

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О. Л. Сокольський, Ю. Ю. Герасименко

ПАКУВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2026

УДК 621.789
С59

Укладачі: *Сокольський Олександр Леонідович*, д-р техн. наук, зав. каф.
Герасименко Юлія Юріївна, доктор філософії, асистент

Рецензент *Степанюк А.Р.*, к.т.н., доц., зав. каф.

Відповідальний редактор *Карвацький А.Я.* д.т.н., проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 05.03.2026 р.)
за поданням вченої ради факультету автоматизації, промислової інженерії та екології
(протокол № 9 від 27.10.2025 р.)*

Сокольський О.Л.
С59 Пакувальні технології та обладнання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / О. Л. Сокольський, Ю. Ю. Герасименко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 122 с.

Призначення посібника – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал освітнього компонента «Пакувальні технології та обладнання», розкрити особливості конструктивного оформлення пакувальних машин та пристроїв, основ конструювання й розрахунку їхніх базових конструктивних і технологічних параметрів.

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- вибирати пакувальне обладнання для різних видів продукції та виконувати його технічні розрахунки;
- забезпечувати ефективну експлуатацію пакувального обладнання в умовах виробництва;
- застосовувати сучасні методики розрахунку, проектування та модернізації пакувальних машин і пристроїв.

УДК 621.789

Реєстр. № НП 25/26-110. Обсяг 6,3 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕКСТ ЛЕКЦІЙ	6
1 Операції процесу пакування. Класифікація пакувальних і дозувальних пристроїв	6
ТЕМА 1. ДОЗУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ	11
2 Пристрої без рухомого робочого органу	11
3 Пристрої з обертовим робочим органом	14
4 Дозатори з поступальною і коливальною ходою робочого органу	25
5 Вагові дозатори	36
6 Оцінка точності дозування	44
ТЕМА 2. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ, В'ЯЗКИХ ТА ПЛАСТИЧНИХ ПРОДУКТІВ	46
7 Класифікація дозувальних пристроїв для рідин	46
8 Барометричні дозувальні пристрої	49
9 Вакуумні і надбарометричні дозувальні пристрої	54
10 Фасування в'язких рідин	60
11 Пристрої для дозування пластичних матеріалів	64
12 Розрахунок дозаторів поршневого типу	70
13 Особливості дозування у вакуумній, асептичній упаковці та упаковці в модифікованому газовому середовищі	73
14 Устаткування для пакування штучних виробів	76
РОЗДІЛ 2. ЗАВДАННЯ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ	88
Практична робота №1 Розрахунок роторного живильника	88
Практична робота №2 Розрахунок тарілчастого живильника	89
Практична робота №3 Розрахунок шнекового живильника	90
Практична робота №4 Розрахунок стрічкового живильника	91
Практична робота №5 Розрахунок вібраційного живильника	92
Практична робота №6 Розрахунок вагового дозатора	93
РОЗДІЛ 3. ІНСТРУКЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	94
Лабораторна робота №1 Визначення кута природного укусу сипких матеріалів	94
Лабораторна робота №2 Визначення насипної густини сипких матеріалів	96
Лабораторна робота № 3 Визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів	99
Лабораторна робота № 4 Визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів	103
Лабораторна робота № 5 Визначення умовної в'язкості рідких продуктів	108

Лабораторна робота № 6 Дослідження процесу дозування сипких продуктів під дією сили гравітації	110
Лабораторна робота № 7 Дослідження процесу дозування рідких продуктів під дією сили гравітації	113
Лабораторна робота № 8 Дослідження механічних характеристик пластичних продуктів	117
ЛІТЕРАТУРА	121

ВСТУП

Упаковка є невід'ємним елементом будь-якої сучасної виробничої системи, що забезпечує ефективне збереження, транспортування, реалізацію і споживання продукції. Від рівня розвитку пакувальних технологій та обладнання значною мірою залежить конкурентоспроможність підприємства, оскільки саме упаковка є тим фактором, який поєднує виробника із кінцевим споживачем. Сьогодні вона виконує не лише традиційну функцію захисту продукту від механічних, хімічних чи біологічних впливів, але й стає носієм інформації, естетичним інструментом маркетингу та засобом оптимізації логістики.

Значна увага до розвитку пакувальної індустрії зумовлена глобальними викликами – зростанням обсягів виробництва харчових і промислових товарів, посиленням вимог до їхньої безпечності та якості, а також необхідністю скорочення втрат при транспортуванні і зберіганні. Вирішальну роль у цьому відіграють сучасні пакувальні машини та технології, які дозволяють здійснювати фасування, дозування, закупорювання, маркування і контроль якості з високою точністю та мінімальними затратами праці.

Розвиток пакувального обладнання відбувається у кількох напрямках:

- автоматизація та роботизація процесів, що забезпечує високу продуктивність і стабільність роботи;
- універсальність і гнучкість конструкцій, які дозволяють швидко переналаштовувати обладнання для різних видів продукції;
- застосування асептичних та газових технологій, спрямованих на подовження термінів зберігання продуктів без використання консервантів;
- цифровізація та системи моніторингу, які дозволяють контролювати параметри процесу в режимі реального часу та підвищують надійність обладнання;
- екологічність, що виявляється у впровадженні енергоощадних режимів роботи машин, використанні біорозкладних пакувальних матеріалів, а також у створенні систем для повторної переробки упаковки.

Посібник «Пакувальні технології та обладнання» має на меті систематизацію знань студентів та майбутніх фахівців у сфері пакувального виробництва. Він покликаний дати уявлення про класифікацію пакувальних машин, принципи їхньої роботи, основні конструктивні вузли та особливості експлуатації. Значну увагу приділено питанням конструювання та розрахунку обладнання, що забезпечує можливість для студентів не лише ознайомитися з готовими рішеннями, але й навчитися самостійно приймати інженерні рішення.

Окремі розділи посібника висвітлюють питання пакування у вакуумному та газовому середовищі, асептичні методи пакування, застосування спеціальних пристроїв для фасування та закупорювання штучних і дрібноштучних виробів.

Поряд із традиційними технологіями розглядаються і новітні напрями розвитку галузі, що відповідають міжнародним стандартам.

Вивчення навчальної дисципліни «Пакувальні технології та обладнання» має на меті формування у студентів таких ключових компетентностей:

- здатність орієнтуватися у різноманітті пакувальних технологій і вибирати оптимальні рішення для конкретних умов виробництва;
- уміння виконувати розрахунки основних конструктивних і технологічних параметрів пакувальних машин;
- здатність забезпечувати правильну експлуатацію, налагодження та обслуговування обладнання;
- використання сучасних методик проектування з урахуванням екологічних вимог та енергоефективності виробництва.

Посібник розрахований насамперед на студентів закладів вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей, які опановують дисципліни, пов'язані з пакувальними технологіями. Він може бути корисним також для викладачів, аспірантів, інженерів-практиків, конструкторів і спеціалістів підприємств, що займаються проектуванням, експлуатацією та модернізацією пакувального обладнання.

Таким чином, даний посібник не лише сприятиме закріпленню теоретичних знань, отриманих під час лекційних занять, але й стане практичним інструментом у підготовці майбутніх фахівців до роботи в умовах сучасного виробництва, де упаковка виступає важливою складовою успіху будь-якого товару на ринку.

РОЗДІЛ 1. ТЕКСТ ЛЕКЦІЙ

1 Операції процесу пакування. Класифікація пакувальних і дозувальних пристроїв

Пакування/Упаковка – засіб або комплекс засобів, що забезпечують захищеність продукції від пошкодження та втрат, а довкілля — від забруднення в процесі обігу продукції. Коротко кажучи, це те, у чому міститься продукт. У процес обігу включають стадії транспортування, зберігання і реалізації продукції.

Пакування – незавершений процес готування продукції до транспортування, зберігання, реалізування і споживання із застосуванням пакування. Синонім – упакування.

Упакування/впакування – подія, завершений процес приготування продукції до транспортування, зберігання, реалізування і споживання із застосуванням пакування.

Технологічний процес пакування

На технологічний процес і на організацію виробництва тари та пакування дуже впливає те, яке обладнання використовується для цього. Найрізноманітніші технологічні процеси, які здійснює пакувальне обладнання, зводяться зазвичай до типових процесів. Самі операції процесу, а також пристрої, які виконують ці операції, між собою мають тісний взаємозв'язок, і також пов'язані з рухом тари, продуктів і пакування. Крім цього, в процесі технологічного виробництва пакування дуже важливу роль виконують допоміжні операції цього процесу. До останніх в основному відносяться операції з виконання контролю і управління.

Сам технологічний процес пакування включає в себе такі основні операції:

- подача тари або ж подача пакувальних матеріалів;
- підготовка тари до процесу пакування;
- подача самого продукту і наступне наповнення цим продуктом тари;
- закупорювання тари та пакування;
- оформлення упаковки;
- формування готових транспортних пакувальних одиниць

Кожна з перерахованих вище операцій також складається з більш простих операцій:

- подача і підготовка пакування і тари або пакувальних матеріалів до подальшого процесу пакування, залежно від того, який вид тари і яка ступінь її готовності. Процес включає в себе такі операції, як відділення заготівлі, формування тари, санітарну обробку, маркування, подачу допоміжних матеріалів;
- подача продукту і наповнення цим продуктом тари залежно від того, який вид продукту і який спосіб пакування застосовується. Ця операція включає

наступне: орієнтування, комплектування, групування, вкладання, загортання, дозування, фасування, ущільнення продукту і т.д.;

– процес закупорювання тари залежить від того, якої конструкції і якого виду є тара і який використовується спосіб закупорювання. Процес включає в себе такі операції, як нанесення клею на пакувальний матеріал, подача кришок та інших закупорювальних засобів, вакуумування упаковки, теплової обробка пакувального матеріалу, вкладання в упаковку прокладок, серветок і товарних знаків, закладення і запечатування клапанів тари, заварювання швів і кінців пакувальних матеріалів і паківань;

– процес оформлення паківання включає в себе такі операції, як маркування, етикетування, тиснення малюнка, обв'язування, обандеролювання, приклеювання кольоровий смуги і т.д.;

– процес формування транспортних пакувальних одиниць включає в себе такі операції, як подача упаковки, групування і формування шарів, стопок, рядів або штабелів, розміщення пакувальних одиниць в транспортну тару і на піддони.

Технологічні операції пакування здійснюються за допомогою різних пристроїв (самостійно або у складі пакувальних машин і ліній, а також агрегатів).

Агрегат – машина, в якій виконується більше ніж одна операція.

Виділення заданої дози продукції здійснюється за допомогою дозатора. Дозатор є ключовим, центральним і найскладнішим вузлом фасувально-пакувального агрегату. Саме від його конструкції та налаштування залежить ефективність і точність дозування. Дозатор повинен підбиратися відповідно до виду і консистенції продукту, який підлягає упаковці. Наприклад, для сипучих і кристалічних продуктів, таких як крупи, цукор або сіль, можна використовувати один тип дозатора. Водночас борошно і крупу дозувати за допомогою одного й того ж дозатора вже не вдасться – їх фізичні властивості надто відрізняються. Цікаво, що для продуктів з абсолютно різними характеристиками, наприклад, пельменів, пряників і сухофруктів, іноді достатньо одного дозатора, якщо його конструкція враховує ці особливості.

Дозування – процес відмірювання або відважування певної кількості (дози) матеріалу та переміщення цієї дози до робочих органів машини або апарата, що виконують технологічні операції. Основною величиною, що характеризує процес дозування, є витрата матеріалу, яка може бути об'ємною або масовою. При роботі дозатора як пристрою для рівномірної подачі матеріалів з бункерів до транспортуючих чи переробних машин та апаратів, його зазвичай називають живильником.

Для проміжного накопичення виробів або тари, а також для їх видачі, використовуються лотки, магазини, накопичувальні транспортери, обладнані відсікаючими пристроями.

Формування тари із заготовок здійснюється за допомогою пристроїв, які відбирають плоску заготовку або сировину та надають їй потрібну форму.

Для виготовлення тари з плівкових матеріалів застосовують комірцеві пристрої з протяжними механізмами.

Для виготовлення полімерної тари з сировини використовуються агрегати на базі черв'ячних машин, зокрема:

- екструдери;
- термопластавтомати;
- роздувні агрегати;
- пневмо-вакуумформувальні машини.

Маркування готової продукції здійснюється за допомогою маркувальних або етикетувальних пристроїв.

Закупорювання тари виконується на укупорювальних машинах.

Класифікація пристроїв дозування.

Залежно від структури технологічного процесу дозатори поділяються на:

- дозатори періодичної дії – здійснюють дозування окремими порціями з паузами між циклами роботи;
- дозатори безперервної дії – забезпечують безперервний потік матеріалу з постійною витратою;
- дозатори безперервно-циклічної дії – працюють з безперервною подачею, але із циклічним принципом відмірювання дози.

За принципом роботи дозатори поділяються на:

- об'ємні – здійснюють дозування на основі попередньо визначеного об'єму матеріалу;
- вагові – здійснюють дозування шляхом зважування необхідної кількості матеріалу.

За конструктивною ознакою дозатори класифікуються за:

- основними робочими елементами – наприклад, шнекові, поршневі, шибєрні, клапанні, стрічкові тощо;
- типом приводу – електричний, пневматичний, гідравлічний, комбінований.

За типом робочих органів і характером руху дозатори поділяються на:

- без рухомого робочого органу (гравітаційні, пневматичні);
- з поступальним рухом (стрічкові, пластинчасті);
- з обертальним рухом (шлюзові, лопатеві, черв'ячні, тарілчасті, дискові);
- зі зворотно-поступальним рухом (плунжерні, маятникові);
- з коливальним рухом (вібраційні).

Для сипких матеріалів застосовують два основні способи дозування: ваговий та об'ємний. Також використовується комбінований спосіб – об'ємно-ваговий або ваго-об'ємний.

Об'ємний спосіб дозування.

Пристрої дозування, що реалізують об'ємний спосіб, вимірюють кількість матеріалу за його об'ємом. У своєму складі вони містять живильник, а також прилади та пристрої контролю і регулювання об'ємної дози матеріалу. Такі дозатори відзначаються високою продуктивністю дозування.

У найпростішому випадку об'ємні дозатори дискретної дії є мірними посудинами. Це найбільш простий спосіб дозування, однак він може мати значну похибку. Відміряний об'єм матеріалу може залежати від гранулометричного складу, форми частинок, вологовмісту, а також ступеня ущільнення під час дозування. Зміна цих параметрів у допустимих межах впливає на точність дозування. Для досягнення мінімальної похибки необхідно забезпечити стабільну інтенсивність потоку та постійну швидкість наповнення приймача.

На практиці використовуються об'ємні телескопічні дозатори з можливістю регулювання об'єму шляхом зміни розмірів мірних посудин.

Прикладом об'ємного дозатора є дисковий дозатор. Дозатор (рис. 1.1) складається з диска, що обертається 1 зі змінними мірними циліндрами 2 та завантажувального бункера 3. В нерухомому столі 4 розташована направляюча лійка 5, через яку відбувається дозування порції матеріалу з мірних циліндрів 2.

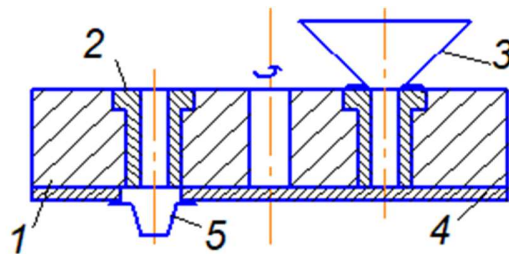


Рис. 1.1. Дисковий дозатор: 1 – диск, що обертається; 2 – мірний стакан; 3 – бункер; 4 – нерухомий стіл; 5 – направляюча лійка

Замість диска, що обертається, може застосовуватися шибер із зворотно-поступальним рухом.

Ваговий спосіб дозування.

Дозування матеріалу за масою є точнішим порівняно з дозуванням за об'ємом, однак зазвичай має меншу швидкість роботи.

