. К. : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
10. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва : навч. посіб. / П. С. Берник та ін. Львів : Львівська політехніка, 2004. 336 с.
11. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / В.Г. Мирончук та ін. Вінниця : Нова книга, 2004. 288 с.
12. Остриков А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / А .Н. Остриков и др. Кн. 1. СПб. : Гиорд, 2007. 704 с.
13. Остриков А. Н., Парфенопуло М. Г., Шевцов А. А. Практикум по курсу "Технологическое оборудование" : учеб. пособие для вузов. Воронеж : Воронеж. гос. техн. акад., 1999. 424 с.
14. Малезик І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв : лабораторний практикум. За ред. І. Ф. Малезика. К. : НУХТ, 2006. 224 с.
15. Лабораторний практикум з дисципліни „Процеси і апарати“: Навчальний посібник. / В.Ф. Ялпачик та ін. Мелітополь : Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 275 с.

16. Процеси і апарати харчових виробництв : лабораторний практикум : навч. посібник. / О. І. Черевко та ін. ; Харків : Світ Книг, 2013. 168 с.
17. Гапонов К. П. Процессы и аппараты микробиологических производств М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1981. 240 с.
18. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам пищевых производств / А. С. Гинзбург и др. 3-е изд. перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1990. 256 с.
19. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / І.С. Гулий та ін. / Під ред. І.С. Гулого. К. : 2001. 576с
20. Машины и аппараты пищевых производств. В 2-х кн. Кн. 1 : Учеб. для вузов. / Антипов С.Т. и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. М. : Высшая школа, 2001. 703 с.
21. Машины и аппараты пищевых производств. В 2-х кн. Кн. 2 : Учеб. для вузов. / Антипов С.Т. и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. М. : Высшая школа, 2001. 680 с.
22. Лонцин М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств. Под ред. И.А. Рогова, С.С. Панченко. М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 384 с.
23. Остриков А.Н., Абрамов О.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. Учебник для вузов, СПб.; ГИОРД, 2003. 352с.
24. Гребенюк С.М., Михеева Н.С. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам М. : Агропромиздат, 1987. 304 с.
25. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии : Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн. Часть 2 Массообменные процессы и аппараты. М. : Химия, 1995. 368 с.
26. Даурский А.Н., Мачихин Ю.А., Хамитов Р.И. Обработка пищевых продуктов резанием. Под ред. Ю.А. Мачихина. М. : Пищевая промышленность, 1994. 216 с.
27. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2007. 760 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ I. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ	5
Тема 1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»	5
1.1. Зміст і завдання предмету «Процеси і апарати харчових виробництв»	5
1.2. Історія розвитку науки про процеси і апарати	7
1.3. Класифікація основних процесів харчових виробництв	9
1.4. Основні типи технологічних процесів	13
1.5. Основні типи апаратів	15
1.6. Принципи розрахунку процесів, машин і апаратів	16
<i>Контрольні питання до теми 1</i>	19
<i>Тести для перевірки знань</i>	20
ТЕМА 2. НАУКОВІ ОСНОВИ І ПОЛОЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	23
2.1. Основні етапи технологічних процесів харчових виробництв	23
2.2. Закони збереження маси і енергії	23
2.3. Закони рівноваги систем	25
2.4. Рушійна сила процесу	26
2.5. Закони кінетики перебігу процесу	28
2.6. Основи раціональної побудови апаратів	30
<i>Контрольні питання до теми 2</i>	43
<i>Тести для перевірки знань</i>	44
ТЕМА 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ	47
3.1. Методи моделювання процесів і апаратів	47
3.2. Аналітичний і експериментальний методи досліджень	48
3.3. Теорія подібності фізичних явищ	51
3.4. Теореми подібності систем	55
3.5. Отримання критеріїв досліджуваних явищ із відомих критеріїв-комплексів	58
<i>Контрольні питання до теми 3</i>	62
<i>Тести для перевірки знань</i>	64
РОЗДІЛ II. МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ	67
ТЕМА 4. ПРОЦЕСИ ПОДРІБНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І СИРОВИНИ	67