У дозувальних пристроях, що працюють за ваговим способом, процес зважування складається з трьох етапів:

1. дії зважуваного матеріалу на чутливий елемент вагового пристрою;
2. перетворення цієї дії в чисельне значення;
3. відображення або реєстрації отриманого значення, що відповідає масі віддозованого матеріалу.

На рис. 1.2 наведено дозатор, який працює за ваговим методом.

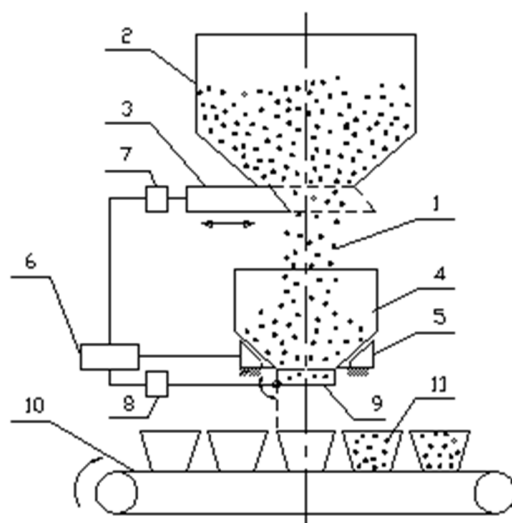


Рис. 1.2. Періодичний ваговий дозатор: 1 – матеріал, що дозується; 2 – витратний бункер; 3, 9 – відсікачі; 4 – мірна ємність; 5 – ваговий пристрій; 6 – аналізатор; 7, 8 – виконавчі пристрої; 10 – пристрій подачі тари; 11 – тара

По досягненню в мірній ємності 4 заданої ваги, виміряної ваговим пристроєм 5, аналізатор 6 подає команду на закриття відсікача 3 витратного бункера та відкриття відсікача 9. При цьому вміст мірної ємності висипається у споживчу тару.

У вагових дозувальних пристроях, що призначені для складання сумішей з кількох компонентів, стабільність потоків кожного з компонентів підтримується регулювальною апаратурою відповідно до наперед заданих пропорцій. Найпрогресивнішим є безперервне автоматичне вагове дозування. Висока точність безперервно діючих автоматизованих дозаторів є необхідною передумовою комплексної механізації та автоматизації безперервних технологічних процесів.

ТЕМА 1. ДОЗУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

2 Пристрої без рухомого робочого органу

Найпростішими за конструктивним виконанням і найменш енергоємними є гравітаційні живильники. У таких пристроях матеріал, що дозується, подається в тару під дією сили тяжіння, а рухомі елементи виконують лише допоміжні функції – стабілізацію потоку та відсікання необхідної порції. Прикладом такого пристрою є шиберний дозатор, зображений на рис. 2.1.

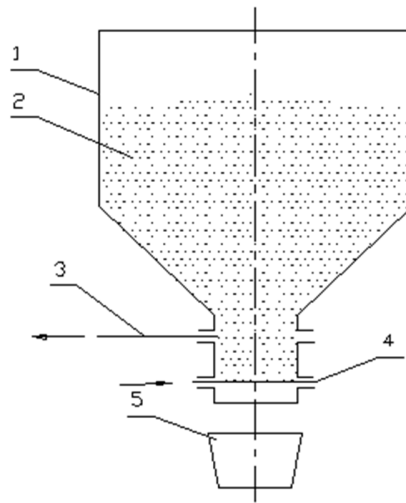


Рис. 2.1. Шиберний дозатор: 1 – бункер; 2 – перетрушувач; 3 – матеріал, що дозується; 4 і 5 – верхній і нижній шибери відповідно; 6 – лійка

Принцип роботи дозатора шиберного типу полягає в тому, що порція необхідного об'єму продукції розміщується між двома шиберами – верхнім та нижнім (рис. 2.1).

Під час формування необхідної порції нижній шибер 5 перекриває вихідний канал дозатора, а верхній шибер 4 одночасно перебуває у відкритому положенні. У цей момент продукція самопливом надходить із бункера 1 у дозувальний канал. Коли в наявності пакування (тара), і мірний канал заповнено дозованим матеріалом, верхній шибер 4 закриває подачу матеріалу з бункера в дозувальний канал. За таким принципом між обома шиберами утримується порція матеріалу, об'єм якої відповідає заданій дозі.

Після подачі керуючого сигналу нижній шибер відкриває свій канал, і продукція надходить у лійку 6, а далі – у тару. Верхній шибер виконує зворотно-поступальний рух за рахунок пневматичного привода.

Для дозування порошкоподібних матеріалів застосовують сільфонний гравітаційний живильник (рис. 2.2). Область дозування герметизується кільцевим

вакуумним ущільненням, а порції матеріалу відсікаються рухомим клапаном, який переміщується у вертикальному напрямі.

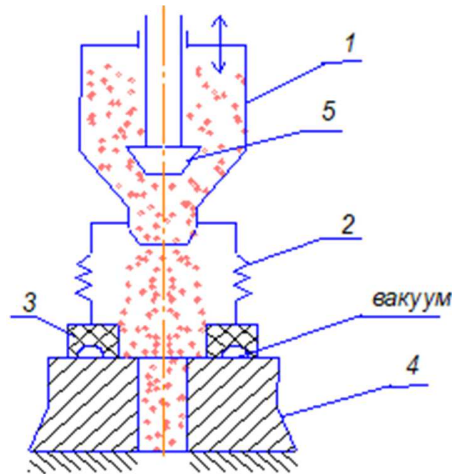


Рис. 2.2. Гравітаційний живильник: 1 – герметичний бункер; 2 – сільфон; 3 – кільцеве ущільнення; 4 – ємність або патрубок; 5 – клапан

Для запобігання грудкуванню і утворенню склепіння під час висипання матеріалу з бункера можуть застосовуватися допоміжні рухомі елементи: підтрушувачі ексцентрикової і зворотно-поступальної дії, а також перетрушувачі – наприклад, обертовий стрижень з лопатями.

При дозуванні матеріалу з низькою газопроникністю застосовують стабілізуючі трубки, які врівноважують тиск по обидві сторони шару матеріалу.

Недоліком таких живильників є обмежена здатність регулювати витрату матеріалу при одночасному забезпеченні заданої точності дозування.

Застосовують також стабілізатори з аеруючим агентом, у яких у шар сипкого

м
у

іє

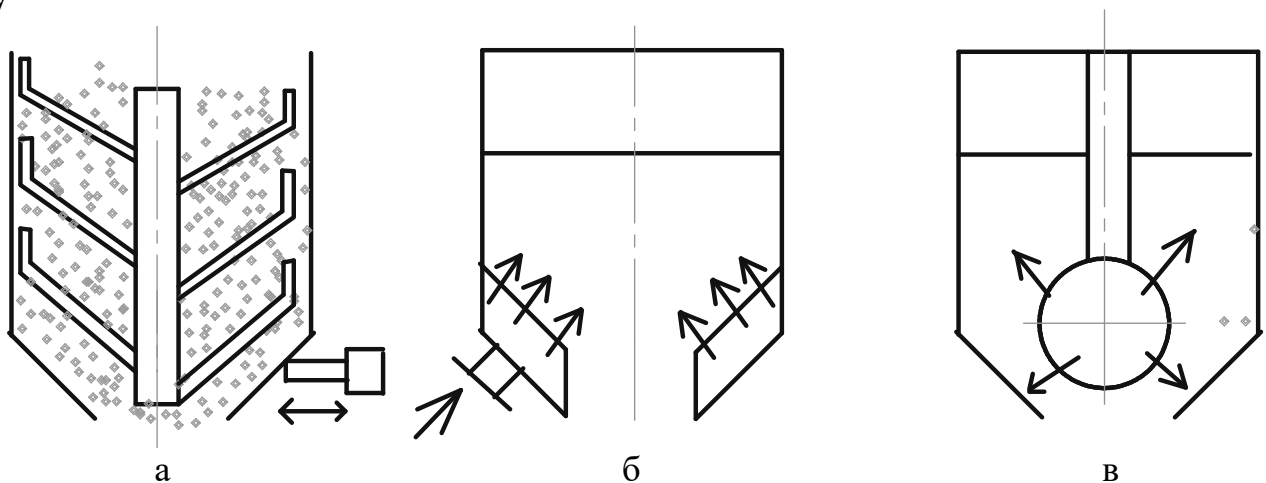


Рис. 2.3. Гравітаційні живильники: а – з перетрушувачем і підтрушувачем; б – з аероднищем; в – з перфорованою трубою

Аераційні спонукачі не слід розміщувати безпосередньо в шарі матеріалу на виході.

Швидкість витікання матеріалу з випускного отвору бункера визначається за формулою:

$$v = \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1 + f^2}{f} \cdot \left(R_k \cdot g - \frac{\tau_0}{\rho} \right) - \frac{\tau_0}{\rho} \cdot \sqrt{1 + f^2} \right]},$$

де λ – коефіцієнт переміщення продукту, залежний від його структурно-механічних характеристик; f – коефіцієнт тертя продукту по бічних стінках випускного отвору бункера; R_k – розрахунковий еквівалентний розмір випускного отвору; g – прискорення вільного падіння; τ_0 – початкове напруження зсуву продукту; ρ – насипна густина продукту.

Як правило, випускні отвори бункерів дозаторів виконують прямокутної форми з розмірами $a \cdot b$, з можливістю регулювання заслінкою для зміни продуктивності. Розрахунковий розмір такого отвору визначається із залежності:

$$R_k = \frac{(a - d) \cdot (b - d)}{2 \cdot (a + b - 2 \cdot d)},$$

де d – найбільший лінійний розмір частинки продукту, що дозується.

Швидкість переміщення продукту в бункері визначається із виразу:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot g \cdot l \left[\sin \varphi - f \cdot \cos \varphi \cdot \left(1 + \frac{n \cdot h}{D} \right) \right]},$$

де l – довжина похилих поверхонь бункера; φ – кут нахилу стінок бункера до горизонту; h – висота шару продукції біля бічних стінок бункера; n – коефіцієнт тиску продукту на бічні стінки бункера; D – діаметр бункера.

Наведені залежності дозволяють обрати оптимальний режим процесу дозування або оптимальні конструктивні параметри дозатора.

3 Пристрої з обертовим робочим органом

Дисковий дозатор з мірними циліндрами

Для дозування сипких матеріалів в невелику за об'ємом споживчу тару застосовують дискові дозатори (рис. 3.1), часто у поєднанні з пристроями для формування пакетів. Такі дозатори відзначаються високою продуктивністю, надійністю в експлуатації, простотою конструкції та низькою вартістю.

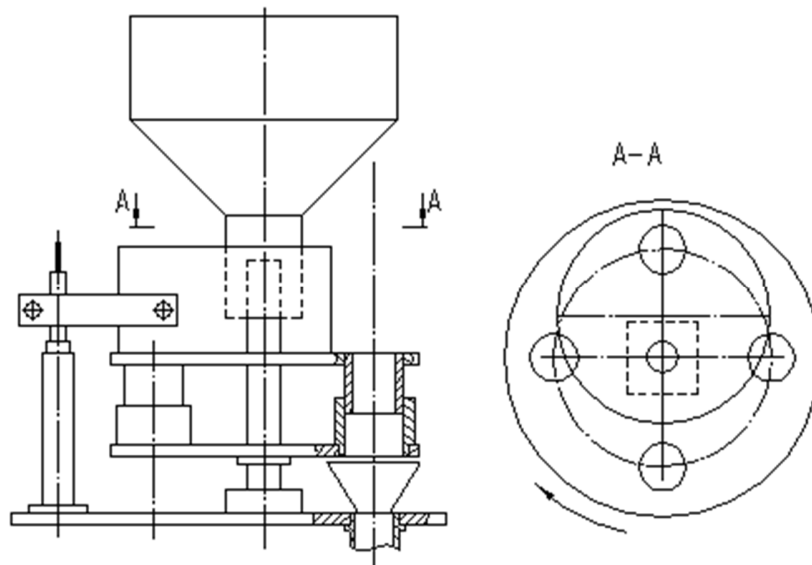


Рис. 3.1. Дисковий дозатор з комірцевим пристроєм

Дисковий дозатор призначений для легкосипких продуктів. Дозатор складається з двох дисків, встановлених на вертикальному валу. Один із них (зазвичай верхній) жорстко закріплений, а другий може переміщуватися вздовж валу. У диски по колу вмонтовані мірні стакани. Частіше всього стакани верхнього диска телескопічно входять в склянки нижнього диска. Переміщаючи рухомий диск уздовж валу, можна змінювати об'єм стаканів, тим самим регулюючи величину одержуваної дози.

Над верхнім диском зазвичай встановлюється проміжна ємність із заслінкою, а над нею – бункер для продукту. Крім того, над верхнім диском може бути встановлене пристосування для вирівнювання верхнього рівня продуктів в стаканах.

До нижнього диска шарнірно прикріплені відкидні заслінки (денця мірних стаканів). Під рухомим нижнім диском встановлений спеціальний кулачок, який забезпечує відкриття і закриття заслінок.

Дозатор працює таким чином: диски зі стаканами отримують від валу рівномірне або дискретне обертання. При цьому стакани переміщуються по колу від позиції завантаження до позиції вивантаження, після чого порожні стакани

повертаються на вихідну позицію. Продукт із бункера через проміжну ємність, яка разом із заслінкою стабілізує його потік, надходить на верхній диск, де по черзі заповнює мірні стакани. Пристосування для вирівнювання (яке може бути поєднано із проміжною ємністю) регулює верхній рівень продукту в стаканах, зрізаючи надлишки зверху. Денця стаканів відчиняються лише на позиції вивантаження, видаючи дозу продукту у продуктопровід (трубу або жолоб), по якому продукт далі надходить безпосередньо у пакування.

Роторні (шлюзові) живильники

Одними з найпоширеніших об'ємних живильників є роторні, також відомі як барабанні або шлюзові (рис. 3.). Ротор обертається в корпусі навколо горизонтально розташованій осі. Коли мірні ємності, утворені перегородками на валу, перебувають у верхній позиції, в них із бункера надходить продукт. При обертанні ротора ємності перевертаються, і доза продукту висипається в продуктопровід, а звідти — у пакування.

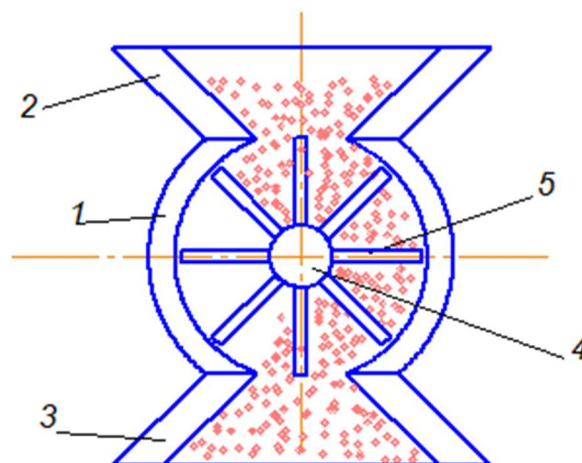


Рис. 3.2. Шлюзовий живильник: 1 – корпус; 2 – завантажувальна лійка; 3 – розвантажувальна лійка; 4 – вал, що обертається в корпусі; 5 – перегородки, закріплені на валу

Переваги шлюзових живильників:

- простота конструкції;
- універсальність і невибагливість в експлуатації.

Недоліки:

- обмежена продуктивність, пов'язана з критичною частотою обертання ротора, при якій матеріал не встигає повністю заповнити, а потім звільнити комірку;
- складності оперативного переналаштування на інші об'єми;
- нестійка робота з матеріалами, схильними до злипання та прилипання до стінок.

Для запобігання останньому недоліку живильник оснащують пристроями очищення ротора, наприклад, як на рис. 3.3.

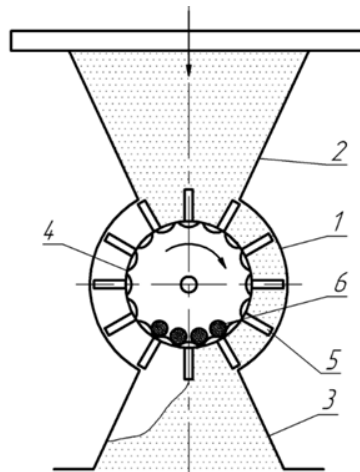


Рис. 3.3. Схема роторного живильника з очищенням ротора: 1 – циліндричний корпус; 2 – завантажувальна лійка; 3 – розвантажувальна лійка; 4 – вал, що обертається; 5 – лопаті; 6 – важкі кулі

В наведеній конструкції використовуються важкі кулі, що знаходяться в середині валу 4. Внутрішня поверхня валу 4 зроблена рифленою. Важкі кулі б'ючись об стінки валу викликають вібрацію та поштовхи, що запобігає налипанню матеріалу на ротор.

Розрахунок роторного живильника

Площа поперечного перерізу жолоба:

$$F = \frac{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} - z \cdot l_1 \cdot b_1 \right)}{z},$$

де D – діаметр кола, що описують лопаті; d – діаметр барабана; z – кількість лопатей; b_1 – товщина лопаті; l_1 – довжина робочої поверхні лопаті $\left(l_1 = \frac{D-d}{2} \right)$.

Продуктивність роторного живильника:

$$Q = F \cdot l \cdot z \cdot n \cdot \rho \cdot \psi,$$

де l – довжина барабану і горловини; n – кількість обертів валу; ρ – насипна густина матеріалу; ψ – коефіцієнт заповнення жолоба (0,8...0,9).

Як видно з формули, продуктивність дозування залежить головним чином від ступеня наповнення жолоба. Остання залежить від частоти обертання барабана: чим більше частота, тим гірше заповниться кожен жолобок. Тому частоту обертання барабанних дозаторів обмежують 30...50 хв⁻¹.

Площа горловини над барабаном:

$$F_r = l \cdot b$$

де b – ширина горловини.

Потужність для приводу барабана дозатора визначається внутрішнім зчепленням частинок продукту, що захоплюються дозатором і що залишаються в бункері. Сила зчеплення (тертя), що виникає при цьому, визначається по формулі:

$$P_{зч} = f_{зч} \cdot F_r \cdot P,$$

де $f_{зч}$ – коефіцієнт внутрішнього зчеплення матеріалу; P – тиск матеріалу на поверхню барабана:

$$P = \rho \cdot g \cdot h,$$

де ρ – насипна густина продукту; h – висота стовпа матеріалу, що давить на барабан.

Необхідно також подолати силу тертя матеріалу об внутрішню поверхню барабана. Ця сила діє лише в нижній чверті барабана і може бути визначена за формулою:

$$P_{тер} = \Delta m \cdot g \cdot f,$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу об стінку барабана; Δm – частина маси матеріалу, що знаходиться в жолобках і чинить тиск на стінку барабана, залежить від конструкції і розміру жолобків:

$$\Delta m = \frac{F \cdot l \cdot \rho \cdot z \cdot \psi}{4}.$$

Частота обертання барабана:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n.$$

У барабанному дозаторі половина жолобків завантажена, а друга половина порожня. Маса матеріалу, що знаходиться в барабані, сприяє його обертанню. Центр тяжіння прикладених мас знаходиться приблизно на відстані $2/3$ радіусу барабана R_6 від центру обертання.

Потужність на валу роторного живильника:

$$N = (P_{зч} \cdot K_1 + P_{тер}) \cdot \omega \cdot R_6 - m \cdot g \cdot \frac{1}{3} \cdot \omega \cdot R_6,$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує затрати енергії на можливе роздрібнення матеріалу внаслідок потрапляння його між лопатями і кромкою горловини, для кускових матеріалів $K_1 = 2$.

Тарілчастий живильник

Для дозування матеріалів із невеликими продуктивностями застосовуються тарілчасті живильники із рухомою або нерухомою таріллю. Якщо таріль рухома, то бункер є нерухомим. Якщо ж бункер рухомий, то таріль – нерухома.

Тарілчасті дозатори (рис. 3.4) працюють за принципом об'ємного дозування шляхом скидання продукту скребком з горизонтальної тарілі, розташованої під випускним отвором бункера. Регулювання подачі здійснюється зміною висоти горловини та швидкості обертання тарілі. Проте швидкість обертання тарілі обмежена силами зчеплення з матеріалом і не повинна призводити до відцентрового розльоту продукту.

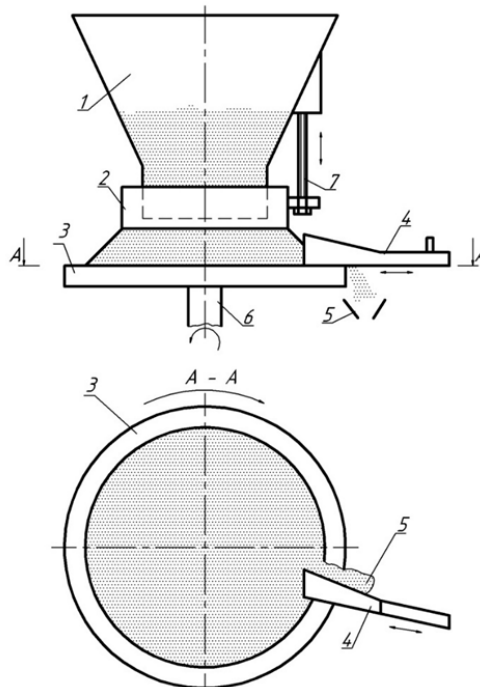


Рис. 3.4. Схема тарілчастого живильника: 1 – бункер; 2 – регульована по висоті горловина; 3 – таріль, що обертається; 4 – скребок; 5 – прийомна горловина; 6 – привідний вал; 7 – регулювальний гвинт

За допомогою гвинта 7 регулюється інтенсивність подачі сипкого матеріалу на таріль. Матеріал, що висипається з бункера 1, потрапляє на таріль 3. Завдяки обертанню тарелі на матеріал діє відцентрова сила, яка змушує його зсуватися до краю тарелі. Скребок 4, розташований збоку тарілки, знімає певну кількість матеріалу і скидає його в прийомну горловину 5. Таріль приводиться в рух приводним валом 6, який може бути з'єднаний із редуктором.

Продуктивність тарілчастого живильника залежить від висоти горловини та частоти обертання тарілки. При встановленні частоти обертів тарілки необхідно ретельно контролювати, щоб її швидкість не була занадто високою, адже надмірна відцентрова сила може спричинити розлітання матеріалу.

Розрахунок тарілчастого живильника

Працездатність дозатора буде забезпечена, якщо відцентрові сили будуть менше сила зчеплення продукту з тарілкою. В цьому випадку продукт не скидатиметься самочинно з диска по всій довжині кола:

$$J < F_{\text{тр}};$$

$$m \cdot R_1 \cdot \omega_{\text{кр}}^2 < m \cdot g \cdot f,$$

звідки критична кутова швидкість, с^{-1} :

$$\omega_{\text{кр}} < \sqrt{\frac{g \cdot f}{R_1}},$$

де f – коефіцієнт тертя продукту об диск; R_1 – найбільший радіус обертання частинки (рис. 3.5):

$$R_1 = R + \frac{h}{\text{tg}\theta},$$

де θ – кут природного укосу продукту під час руху.

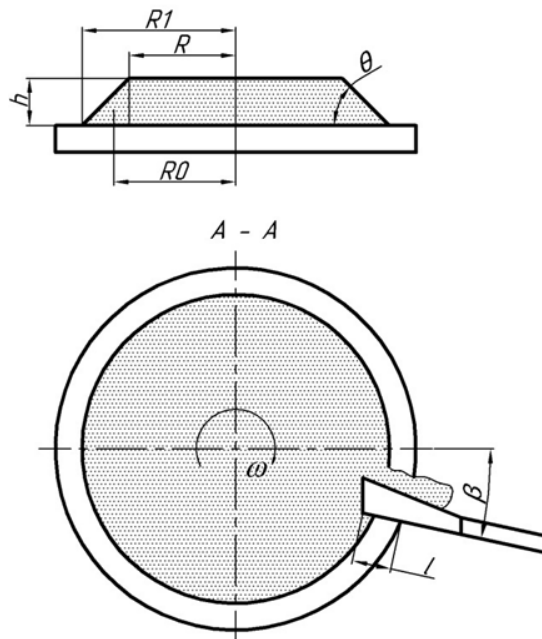


Рис. 3.5. Розрахункова схема тарілчастого живильника

Об'єм кільцевого шару трикутного перетину, що знімається скребком за один оберт тарілки:

$$V_{сл} = 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot F_{сл},$$

де R_0 – відстань від осі обертання тарілки до центру тяжіння шару $\left(R_0 = R + \frac{h}{3 \cdot \operatorname{tg}\theta} \right)$, R – радіус циліндра; $F_{сл}$ – площа поперечного перетину

кільцевого трикутного шару $\left(F_{сл} = \frac{h^2}{2 \cdot \operatorname{tg}\theta} \right)$.

Продуктивність тарілчастого дозатора, кг/с:

$$Q = V_{сл} \cdot \rho \cdot n = V_{сл} \cdot \rho \cdot \frac{\omega}{2\pi}.$$

Підставивши всі значення складових, формулу продуктивності можна написати:

$$Q = \omega \cdot \rho \cdot \left(R + \frac{h}{3 \cdot \operatorname{tg}\theta} \right) \cdot \frac{h^2}{2 \cdot \operatorname{tg}\theta}.$$

Витрата енергії на привід дозатора обумовлена переміщенням продукту по тарілці при його осипанні і тертям об скребок. Сила тертя продукту по тарілці:

$$F_{\text{тер}} = m \cdot g \cdot f,$$

де $m = F_{\text{сн}} \cdot L \cdot \rho$ – маса продукту, що рухається по тарілці; L – довжина призми зсипання ($L = 2 \cdot \pi \cdot R_0$).

Тоді потужність, що витрачається на подолання цього опору:

$$N_1 = F_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot R_0.$$

Потужність, що витрачається на подолання опору від тертя матеріалу об скребок, Вт:

$$N_2 = N_1 \cdot \cos \beta,$$

де β – кут установки скребка.

За умови нерозривності потоку швидкість руху матеріалу по скребку дорівнює окружній швидкості диска в центрі тяжіння перетину:

$$v = \omega \cdot R_0.$$

Тоді

$$N_2 = F_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot R_0 \cdot f \cdot \cos \beta = N_1 \cdot f \cdot \cos \beta.$$

Загальна потужність на валу дозатора, Вт:

$$N = N_1 \cdot (1 + f \cdot \cos \beta).$$

Шнековий живильник

Для подачі порошкоподібних матеріалів, подрібнення яких допускається технологічним процесом, а також для важкосипких, порошкоподібних і таких продуктів, що порошать, злипаються, застосовуються так звані шнекові живильники з гвинтовим рухом робочих органів. Основним робочим органом є шнек – деталь, що зазвичай виготовляється у вигляді металевої стрічки, зігнутої у спіраль та привареної до вала. Існує умовна класифікація, згідно з якою, якщо співвідношення зовнішнього діаметра витків до внутрішнього перевищує 2, деталь називають «шнеком», якщо ні – «черв'яком».

Шнекові дозатори працюють за принципом об'ємного дозування. Їх продуктивність регулюється частотою обертання шнека та ступенем його заповнення. Останній параметр контролюється за допомогою шиберної заслінки, встановленої на завантажувальній горловині.

Живильник на рис. 3.6,а має таку конструкцію: у корпусі 1 живильника обертається шнек 2, який приводиться в рух за допомогою шківів 3 або через редуктор. Дозований матеріал надходить у корпус живильника через впускну горловину 4. Матеріал захоплюється шнеком і подається в дозатор через випускний отвір 5.

Існують також шнекові живильники з похилим або вертикальним розташуванням шнека (рис. 3.6 б). Шнек може поєднуватися з лопатевим перетрушувачем, а також може додатково зазнавати вібраційної або зворотно-поступальної дії. Це запобігає злежуванню продукту та сприяє його просуванню до дозувального шнека.

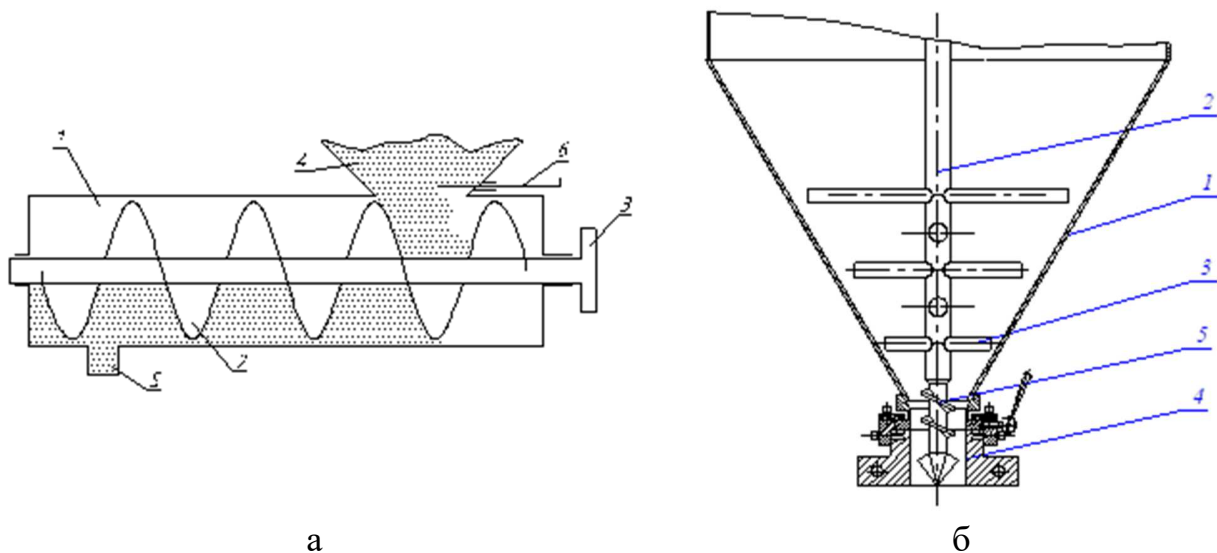


Рис. 3.6. Схеми шнекових живильників: а – із горизонтальним розташуванням шнека (1 – корпус; 2 – шнек; 3 – привід; 4 – завантажувальне вікно; 5 – розвантажувальне вікно; 6 – заслінка); б – із вертикальним розташуванням шнека (1 – бункер; 2 – вал; 3 – лопаті; 4 – циліндрова втулка; 5 – шнек)

Проте, незважаючи на всі свої переваги, шнековий дозатор має невисоку продуктивність і найнижчу точність серед усіх типів дозаторів.

Розрахунок шнекового живильника

Для безперервного транспортування сипкого матеріалу продуктивність можна визначити як:

$$V = S \cdot v,$$

де S – площа поперечного перетину потоку матеріалу; v – швидкість подачі матеріалу.

Витки шнека живильника зазвичай виготовляються з металевої стрічки, яку потім приварюють до вала. Якщо товщина стрічки незначна, її можна не враховувати в розрахунках.

Площа поперечного перетину потоку матеріалу визначається за формулою:

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4},$$

де D – зовнішній діаметр витків; d – діаметр валу; λ – коефіцієнт заповнення перетину.

Повного (100%) заповнення перерізу шнека матеріалом не допускають, щоб уникнути утворення заторів і проникнення матеріалу в підшипники. Зазвичай коефіцієнт заповнення приймають у межах $\lambda = 0.125 \dots 0.4$.

Швидкість подачі матеріалу розраховується за формулою:

$$v = \frac{t \cdot n}{60},$$

де t – крок навивки витків, зазвичай рівний $(0.5 \dots 1)D$; n – число обертів валу за хвилину.

Таким чином, об'ємна продуктивність шнекового живильника:

$$V = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot n \cdot (D^2 - d^2)}{4 \cdot 60} \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт зниження продуктивності при нахилі жолоба, визначається із таб. 3.1.