4.1. Фізичні основи процесу подрібнення	67
4.2. Основи теорії дроблення	73
4.3. Класифікація подрібнювальних машин	76
4.4. Конструкції подрібнювальних машин	78
<i>Контрольні питання до теми 4</i>	91
<i>Тести для перевірки знань</i>	92
ТЕМА 5. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	95
5.1. Способи різання харчових матеріалів	95
5.2. Параметри процесу різання	97
5.3. Характеристика різальних пристроїв	102
5.4. Способи різання харчових продуктів	107
<i>Контрольні питання до теми 5</i>	118
<i>Тести для перевірки знань</i>	119
ТЕМА 6. ПРОЦЕСИ СОРТУВАННЯ І КАЛІБРУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ	122
6.1. Сутність і задачі сортування.	122
6.2. Ділильний фактор і характер процесу сортування	126
6.3. Характеристика процесу сепарування	127
6.4. Способи просіювання матеріалу на ситах	128
6.5. Ситовий аналіз сипучого матеріалу	131
6.6. Ефективність сепарування	132
6.7. Конструкції машин і способи сепарування	134
6.8. Елементи теорії ситових сепараторів	137
6.9. Сепарування на циліндричних обертових решетах	140
<i>Контрольні питання до теми 6</i>	141
<i>Тести для перевірки знань</i>	142
ТЕМА 7. РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ У ТРІЄРАХ; ПНЕВМАТИЧНЕ, ГІДРАВЛІЧНЕ ТА МАГНІТНЕ СЕПАРУВАННЯ	146
7.1. Сепарування в циліндричних трієрах	146
7.2. Теоретичні аспекти процесу у циліндричних трієрах	148
7.3. Сепарування в дискових трієрах	152
7.4. Повітряне сепарування	157
7.5. Гідравлічне сепарування	161
7.6. Магнітне сепарування	164
7.7. Елементи теорії магнітного сепарування	168
<i>Контрольні питання до теми 7</i>	172
<i>Тести для перевірки знань</i>	173

ТЕМА 8. ОБРОБКА ХАРЧОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ	176
8.1. Характеристика процесу пресування	176
8.2. Класифікація процесів пресування харчових продуктів	178
8.3. Основи теорії пресування	181
8.4. Віджимання рідини з матеріалу	189
8.5. Брикетування харчових продуктів та кормів	194
<i>Контрольні питання до теми 8</i>	210
<i>Тести для перевірки знань</i>	211
ТЕМА 9. ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	214
9.1. Класифікація формувальних машин	214
9.2. Процеси формоутворення у шнекових пресах	216
9.3. Елементи теорії розрахунку формоутворювальних пресів	218
9.4. Формування харчових продуктів методом екструзії	222
9.5. Класифікація та характеристика екструдерів	224
9.6. Елементи теорії формування харчових продуктів	225
9.7. Обладнання для формування харчових продуктів методом екструзії	227
<i>Контрольні питання до теми 9</i>	234
<i>Тести для перевірки знань</i>	235
РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЯ НАДВИСОКОГО ТИСКУ	238
ТЕМА 10. ОБРОБКА ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ МЕТОДОМ НАДВИСОКИХ ТИСКІВ.	238
10.1. Характеристика технології надвисоких тисків (НВТ)	238
10.2. Особливості пастеризації харчових продуктів надвисоким тиском	240
10.3. Машинно-апаратне оснащення процесів обробки продуктів надвисоким тиском	244
10.4. Насоси надвисокого тиску	249
<i>Контрольні питання до теми 10</i>	263
<i>Тести для перевірки знань</i>	265
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	267
ЗМІСТ	269

**В.С. Бойко, К.О. Самойчук, В.Г. Тарасенко,
Н.П. Загорко, І.О. Мікульонок, В.Г. Циб.**

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Механічні процеси і технології надвисокого тиску

Підручник для студентів закладів вищої освіти

Комп'ютерний набір, таблиці та графіки *Харитонова Г.І.*

Рисунки, креслення та схеми *Чердаклієв А.А.*

Редагування та коректура *Тарасенко В.Г.*