Табл. 3.1. Коефіцієнт зниження продуктивності при нахилі жолоба

α	0	5	10	15	20
ψ	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Вагова продуктивність визначиться як:

$$P = V \cdot \rho,$$

де ρ – насипна густина продукту.

Потужність, що витрачається на привід шнекового дозатора, Вт:

$$N = P \cdot (L \cdot K + H) \cdot g \cdot \frac{1}{\eta},$$

де L – довжина шнека, м; $K = 1, 2 \dots 2,5$ – коефіцієнт опору переміщенню продукту в корпусі дозатора; H – висота підйому продукту, м; η – к. к. д. передачі.

4 Дозатори з поступальною і коливальною ходою робочого органу

Шиберний дозатор.

Розрізняють два варіанти його конструкції: у першому випадку мірна ємність зворотно-поступально переміщається по прямолінійній або кривій траєкторії від позиції завантаження до позиції вивантаження; у другому на трубці продуктопроводу встановлюються дві заслінки (одна над іншою), які, по черзі відсуваючись і висуваючись, відсікають порцію продукту від загального потоку і видають її.

Об'ємний дозатор камерного типу є різновидом першого варіанту шиберного дозатора. Схема дозатора показана на рис. 4.1. Являє собою об'ємну камеру 4 без донця, встановлену під бункером 3 з можливістю переміщення по напрямній плиті 1 із розвантажувальним отвором 5. З камерою з'єднаний затвор 6 для перекриття бункера при переміщенні камери.

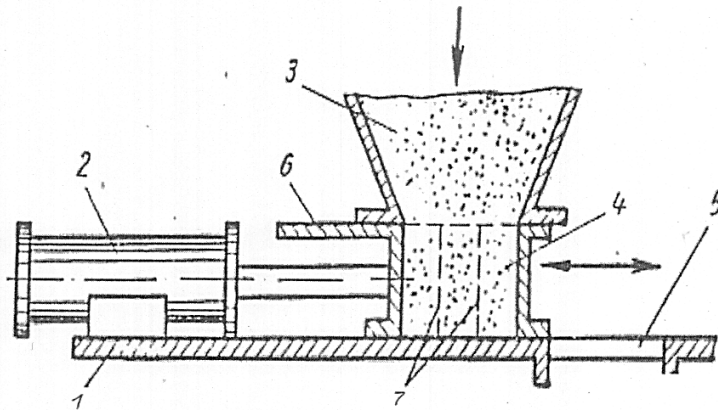


Рис. 4.1. Схема дозатора камерного типу: 1 – напрямна плита; 2 – пневмоциліндр; 3 – бункер; 4 – об'ємна камера; 5 – розвантажувальна лійка; 6 – затвор; 7 – пази

Переміщення затвора здійснюється за допомогою пневмоциліндра 2. Зміна місткості камери проводиться установкою в її пази 7 спеціальних вкладишів.

Стрічковий живильник

Стрічковий живильник також може виконувати роль транспортера (рис. 4.2) із плоскою стрічкою. Застосовують також пластинчасті і скребкові транспортери. Основне призначення стрічкових живильників – безперервне дозування різноманітних сипких, кускових матеріалів і штучних виробів. У деяких випадках вони можуть використовуватись і для порційного дозування. Регулювання продуктивності здійснюється шляхом зміни швидкості руху стрічки або товщини шару матеріалу на стрічці. Останнє досягається, зокрема, за допомогою регульованої заслінки на бункері.

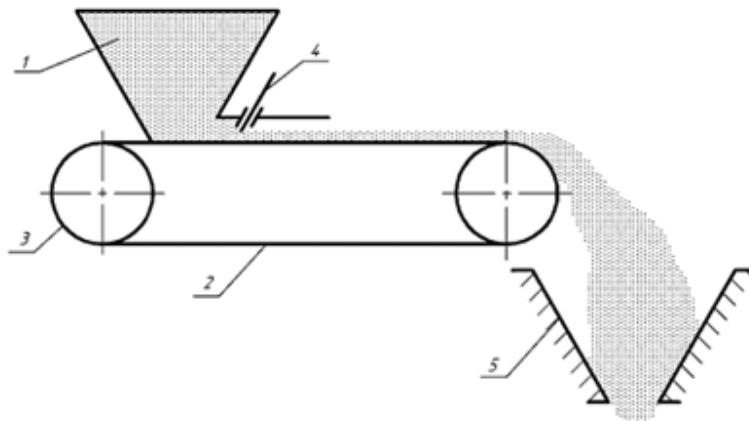


Рис. 4.2. Схема стрічкового живильника: 1 – бункер; 2 – стрічка; 3 – приводний ролик; 4 – заслінка (шибер); 5 – приймальна лійка

Принцип дії стрічкового живильника полягає в наступному: сипкий матеріал із бункера 1 під дією сили тяжіння потрапляє на стрічку 2. Стрічка 2 має замкнений контур і натягнута на систему роликів, один із яких є приводним 3. Рух стрічки забезпечується за рахунок сили тертя між приводним роликом 3 і внутрішньою поверхнею стрічки. Під час руху стрічки матеріал транспортується до зони вивантаження, де висипається в приймальну лійку.

Розрахунок стрічкового живильника

Стрічкові живильники призначені для безперервного дозування. Продуктивність стрічкових дозаторів регулюється в широких межах зміною швидкості стрічки або положення шиберної заслонки і може бути розрахована за формулою, кг/с:

$$Q = b \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot \psi,$$

де b – ширина шару продукту на стрічці, м; h – товщина шару продукту на стрічці, м; v – швидкість стрічки, м/с; ρ – насипна густина продукту, кг/м³; ψ – коефіцієнт заповнення.

Потужність приводу стрічкового дозатора складається з двох складових: потужності, необхідної для переміщення продукту – N_1 та потужності, що витрачається на подолання тертя продукту об стінки жолоба – N_2 , Вт.

Потужність, що необхідна для переміщення сипучого матеріалу:

$$N_1 = W \cdot (m_0 \cdot v + Q \cdot L_r) \cdot g + H \cdot Q \cdot g,$$

де m_0 – маса стрічки, кг; L_r – горизонтальна проекція стрічки, м; H – висота підйому продукту, м; W – коефіцієнт опору переміщенню навантаженої стрічки.

Якщо огорожуючі стінки жолоба будуть нахилені до горизонту під кутом природного укосу, то на них тиснутиме маса матеріалу, обмежена об'ємом $h^2 \cdot l / \text{tg}\theta$ (l – довжина жолоба, θ – кут природного укосу, див. рис. 4.3).

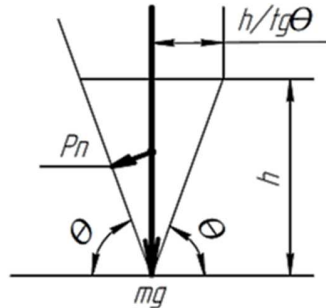


Рис. 4.3. Схема сил, діючих у жолобі

Нормальна до жолоба сила, Н:

$$P_n = m \cdot g \cdot \cos\theta = \frac{h^2 \cdot l \cdot \rho}{\text{tg}\theta} \cdot g \cdot \cos\theta.$$

Потужність на тертя продукту об жолоб, Вт:

$$N_2 = P_n \cdot f \cdot v = h^2 \cdot l \cdot \rho \cdot g \cdot f \cdot v \cdot \frac{\cos\theta}{\text{tg}\theta},$$

де f – коефіцієнт тертя продукту об жолоб.

Повна потужність на привід стрічкового дозатора:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta},$$

де η – ККД передачі приводу.

Пластинчастий живильник

За принципом дії пластинчастий живильник дуже схожий на стрічковий живильник. Головна відмінність полягає у конструкції тягового органа: у стрічкових живильниках використовується суцільна стрічка, тоді як у пластинчастих – полотно, що складається з окремих пластин, що з'єднані між собою. На відміну від стрічкових живильників, у пластинчастих полотно приводиться в рух не за допомогою привідного валу, а за допомогою зубчастого колеса. Така конструкція повністю виключає проковзування полотна, що значно підвищує надійність і точність роботи живильника.

Недоліком пластинчатого живильника є підвищений шум під час роботи, та можливість проникнення транспортованого матеріалу між пластинами. Це може призводити до прискореного зношування пластин та зниження ресурсу живильника.

Дозатори й живильники з вібраційним збудженням потоку

Вібраційні живильники з електромагнітним приводом широко застосовуються в різних галузях промисловості завдяки своїм перевагам:

- простота конструкції та низька вартість;
- легкість інтеграції із системами керування;
- зручне регулювання швидкості переміщення матеріалів;
- легка переналагодженість.

У пакувальній галузі вібраційні конвеєри використовуються для транспортування різноманітних продуктів: сипких (кава, крупа цукор, сіль тощо); штучних (насіння, кондитерські вироби, корки, вироби приладобудівної промисловості тощо) або окремих виробів (пакети, пляшки, ящики тощо). Характерною особливістю використання вібраційних конвеєрів як живильників у пакувальному обладнанні є:

- висока рівномірність подачі сипких продуктів;
- добра керованість транспортованим потоком з можливістю швидкої зупинки;
- можливість регулювання товщини шару продукту.

Вібраційні живильники використовують для транспортування продуктів і виробів, завантаження пакувального обладнання та безпосередньої подачі у дозатор.

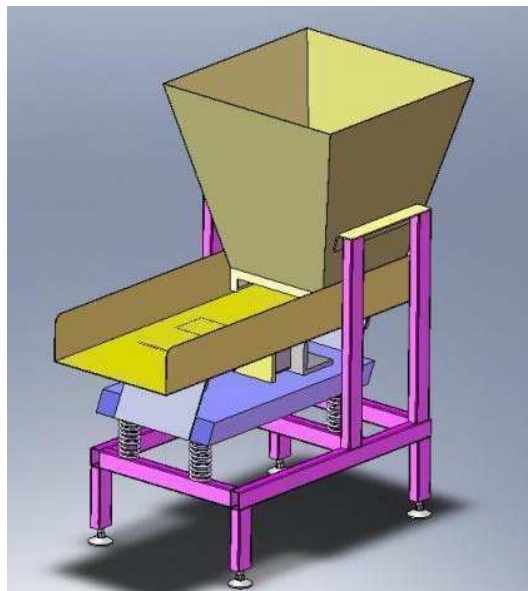
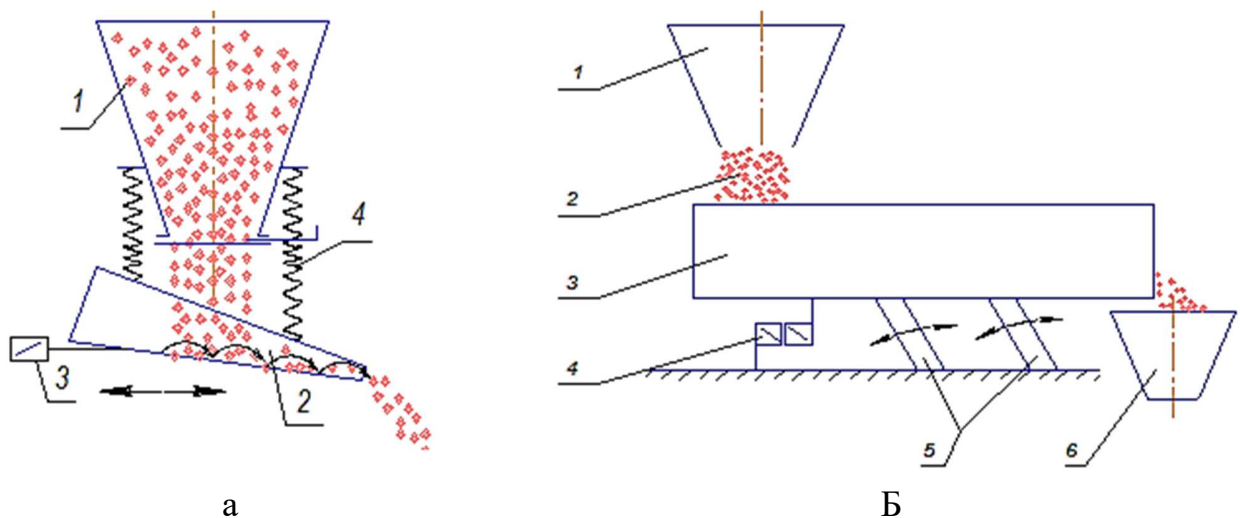
З широкого асортименту типів вібраційних живильників особливо поширені одно- та двомасні живильники з направленими або незалежними коливаннями.

Колівальні рухи вібраційного живильника передаються за допомогою електромагнітного, пневматичного або ексцентрикового вібратора з можливістю регулювання амплітуди та напрямку (вектора) коливань. У результаті робочий орган підкидає частинки матеріалу під кутом у напрямку транспортування, що забезпечує їх поступове переміщення.

Схема електровібраційного живильника лоткового типу представлено на рис. 4.4 а. Живильник складається з лоткового вантажонесучого органу 2 під яким розташований електромагнітний вібратор 3. Принцип дії електромагнітного вібратора полягає в наступному: при подачі струму на котушку з феромагнітним сердечником останній намагнічується, утворюючи магнітне поле. При перериванні струму сердечник розмагнічується. Котушка електромагніту з'єднана з рухомою частиною вібратора (якорем) через пружний елемент. Пульсуюча напруга формується шляхом випрямлення змінного струму за допомогою випрямляча, який пропускає струм лише в одному напрямку. Таким чином, під час одного періоду змінного струму намагнічування відбувається

тільки в один півперіод, а в інший – струм відсутній. Внаслідок цього електромагніт намагнічується і розмагнічується 50 разів на секунду викликаючи 3000 коливань на хвилину. Ці коливання передаються на вантажонесучий лоток, що і забезпечує транспортування матеріалу.

Живильник підвішується до витратного бункера з матеріалом за допомогою пружинних, ресорних або гумових амортизаторів що забезпечують можливість регулювання кутанахилу лотка в певних межах. Крім того, амортизатори передають на несучу конструкцію відповідне навантаження, але не передають виникаючих при роботі вібрацій.



В

Рис. 4.4. Віброживильники: а – лоткового типу (1 – бункер; 2 – лоток; 3 – вібратор; 4 – пружинний підвіс); б – з жолобом (1 – бункер; 2 – матеріал; 3 – жолоб; 4 – вібратор; 5 – ресори; 6 – приймач); в – загальний вигляд віброживильника з жолобом

Вантажонесучі органи вібраційних живильників виготовляються в різноманітних формах залежно від властивостей транспортованого матеріалу та типу конструкції обладнання. Вони можуть мати лоткову форму – прямокутну, овальну, напівкруглу або іншу, бути відкритими чи закритими, а також виконуватись у вигляді труб різного перерізу тощо.

Живильники такого типу придатні для подачі різноманітних матеріалів – від порошкоподібних і важкосипких до кускових.

Продуктивність вібраційного живильника залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, кута нахилу лотка, частоти та амплітуди коливань.

На рис. 4.5 наведено схему вертикального вібраційного дозатора.

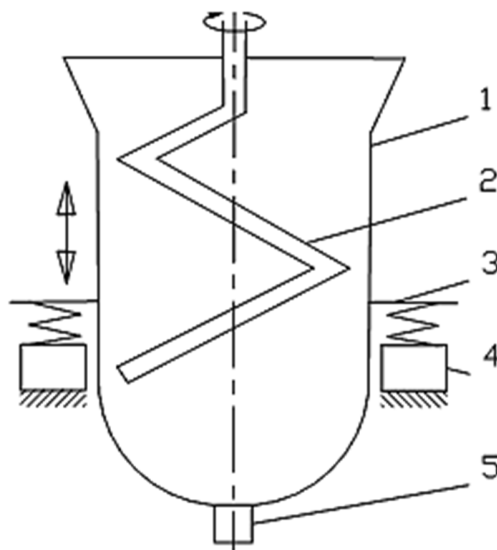


Рис. 4.5. Вертикальний дозатор з вібробудженням: 1 – бункер; 2 – перетрушувач; 3 – підвісна насадка; 4 – вібробудувач; 5 – випускний отвір

Відсічення матеріалу у дозаторі (рис. 4.5) відбувається шляхом утворення склепіння при вимкненні вібраційної дії. Розмір випускного отвору підбирається умови надійного самозамикання потоку матеріалу. Слід враховувати певну інерційність пристрою — від моменту припинення вібрації до повного утворення склепіння проходить невеликий проміжок часу.

Електровібраційні живильники можуть також використовуватись для вертикального транспортування матеріалів. У такому виконанні (рис. 4.6) живильник має форму гвинтового жолоба, навитого навколо центральної труби великого діаметра. Вібраційна дія прикладається тангенціально до поверхні жолоба, забезпечуючи поступове підйомне переміщення матеріалу вгору по спіралі.

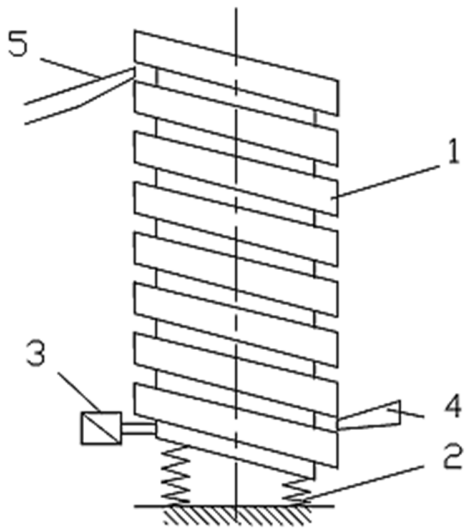


Рис. 4.6. Спіральний вібраційний живильник:
 1 – спіральний жолоб;
 2 – пружні опори;
 3 – вібробудник, встановлений по дотичній у напрямку підйому спіралі;
 4 – завантажувальний бункер;
 5 – розвантажувальний бункер

Вібраційні живильники витрачають менше енергії на переміщення продукту порівняно з іншими типами живильників, оскільки частина матеріалу перебуває в повітрі, відриваючись від робочого органу. Це також суттєво знижує знос робочих поверхонь. Правильне налаштування живильника забезпечує високу точність дозування.

Матеріали підвищеної вологості, липкі і такі, що мажуться подавати вібраційним живильником не можна.

Одномасні живильники з направленими коливаннями (рис. 4.7, а) попри свої переваги – простоту конструкції та низьку вартість – мають суттєвий недолік: передачу вібрації на основу. Двомасні живильники, які є найбільш поширеними, мають складнішу конструкцію (рис. 4.7, б).

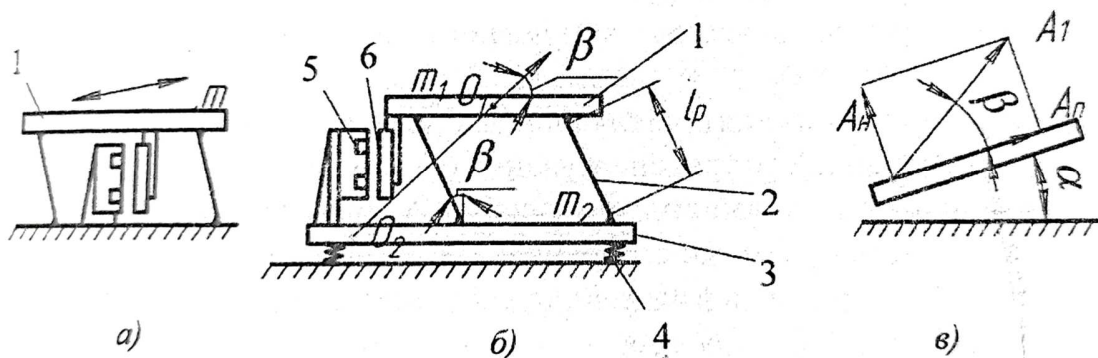


Рис. 4.7. Конструктивні схеми одно- (а) та двомасних (б) вібраційних живильників і напрями коливання точки на поверхні лотка (в): 1 – робочий орган живильника (лоток); 2 – пружина прямокутного перерізу; 3 – реактивна маса; 4 – амортизатори; 5 – електромагніт; 6 – якір електромагніта

Робоча маса 1, по лотку якої здійснюється транспортування продукту, з'єднана нахиленими під кутом β пружними елементами 2 і 3, що встановлено на м'які амортизатори 4. Вібраційний живильник приводиться у рух вимушеним зусиллям, що розвиває електромагніт 5 встановлений на реактивній масі 3, а якір електромагніта 6 прикріплений до робочої маси. Кут вібрації β задає напрямок коливань лотка живильника і, відповідно, забезпечує транспортування продукту. Від кута β залежить швидкість транспортування продукту, а його величина залежить від фізичної природи продукту, гранулометричного складу, вологості тощо, і може бути визначена лише експериментально для кожного продукту зокрема.

Амплітуду направлених коливань точки на поверхні лотка A , (рис. 4.7, в) можна розкласти на поздовжню A_n , та нормальну A_{\perp} , складові. Поздовжня складова задає швидкість транспортування продукту, нормальна складова – режим транспортування: відривний або безвідривний, в залежності від наявності відриву частинок продукту від поверхні лотка. У деяких випадках лоток може встановлюватись під кутом α до горизонту. Під час проєктування вібраційних живильників необхідно враховувати небезпеку виникнення «паразитних» коливань, що можуть спричинити нерівномірність транспортування продукту. Для усунення можливості виникнення "паразитних" крутих коливань і забезпечення рівномірного поля вібрації по довжині живильника під час конструювання необхідно виконати одну з умов:

- лінія, що з'єднує центри коливних мас O_1 і O_2 ; повинна збігатись з напрямком коливань, тобто бути перпендикулярною до плоских пружин;

- центри мас O_1 і O_2 повинні бути суміщені. Нижче наведено послідовність розрахунку коливаннями. При цьому було враховано наступні особливості вібраційного живильника:

- живильник являє собою двомасну коливну систему, у якій одна з мас є робочим органом (лоток), по якому здійснюється транспортування продукту;

- коливна система живильника працює у дорезонансному режимі, при цьому забезпечується стабільна робота та суттєво знижується залежність амплітуди коливань від маси транспортованого продукту;

- напрямлені коливання забезпечуються встановленням під заданим кутом β пружних елементів;

- для передачі живильнику вимушеного зусилля використовується електромагніт.

Вихідними даними для проєктування вібраційних живильників є: довжина живильника L ; швидкість транспортування V або продуктивність.

Вибір частоти коливань живильника

Робоча частота вимушених коливань живильника ν може становити: 100, 50 або 25 Гц. Вибір частоти коливань здійснюється залежно від таких чинників (табл. 4.1):

- величини коливних мас;
- довжини живильника.

За частотою вимушених коливань живильники характеризуються таким чином:

- 100 Гц. Частота відповідає частоті притягування якоря електромагнітом (тобто двічі за період, при додатному та від'ємному значенню струму) за умови живлення електромагніта безпосередню від мережі. До недоліків такої системи належать труднощі з усуненням «паразитних» коливань і підвищений рівень й шуму. Застосування обмежене: довжина живильника не повинна перевищувати 0,8 – 1 м, а маса вага робочої маси – до 50 кг.

- 50 Гц. Електромагніт живиться випрямленим струмом. Живильники з такою частотою допускають довжину до 1,5 м, і масу робочої частини – до 100 кг. Для стабільної роботи необхідно забезпечити достатню жорсткість жолоба.

- 25 Гц. Живлення здійснюється через подільник частоти. Основні переваги: низький рівень шуму, легке усунення паразитних коливань. Довжина живильника може досягати 2,5 – 3 м, при цьому вага живильника не має суттєвого значення.

Табл. 4.1. Вибір частоти коливань віброживильника

Частота коливань, Гц	Джерело живлення	Довжина конвеєра, м	Маса робочої частини, кг	Особливості / Зауваження
100	змінний струм безпосередньо з мережі	0,8 – 1	до 50	високий шум, складне усунення паразитних коливань
50	випрямлений струм	до 1,5	до 100	потрібна висока жорсткість жолоба для стабільної роботи
25	через подільник частоти	2,5 – 3	практично не обмежена	низький рівень шуму, легке усунення паразитних коливань, найкраща стабільність у роботі

Необхідно зазначити, що найбільша швидкість транспортування досягається за умови роботи живильника на частоті 100 Гц, При зменшенні частоти коливань з метою підвищення стабільності роботи живильника, зниження швидкості транспортування необхідно компенсувати збільшенням амплітуди коливань

Розрахунок вібраційного живильника

Амплітуда поздовжніх коливань визначається згідно із заданою швидкістю транспортування продукту:

$$A_n = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot K_{ш}},$$

де V – задана швидкість транспортування продукту, м/с; ν – частота вимушених коливань живильника, Гц; A_n – поздовжня складова амплітуди направлених коливань живильника, м; $K_{ш}$ – коефіцієнт швидкості, який визначається експериментально $\left(K_{ш} = \frac{V}{V_{max}} \right)$, де V_{max} – максимальна теоретична швидкість лотка живильника, визначається як перша похідна від переміщення лотка живильника:

$$V_{max} = 2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot A_n.$$

$K_{ш}$ – приймається за попередніх розрахунків для основних продуктів, що пакуються на автоматизованому обладнанні рівним 0,3–0,5. У залежності від транспортованих виробів – штучних або сипких, вибирається форма лотка (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Приклади форм поперечного перерізу лотка

У залежності від жорсткості жолоба і його довжини, конструюються елементи підсилення жорсткості, тобто приймається кількість пружин та обирається спосіб їх кріплення. Визначаються робоча (m_1) та реактивна (m_2) маси живильника, $m_2 = (1 \div 5)m_1$.

Проводиться розрахунок мінімальної не зацмленої робочої довжини пружини l_{min} (м) та її товщини на задану частоту власних коливань живильника:

$$l_{min} = \frac{10.215 \cdot A}{[\sigma_{-1}]} \sqrt[3]{\frac{v_0^2 \cdot E^2 M_{np}}{b \cdot i}},$$

де A – сумарна амплітуда коливань обох мас, визначається за виразом:

$$A = A_1 + A_2 = A_1 \cdot \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right);$$

$$A_1 = \frac{A_n}{\cos \beta},$$

де σ_{-1} – допустиме напруження згину під час знакозмінного навантаження, Па (для пружинної сталі марки 60С2 $\sigma_{-1} = 3 \cdot 10^3$ Па); ν_0 – власна частота коливань живильника, $\nu_0 = (1,04-1,085)\nu$; E – модуль пружності матеріалу пружини, для пружинних сталей $E=2-2,1 \cdot 10^{11}$ Па; M_{np} – приведена маса живильника (кг), визначається за виразом:

$$M_{np} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2},$$

b – товщина пружини (м), яку вибирають конструктивно; i – кількість пружин; β – кут вібрації, що обирається в межах $\beta = 10 - 50^\circ$.

Приймаючи робочу довжину пружини $l_p > l_{min}$, здійснюється розрахунок товщини пружини h (м) за виразом

$$h = l_p \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot \nu_0^2 \cdot M_{np}}{E \cdot b \cdot i \cdot K_3}},$$

де K_3 – коефіцієнт защемлення пружини, який враховує різницю між реальним і теоретичним защемленням і приймається $K_3 = \frac{+0.8}{+0.5}$.

Необхідну вимушуючу силу електромагнітного вібробудника F (Н), знаходять за виразом:

$$F = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot \nu_0^2 \cdot A \cdot M_{np}}{\mu \cdot z^2 \cdot \cos \beta},$$

де μ – коефіцієнт динамічності,

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1-z^2)^2 + \gamma^2 \cdot z^2}},$$

z – коефіцієнт резонансного налагодження, $z = \frac{\nu}{\nu_0}$ та вибирається рівним 0,92–0,96, при цьому забезпечується дорезонансний режим роботи живильника, за якого знижується вплив маси продукту на стабільність швидкості

транспортування; γ – показник внутрішнього опору, для сталевих пружин $\gamma = 0,004 - 0,006$. Оптимальний кут вібрації β для транспортованих сипких та гранульованих продуктів визначається експериментально і залежить від амплітуди коливань і параметра перевантаження:

$$W = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot v^2 \cdot A_n \cdot \operatorname{tg} \beta}{g \cdot \cos \alpha},$$

де α – кут нахилу робочого органу до горизонталі.

Параметр перевантаження показує на співвідношення між вертикальною складовою прискорення жолоба до прискорення вільного падіння g в залежності від поздовжньої складової амплітуди A_n , кута вібрації β , властивостей транспортованого продукту та його товщини і може набувати значення $W = 1 \div 14$.

5 Вагові дозатори

Як правило, вагове дозування є точнішим методом порівняно з об'ємним. Його похибка менше залежить від зовнішніх умов та зміни властивостей матеріалу. Якщо похибка об'ємних дозаторів становить щонайменше 2 %, то у вагових дозаторів за належного регулювання вона може бути на рівні 0,5 %.

Вагові дозатори можуть працювати за дискретним або безперервним принципом дії. Вимірювання дози здійснюється або в робочому органі дозатора, наприклад ваговимірювальному бункері, або безпосередньо в тарі, куди подається продукт.

За типом вимірювального елемента ваговимірювального пристрою вагові дозатори поділяються на:

- дозатори з ваговими механізмами важелів;
- дозатори з пружинними ваговими механізмами;
- дозатори з ваговими рейтерними механізмами;
- дозатори з пневматичними ваговими механізмами;
- дозатори з гідравлічними ваговими механізмами;
- дозатори з електроприводом;
- дозатори з електромеханічними ваговимірювальними елементами.

Дискретний ваговий дозатор (рис. 5.1) складається з витратного бункера 1, та ємності для зважування 2. Ємність встановлена на ваговимірювальному пристрої 3, який з'єднаний з клапаном 4 витратного бункера.

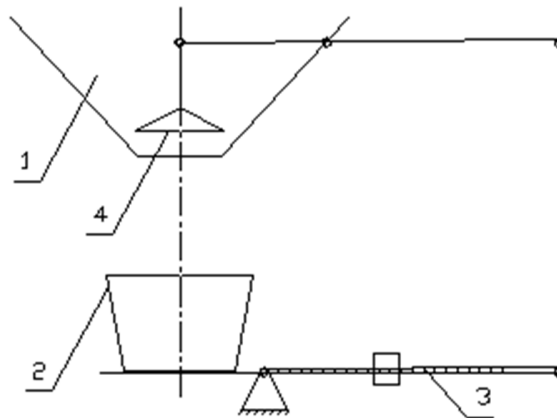


Рис. 5.1. Принципова схема дискретного вагового дозатора

При досягненні заданої маси в ємності 2 ваговимірювальний пристрій 3 закриває подачу матеріалу з бункера 1 за допомогою клапана 4.

Якщо потрібно обрати дозатор для фасування як сипких, так і дрібноштучних продуктів, наприклад манки та карамелі, рекомендується використовувати **ваговий лінійно-лотковий** (або лінійно-вібраційний) дозатор. Схема автоматичного дозатора з вимірюванням у ємності наведена на рис. 5.2.

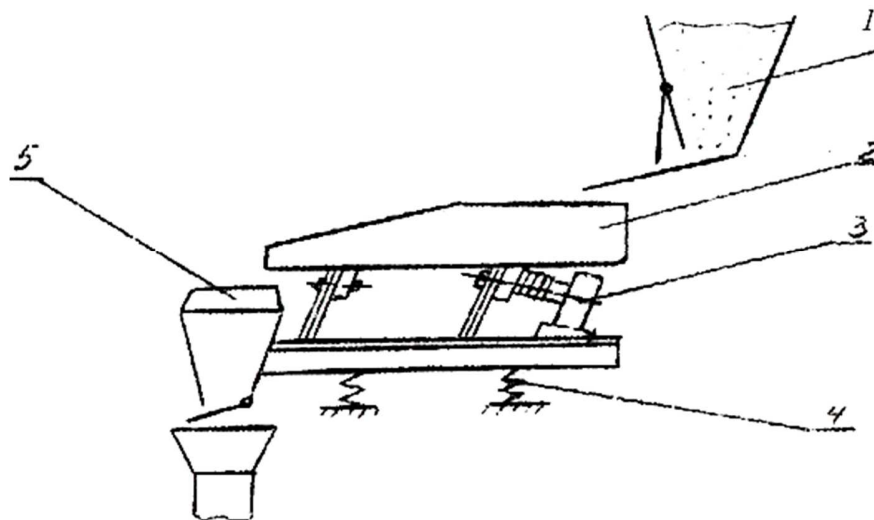


Рис. 5.2. Схема лінійного вагового дозатора: 1 – бункер; 2 – вібралоток;
3 – електромагнітний вібробудник; 4 – віброізоляційна підвіска;
5 – ваговимірювальна ємність

У більшості таких дозаторів застосовується наступний принцип роботи: у ваговимірювальну ємність подається доза, що заздалегідь менша за потрібну (грубе попереднє дозування), після чого продукт досипається тонким струменем (точне дозування). Коли в ємності досягається задана маса продукту, подача

припиняється, а заслінка, що видає дозу, відчиняється. Для стабілізації потоку продукт рухається по вібруючих лотках, які встановлені під невеликим кутом до горизонталі.

Точність дозування значною мірою залежить від конструкції вагів. У вітчизняних лінійно-лоткових дозаторах застосовуються ваговимірювачі трьох типів: **тензометричні, пружинно-електронні (з датчиком – диференційним трансформатором) та важільні.** Перші два типи за точністю і швидкістю видачі доз приблизно однакові, проте тензометричні ваговимірювачі простіші за конструкцією і більш доступні. Ваговимірювачі на важелях характеризуються високою інерційністю і меншою точністю порівняно з першими двома типами.

Стрічковий ваговий дозатор безперервної дії

Безперервне автоматичне вагове дозування (рис. 5.3) є точнішим і більш прогресивним методом порівняно з об'ємним дозуванням. Стабільність процесу забезпечується за допомогою регулювальної апаратури.

Під час роботи дозатора середня похибка для дрібнозернистих добре сипких матеріалів протягом 10–15 хв. не перевищує 0,5–1,0 %. Можливість регулювання швидкості стрічки значно розширює сферу застосування дозатора для матеріалів з різною об'ємною масою.

Проте доведено, що для багатьох матеріалів стрічка є далеко не найефективнішим типом живильника.

Регулятор 4 порівнює вихідний сигнал із заданим значенням і, у разі відхилення, формує керуючий сигнал на привід транспортера 2.

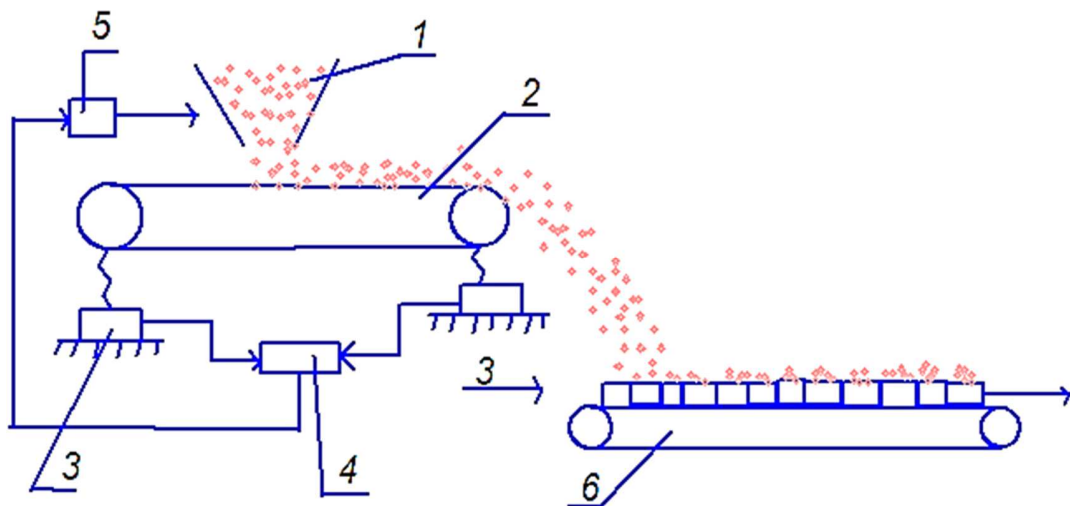


Рис. 5.3. Схема безперервного вагового дозатора: 1 – бункер; 2 – дозуючий робочий орган (транспортер); 3 – вимірники ваги; 4 – регулятор; 5 – виконавчий елемент регулювання витрати; 6 – магазин подачі тари

При дозуванні матеріалів з різними розмірами шматків або поганими сипкими властивостями часто виникає скупчення матеріалу перед випускним отвором,

що спричиняє затримки та перебої подачі на стрічку. Це порушує рівномірність потоку та знижує точність дозування.

Раціональнішим є конструктивне рішення, за якого вагова частини дозатора відокремлена від живильного механізму. Основною перевагою такої конструкції є можливість проектування завантажувального пристрою та вагової ділянки з урахуванням властивостей матеріалу, що дозується. Для подачі матеріалу можуть використовуватися різні спеціалізовані живильники: електровібраційні, тарілчасті, стрічкові, шнекові тощо. Такий підхід забезпечує оптимальні умови роботи вагового транспортера та підвищує точність дозування.

За типом живильника вагові дозатори поділяються на такі типи: з гравітаційним, аераційним, електровібраційним, вібраційно-пневматичним, транспортерним (стрічковим, пластинчастим), лотковим, шнековим, тарілчастим, барабанним, секторним, лопатевим, маятниковим, плунжерним живильниками, із гвинтовим живильним каналом, комбінованим, без вбудованого живильника.

За типом виконавчого механізму, що регулює продуктивність живильника вагові дозатори поділяються на: з механічним, електричним, пневматичним, гідравлічним механізмами.

На рис. 5.4 наведено порівняльні конструкції дозаторів безперервної дії – як із вбудованими, так і окремими живильними механізмами.

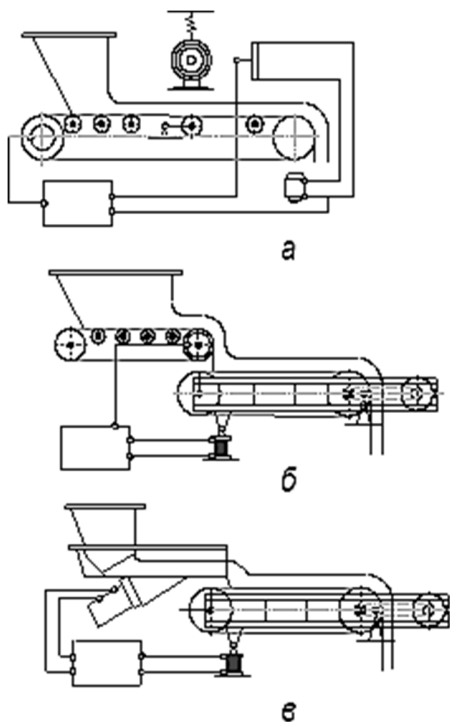


Рис. 5.4. Схеми вагових стрічкових дозаторів із вбудованим і окремими живильними механізмами: а – із стрічковим живильником, вбудованим в механізм дозатора; б – із окремим стрічковим живильником; в – із електровібраційним живильником

Сучасний ваговий дозатор для сипких продуктів (рис. 5.5) складається з ряду окремих вузлів, кожний з яких виконує певну функцію в процесі дозування. Продукт надходить у приймальний бункер 1, звідки відбирається транспортною

системою 2 та переміщується до вузла набору дози. Вага продукту, що накопичується у зважувальній ємності 3, вимірюється ваговим датчиком 4 і контролюється системою керування 5. Після того як маса у зважувальній ємності наближається до заданої дози, система керування переводить привод транспортної системи 6 у режим повільної, контрольованої подачі. При досягненні заданої дози подача продукту зупиняється.

У процесі набору дози продукту ваговий датчик зазнає навантаження як від сталих мас, так і від змінної маси продукту, що надходить у зважувальну ємність. Повне зусилля на датчик визначається як сума статичного навантаження (від сталих елементів конструкції та продукту, що перебуває у спокої) та динамічного навантаження (від змінної маси продукту, що сиплеться у зважувальну ємність) (рис. 5.6).

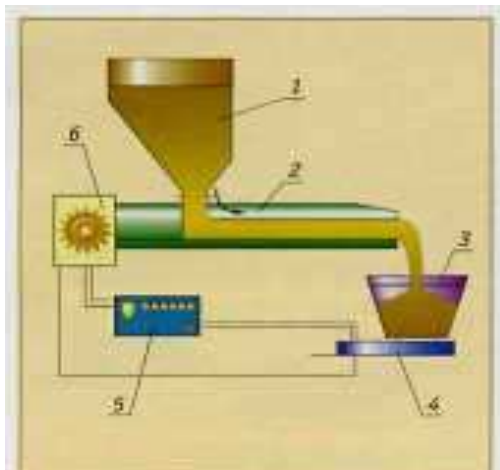


Рис. 5.5. Схема вагового дозатора для сипких продуктів

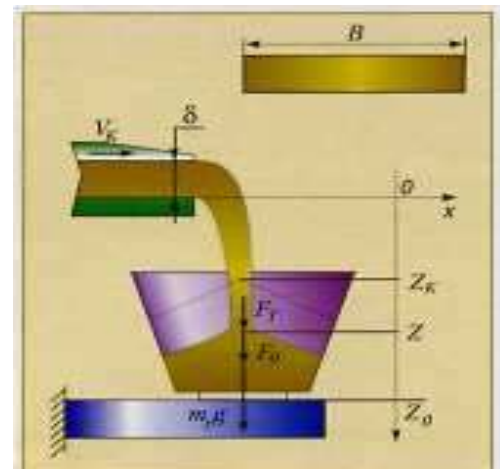


Рис. 5.6. Схема динамічного навантаження зважувального елемента

Повне зусилля що діє на датчик:

$$F_{\Sigma} = F_0 + F_D, \quad (1)$$

де F_0 – статичне навантаження на датчик від ваги завантажувальної ємності; F_D – повне динамічне навантаження від продукту, що подається у зважувальну ємність.

Контроль процесу формування дози продукту у зважувальній ємності фактично зводиться до вимірювання повного динамічного навантаження, яке визначається сумою миттєвої ваги продукту, що знаходиться у ємності, та динамічного тиску від продукту, який подається в неї:

$$F_D = m_t \cdot g + F_m, \quad (2)$$

де m_t , – миттєве значення маси продукту у зважувальній ємності, $0 < m_t < m_k$; m_k – задана маса дози; g – прискорення вільного падіння; F_m – динамічне зусилля від тиску потоку продукту на зважувальну ємність.

Для забезпечення високої точності формування дози та підвищення продуктивності пристрою, процес наповнення зважувальної ємності реалізується у два етапи:

- грубе дозування – інтенсивна подача продукту у зважувальну ємність на початковому етапі;

- точне дозування – завершальний етап, ід час якого продукт подається з мінімальною інтенсивністю для досягнення заданої маси з необхідною точністю.

Закінчення процесу формування дози характеризується припиненням подачі продукту, тобто величина динамічного тиску зникає, з повне динамічне навантаження на датчик визначається тільки масою продукту, який знаходиться у зважувальній ємності:

$$F_d = m_t \cdot g \quad (3)$$

Величина динамічного зусилля, що створюється потоком продукту під час його подачі у зважувальну ємність:

$$F_m = P \cdot v_n = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \cdot K_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2} \right)}, \quad (4)$$

де P – інтенсивність подачі продукту (кг/с); v_n – середня швидкість падіння потоку продукту в момент контакту з поверхнею продукту, що знаходиться у зважувальній ємності (м/с); B – ширина потоку продукту у транспортній системі; δ – товщина шару продукту на несучому органі транспортної системи; ρ – насипна густина продукту; v_k – швидкість подачі продукту; z – миттєве значення на осі OZ координати точки контакту потоку з поверхнею продукту, що знаходиться у мірній ємності; K_p – аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку продукту.

Миттєве значення величини маси продукту у зважувальній ємності

$$m_t = P \cdot t = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \cdot t, \quad (5)$$

де t – тривалість операції дозування, с; $0 < t < t_k$; t_k – час формування заданої дози m_k .

Підставивши значення F_d з (3), F_m з (4) і m_t з (5) у вираз (2), після перетворень отримаємо рівняння динамічного зусилля для визначення поточного значення дози продукту у зважувальній ємності з урахуванням динамічних характеристик процесу:

$$F_{\text{д}} = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \left[t \cdot g + K_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2} \right)} \right]. \quad (6)$$

Використавши рівняння (6), можна встановити значення критичної миттєвої маси продукту у зважувальній ємності, при досягненні якої необхідно зменшувати інтенсивність подачі продукту:

$$m_{\text{кр}} = m_k - B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \cdot K_p \cdot \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \left(z + \frac{\delta}{2} \right)}. \quad (7)$$

Введемо коефіцієнт $\phi = m_{\text{кр}}/m_k$, що визначає частину дози, яка набирається в інтенсивному режимі роботи дозатора, тобто показує раціональність технологічної операції дозування ваговим дозатором. З урахуванням виразу (7):

$$\phi = \frac{m_t - B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \left[t + K_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2} \right)} \right]}{m_k}.$$

З останнього виразу можна зробити висновок, що при певному співвідношенні параметрів можлива ситуація, коли процес дозування при заданій інтенсивності неможливо реалізувати. Так при

$$\frac{m_t - B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k \cdot \left[t + K_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2} \right)} \right]}{m_k} \geq 1$$

інтенсивність подачі продукту настільки висока, що складова динамічного тиску перевищує величину повного динамічного навантаження на датчик і процес контролю набору дози системою керування стає неможливим. Зменшення інтенсивності подачі можна здійснювати зменшенням параметрів v_k , B , δ і z . Приведеними аналітичними залежностями встановлено і експериментально підтверджено, що точність дозування продукту визначається, у першу чергу, параметрами транспортної системи.

Конструктивно транспортна система вагового дозатора виконана у вигляді живильника або системи живильників. Тип живильника визначається видом продукту, його фізико-механічними та реологічними властивостями. У більшості вагових дозаторів застосовують вібраційні живильники, які забезпечують високу стабільність потоку продукту та мають просту конструкцію.

Величина точності дозування продукту ваговим дозатором визначається мінімальною масою продукту, яку може подати транспортна система у зважувальну ємність (рис. 5.7). Із схеми видно, що ця мінімальна маса, яка обринується з несучої площини, визначається розмірами ΔABC і становить:

$$\Delta m_{\min} = \frac{B \cdot \delta \cdot h_0 \cdot \rho}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (8)$$

де α – динамічний кут природного укосу продукту; h_0 – висота вертикальної стінки вільно розташованого продукту на несучій площині у момент зупинки транспортної системи, яка визначається за формулою:

$$h_0 = \frac{2 \cdot \tau_0 \cdot \cos \alpha_0}{\rho \cdot g \cdot (1 - \sin \alpha_0)},$$

де τ_0 – внутрішні дотичні напруження сипкого продукту (МПа); α_0 – кут природного укосу продукту у спокої.

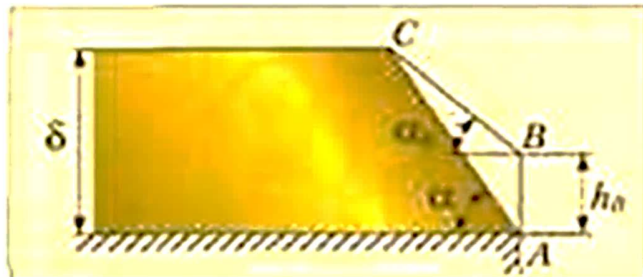


Рис. 5.7. Схема граничного шару продукту на несучій поверхні

Величина мінімальної маси (8), що переміщується з транспортної системи у зважувальну ємність, визначається конструктивними параметрами системи та реологічними характеристиками продукту. Конструктивно зменшити масу і, відповідно, підвищити точність дозування можна за рахунок зменшення ширини несучої поверхні b і товщини шару δ продукту на несучій поверхні транспортної системи.

Для фасування дрібноштучних і дрібнокускових продуктів найкраще підходить **ваговий мультіголовочний дозатор**, який також називають комбінаційним – найточніший із усіх існуючих. Такий дозатор оснащений розподільними ємностями (від 8 до 24), розташованими по колу або лінійно. Ємності періодично заповнюються продуктом приблизно на третину від необхідної дози. Комп'ютер обирає трійки ємностей і відкриває лише ті заслінки, сумарна маса продукту в яких найбільш близька до потрібної. Чим більше ємностей-головочок, тим точніше доза і вища продуктивність.

6 Оцінка точності дозування

Одна з найважливіших характеристик дозувальних пристроїв – точність дозування, що визначається допустимою похибкою.

На точність дозування впливає багато чинників. До них належать похибки, зумовлені власними та вимушеними коливаннями системи, її взаємодією з матеріалом, а також зміною фізико-механічних і технологічних властивостей матеріалу під дією зовнішніх факторів.

Оцінку похибки дозування вагових дозаторів безперервної дії здійснюють на основі багаторазових контрольних зважувань проб матеріалу в умовах сталого режиму роботи за певний проміжок часу.

Для визначення похибки дозування використовують метод інтегральної оцінки.

Маса матеріалу, виданого дозатором за певний проміжок часу визначається за такою залежністю:

$$M = \int_0^{t_n} Q(t) dt,$$

де $Q(t)$ – продуктивність дозатора; t_n – проміжок часу, за який провели вимірювання.

Відносна похибка (за часом) при проведенні контрольних зважувань визначається за формулою:

$$\delta_{t_i} = \frac{\Delta t_i}{t_n} \cdot 100\%,$$

де Δt_i – неточність часу відсікання потоку для проби.

Із збільшенням часу відбору проб зменшується похибка відсічення, проте водночас зменшується точність вимірювання похибок дозування.

Основним критерієм оцінки точності дозування зазвичай приймають середньоквадратичне відхилення маси проби від її заданого значення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n - 1}},$$

де M_i – маса i -тої проби; \bar{M} – середня маса матеріалу в пробах; n – загальне число відібраних проб.

Маси в пробах є випадковими величинами і підпорядковуються законам імовірнісного розподілу.

Для порівняльної оцінки точності дозування використовують коефіцієнт варіації точності дозування, який визначається за формулою:

$$\delta = \left(\frac{S}{M_H} \right) \cdot 100\%,$$

де M_H – номінальна або задана маса.

Зазвичай для періодичних дозаторів $\delta \leq 1\%$, а для безперервних живильників до 4 – 5%.

Зміни маси в пробах зазвичай підкоряються нормальному закону розподілу:

$$W(M_i) = \frac{1}{\sigma_m \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(M_i - M_H)^2}{2 \cdot \sigma_m^2}\right);$$

де σ_m – величина середньоквадратичного відхилення при нескінченному числі дослідів (дисперсія):

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - M_H)^2}.$$

При $n \rightarrow \infty$ $M_i \rightarrow M_H$, $S \rightarrow \sigma_m$.

Необхідну і достатню кількість проб може бути знайдено по теоремі Ляпунова, за якою для порівняно великих n можна записати:

$$P\{|M_H - \bar{M}| < t_s \cdot S \cdot \sqrt{n}\} \approx 2 \cdot \Phi(t_s),$$

де $\Phi(t_s) = P$ – функція Лапласа, значення якої можна знайти в довідкових таблицях; t_s – нормоване відхилення.

Якщо прийняти, що різниця $|M_H - \bar{M}|$ опиниться менше за допустиму задану погрішність Δ з вірогідністю, не меншою P , то кількість проб можна визначити як:

$$n = t_s \cdot \frac{S^2}{\Delta^2},$$

де t_s можна визначити з таблиці $\Phi(t_s)$.

ТЕМА 2. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ, В'ЯЗКИХ ТА ПЛАСТИЧНИХ ПРОДУКТІВ

7 Класифікація дозувальних пристроїв для рідин

Пристрої з ручною системою керування застосовуються при випуску до 500 упаковок за годину. Напівавтоматичні пристрої використовують при продуктивності до 1500 упаковок за годину; вони можуть бути укомплектовані конвеєрами подачі та відведення тари. До складу машини автоматичної дії входять також пристрої подачі тари до дозуючого пристрою, витратні резервуари, транспортуючі системи, а також система керування запірною арматурою. Класифікацію дозувально-фасувальних пристроїв для рідких речовин наведено на рис. 7.1.

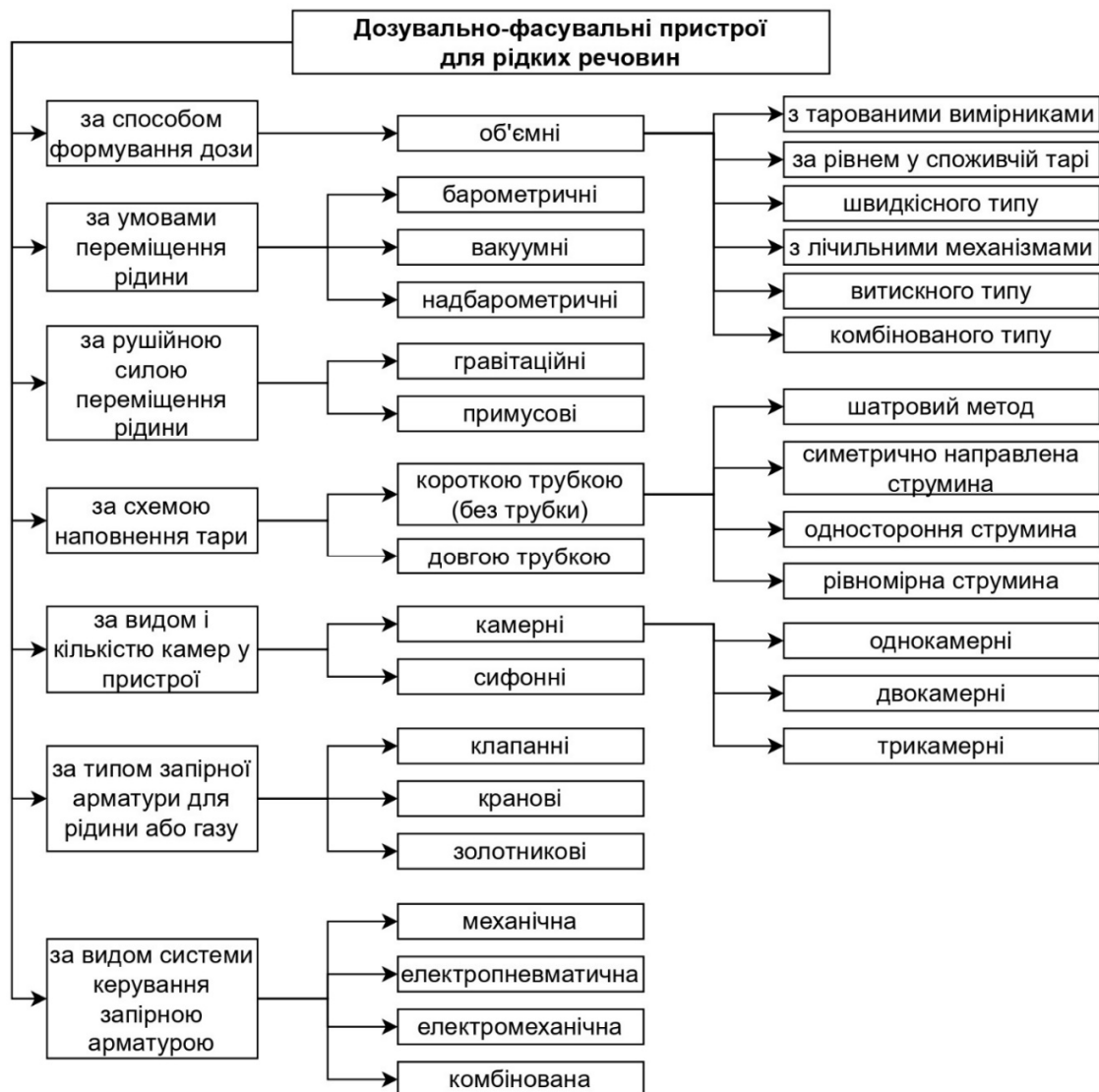


Рис. 7.1. Класифікація дозувально-фасувальних пристроїв для рідких речовин

У процесі дозування рідини в споживчу тару відбір дози зазвичай здійснюється об'ємним способом. Цей спосіб можна поділити на такі типи:

- а) формування дози безпосередньо в тарі;
- б) формування дози в тарованих вимірниках;
- в) вимірювання дози за допомогою лічильників.

Ваговий спосіб дозування переважно застосовується під час дозування рідин у транспортну тару та спеціальні контейнери.

Об'ємне дозування за внутрішнім об'ємом кінцевої тари застосовують у випадках, коли формування дози здійснюється за геометричними розмірами упаковки, виготовленої безпосередньо під час фасування (так званий метод витіснення). Точність такого дозування безпосередньо залежить від стабільності геометричних параметрів тари.

Для жорсткої та напівжорсткої тари може застосовуватися дозування за рівнем у самій тарі. Такі пристрої можуть виконуватися у вигляді сифона. Пристрої фасування за рівнем бувають одно-, дво- або трикамерними. В однокамерних пристроях тиск у надрідинному просторі витратного резервуара та в тарі перед фасуванням є однаковим. У дво- та трикамерних системах створюється перепад тиску.

Однокамерні пристрої можуть працювати за барометричним, низьковакуумним або надбарометричним принципом.

Двокамерні та трикамерні пристрої призначені для вакуумного або надбарометричного фасування.

Рушійна сила для переміщення рідини може бути природною (гравітаційною) або створена примусово. Розрізняють такі методи подачі рідини:

- а) барометричний метод;
- б) вакуумний метод;
- в) надбарометричний метод.

Пристрої для барометричного фасування поділяються на пристрої дозування за рівнем і за об'ємом.

Пристрої для вакуумного фасування також поділяються на пристрої дозування за рівнем і за об'ємом.

Пристрої для надбарометричного фасування бувають пристроями дозування за рівнем – одно- та трикамерними.

Залежно від продуктивності, дозуючі пристрої можуть виконуватись із ручною, напівавтоматичною або автоматичною системою керування.

Таровані мірники поділяються на рухомі та нерухомі. Вони можуть розташовуватись як всередині, так і зовні витратного резервуара. Як запірні арматура використовуються клапани або крани. Лічильники витрати можуть бути швидкісного або годинникового типу. Вони застосовуються в пристроях із гравітаційним переміщенням рідини – за умови постійного рівня або стабільного гідростатичного тиску. Переміщення продукції в тару може здійснюватися також під дією робочого органу, наприклад поршня.

Для рідин, що потребують герметичних умов фасування, застосовують комбінований спосіб дозування: спочатку – за рівнем, а потім – із контролем об'єму. Такі системи вимагають використання мікропроцесорної техніки для керування процесом дозування.

Барометричне фасування

Барометричне фасування передбачає переміщення рідини під дією сили тяжіння (гравітації), коли тиск у витратному резервуарі та в споживчій тарі дорівнює атмосферному. Цей метод застосовується лише для рідин, які не містять летких компонентів. Формування дози при барометричному фасуванні здійснюється за об'ємом або за рівнем у тарі.

Вакуумне фасування

Вакуумне фасування передбачає застосування двох можливих схем:

- розрідження створюється лише у споживчій тарі, і переміщення рідини відбувається під дією різниці тиску;
- розрідження створюється як у витратному резервуарі, так і в тарі, а переміщення відбувається під дією сили тяжіння (самопливом). Формування дози здійснюється за об'ємом або за рівнем в тарі.

Переваги вакуумного методу фасування:

- відсутній контакт продукції з повітрям, що є важливим для рідин, схильних до окислення;
- зменшення піноутворення, що сприяє підвищенню точності дозування;
- усунення втрат рідини через нещільність з'єднань.

Надбарометричне фасування

Надбарометричне фасування характеризується переміщенням рідини з фасувального пристрою (витратного резервуара) під дією сили тяжіння, але за умов надлишкового тиску. Надлишковий тиск може також підтримуватися в тарі – такий спосіб застосовують для фасування газонаповнених рідин (ігристих вин, пива, квасу, газованої води). Формування дози зазвичай здійснюється за рівнем у тарі.

У разі застосування магнітноіндуктивного способу вимірювання дози можливе використання й об'ємного дозування.

8 Барометричні дозувальні пристрої

Принцип дії барометричного дозувального пристрою. Простим методом дозування за атмосферного тиску є використання поплавцевого рівня, встановленого в мірному резервуарі (рис. 8.1). Пристрій працює наступним чином. До мірного резервуара 1 підводиться тара, в яку зливається рідина після відкриття клапана 2. Після заповнення тари клапан 2 зачиняється, і з витратного резервуара (не показано на схемі) до мірного резервуара 1 надходить наступна порція рідини. Доки поплавець 3 не досягне встановленого верхнього рівня, клапан 4 залишається відкритим. По досягненню заданого рівня клапан 4 автоматично закривається, і розпочинається злив чергової порції рідини в тару. Відкриття і закриття клапана 2, а також подача рідини до входу клапана 4 може здійснюватися як у ручному, так і в автоматичному режимі. Автоматичне керування може реалізовуватися на основі активного принципу (за допомогою команд від реле часу, фотодатчиків або аналогічних пристроїв), або пасивного принципу (наприклад, шляхом активації клапанів переміщенням тари).

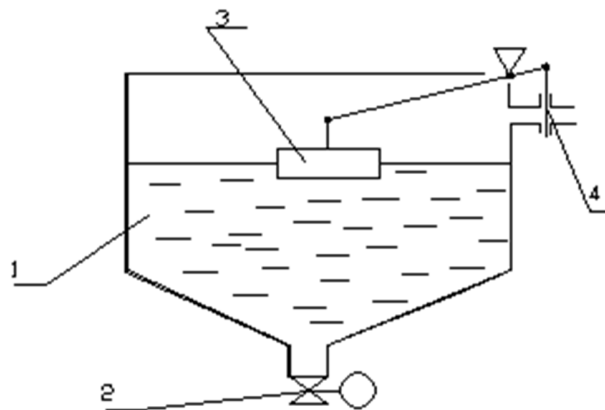


Рис. 8.1. Схема дозатора з мірним резервуаром: 1 – мірний резервуар; 2 – зливний клапан; 3 – поплавець; 4 – вхідний відсікаючий клапан

Найбільш складним, але точним методом є вагове дозування.

У показаній на рис. 8.2 схемі резервуар 1 підвішений на ваговому пристрої 3, який здійснює контроль маси рідини та формує керуючі сигнали для клапанів 2 і 4. У подібних системах зазвичай застосовується мікропроцесорна техніка, яка забезпечує високу точність дозування та можливість автоматизації процесу.

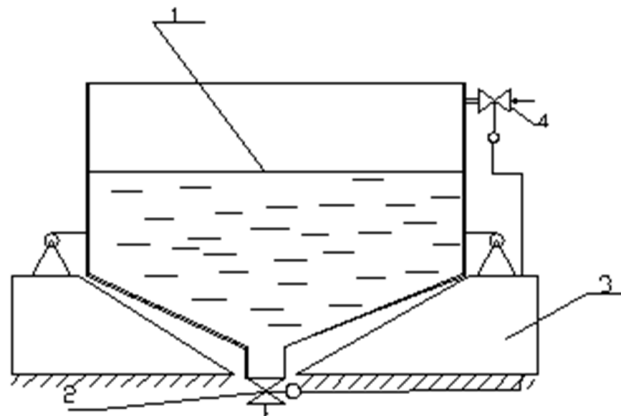


Рис. 8.2. Схема вагового дозатора: 1 – мірний резервуар; 2 – зливний клапан; 3 – ваговимірювальний пристрій; 4 – вхідний клапан

Найбільш поширеним методом барометричного фасування є фасування за об'ємом. Принципова схема пристроїв, що працюють за цим методом, наведена на рис. 8.3.

Дозатор зображений на рис. 8.3, складається з мірного стакана 1, по осі якого проходить повітряна трубка 2, поршня 3, зливного патрубку 4, вхідного 5 і зливного клапана 8, дзвіночка 6 та пружини 7. Ємність мірного стакана 1 регулюється переміщенням по поршня 3 по різьбі. У вихідному стані клапан 8 закритий, а клапан 5 відкритий, і стакан 1 наповнюється рідиною. При підведенні знизу тари 9 вона центрується за допомогою дзвіночка 6, який, підіймаючись разом із зливним патрубком 4, перекриває вхідний клапан 5 та одночасно відкриває зливний клапан 8, забезпечуючи злив рідини у тару.

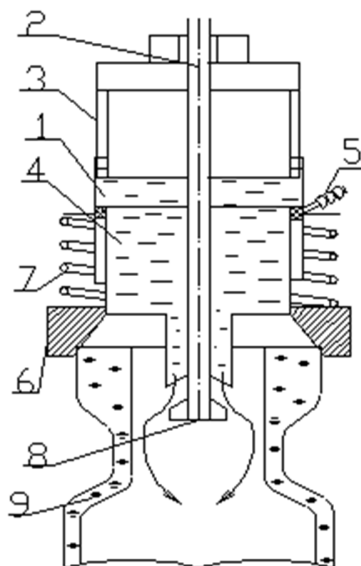


Рис. 8.3. Схема об'ємного барометричного дозатора: 1 – мірний стакан; 2 – повітряна трубка; 3 – поршень; 4 – зливний патрубок; 5 – вхідний клапан; 6 – дзвіночок; 7 – пружина; 8 – зливний клапан; 9 – тара.

Для дозування за рівнем використовують як вакуумні, так і барометричні пристрої. Один із варіантів барометричного дозатора показано на рис. 8.4. Цей дозатор укріплений в днищі вихідного резервуару 1 і складається з рухомої повітряної трубки 2, яка з'єднує порожнину тари з повітряним простором резервуара, дзвіночка 3, зливного клапана 4, верхнього клапана 8, патрубків 5 і 6 та пружини 7. Дзвіночок 3 встановлений на трубці 5 з можливістю переміщення по різьбі, що дозволяє налаштовувати заданий рівень наповнення тари. При підведенні тари (на рисунку не показана) вона центрується за допомогою дзвіночка 3, щільно прилягає до його ущільнювача і підіймає разом із зливною трубкою 5, при цьому відкривається зливний клапан 4. Підіймаючись далі, трубка 5 і дзвіночок 3 упирається в упор трубки 6, підіймаючи її з собою. Підіймаючись, трубка 6 відкриває верхній клапан 8, і рідина заповнює тару. Коли рівень рідини в тарі досягає нижньої кромки повітряної трубки 2, тиск у тарі врівноважується з тиском у резервуарі 1, і подача рідини автоматично припиняється. При опусканні тари система під дією пружини 7 повертається у вихідне положення.

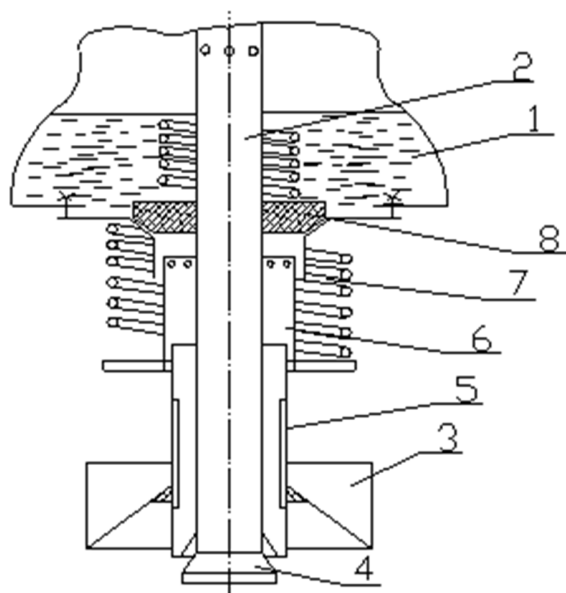


Рис. 8.4. Схема барометричного дозатора за рівнем: 1 – резервуар; 2 – повітряна трубка; 3 – дзвіночок; 4 – зливний клапан; 5 – зливна трубка; 6 – трубка підводу повітря; 7 – пружина; 8 – верхній клапан.

Різновидом барометричних фасувальних пристроїв, які здійснюють дозування за рівнем, є сифонні пристрої, що працюють за принципом сполучених посудин. Сифон являє собою зігнуту трубку, короткий кінець якої занурений у витратний резервуар, а довгий – у шийку тари. Такий пристрій функціонує лише за умови попереднього заповнення сифонної трубки рідиною. Схематичне зображення сифонного фасувального пристрою наведено на рис. 8.5.

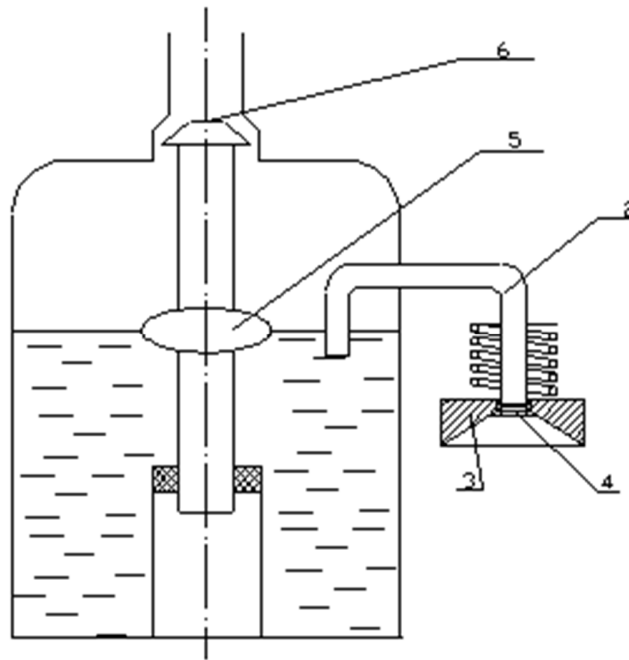


Рис. 8.5. Схема сифонного дозувального пристрою: 1 – витратний резервуар; 2 – сифонна трубка; 3 – дзвіночок; 4 – зливний клапан; 5 – поплавець; 6 – вхідний клапан

Пристрій працює таким чином: тара, підіймаючись, впирається в центруючий дзвіночок 3, підіймає його й тим самим відкриває зливний клапан 4. Рідина з витратного резервуара 1 через сифонну трубку 2 починає надходити в тару й заповнює її до рівня рідини у резервуарі. Після опускання тари клапан 4 зачиняється, але трубка 2 залишається заповненою рідиною, що забезпечує готовність системи до наступного циклу дозування. Рівень рідини в резервуарі 1 підтримується за допомогою поплавцевої системи 5 з клапаном 6.

Час витримки тари під час заповнення в розглянутих пристроях встановлюється експериментально або розраховується залежно від фізичних властивостей рідини та швидкості заповнення тари.

Приклади реальних конструкцій дозаторів показано на рис. 8.6.

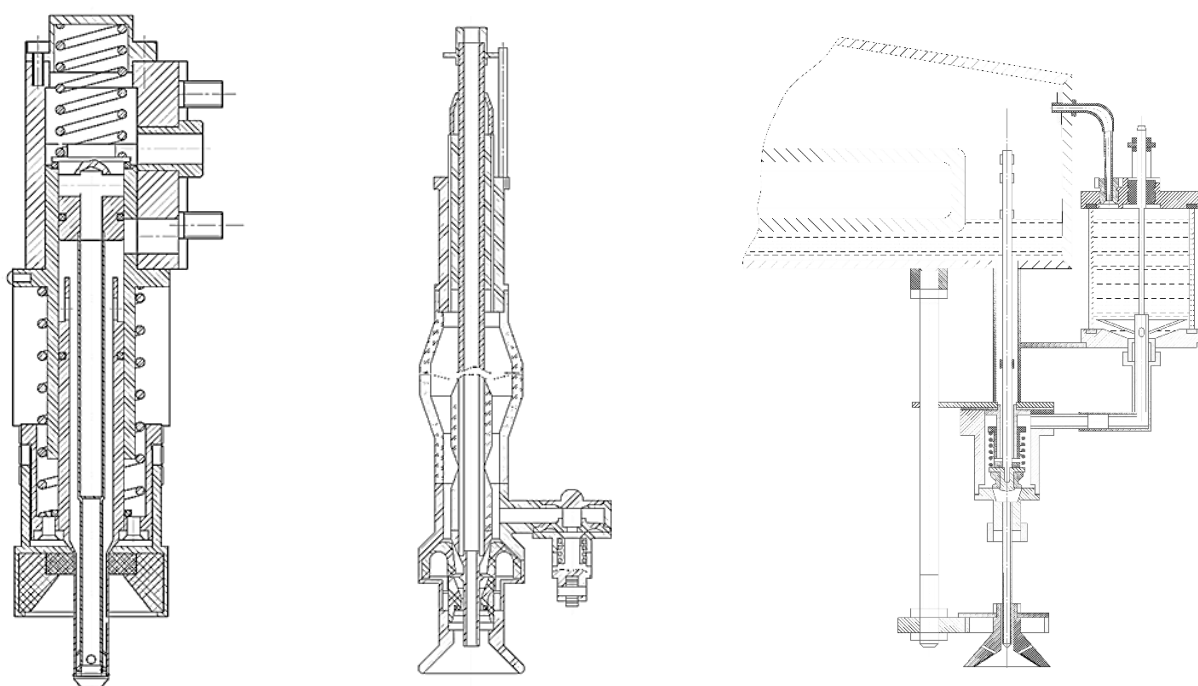


Рис. 8.6. Приклади конструкцій барометричних дозаторів

9 Вакуумні і надбарометричні дозувальні пристрої

Якість роботи фасувальних пристроїв значною мірою залежить від схеми наповнення тари продукцією. Залежно від гідравлічної схеми, можливі варіанти наповнення із короткою або довгою трубкою. При використанні короткої трубки можливі такі варіанти наповнення (рис. 9.1):

- а) плівка рідини переміщається рівномірно по стінках тари у вигляді шатра – шатровий метод;
- б) симетрично спрямований струмінь рідини;
- в) прямий, односторонньо спрямований струмінь;
- г) рівномірний струмінь у вигляді парасольки.

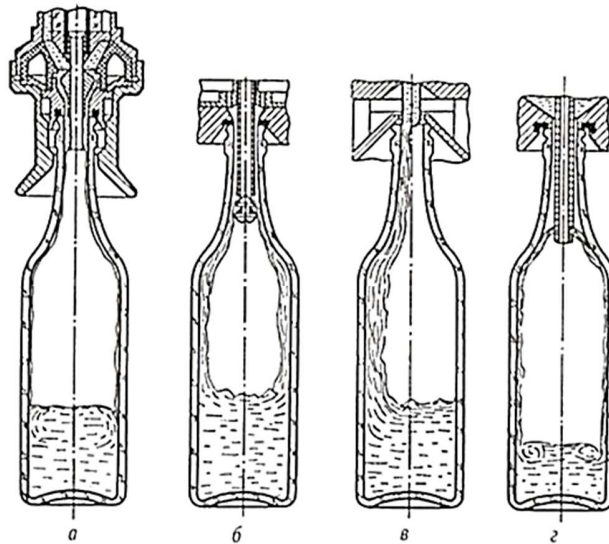


Рис. 9.1. Схеми заповнення тари із короткою трубкою: а – шатровий метод; б – симетрично спрямований струмінь; в – односторонньо спрямований струмінь; г – рівномірний струмінь у вигляді парасольки

При застосуванні схеми з довгою трубкою забезпечується стабільність процесу та зменшується контакт рідини з повітрям, проте продуктивність таких систем значно нижча порівняно з варіантами, де використовується коротка трубка.

Пристрої для вакуумного фасування рідин за рівнем мають відносно просту конструкцію і найчастіше застосовуються для фасування рідин, контакт яких із повітрям небажаний, а також які не є леткими. Такі пристрої широко використовуються, зокрема, в молочній промисловості.

Дозатор, зображений на рис. 9.2, вмонтований у днище резервуара.

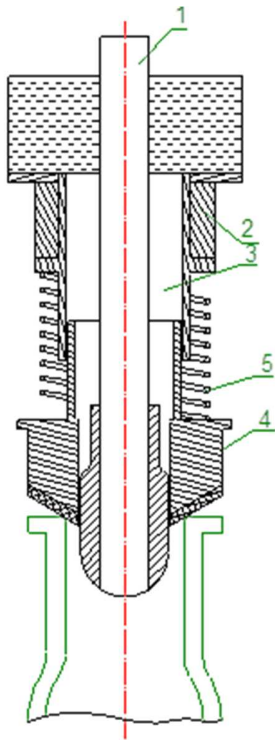


Рис. 9.2. Схема вакуумного дозатора за рівнем:

- 1 – повітряна трубка;
- 2 – корпус; 3 – зливна трубка;
- 4 – стакан; 5 – пружина

Повітряна трубка 1 встановлена нерухомо, її верхній край виходить у верхню надрідинну частину резервуару, де підтримується вакуум. Корпус 2 вмонтований у днище резервуару. Пляшка упирається шийкою в стакан 4 при піднятті столика по копіру і герметизується за рахунок гумового ущільнення. З порожнини пляшки повітря переходить в надрідинний простір резервуару і відкачується. При подальшому піднятті стакану 4 відкривається кільцевий зазор між повітряною і зливною трубками, через який рідина перетікає у тару.

Після досягнення рідиною рівня повітряної трубки 1 тиск у тарі та резервуарі вирівнюється, і подача рідини припиняється. При опусканні тари дозатор повертається у початкове положення під дією пружини 5.

Пристрої для надбарометричного фасування за рівнем

Ці пристрої застосовуються переважно для фасування рідин, що містять діоксид вуглецю або інші леткі компоненти, які схильні до спінювання. Надбарометричне фасування є найскладнішим видом фасування за рівнем. При цьому методі у резервуарі та тарі підтримується підвищений тиск. Однак він не використовується для фасування у м'яку і напівжорстку тару. Існують одно-, дво- та трикамерні фасувальні пристрої.

Схема типового надбарометричного дозатора для рідин показана на рис. 9.3.

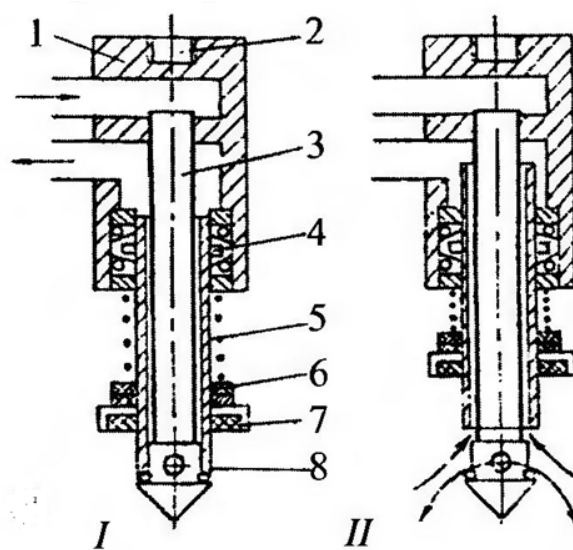


Рис. 9.3. Схема надбарометричного дозатора для рідин: I – клапан закрито; II – клапан закрито; 1 – корпус, 2 – місце кріплення до штоку гідроциліндра, 3, 8 – трубки, 4, 7 – ущільнення, 5 – пружина, 6 – прокладка

Продукція з резервуару подається насосом. Надлишок продукції знов повертається в резервуар.

Принципова схема однокамерного фасувального пристрою наведена на рис. 9.4. Фасована рідина та газ перебувають у спільній камері. Для створення надлишкового тиску в плящі газ подається з камери, а під час фасування він повертається назад у цю ж камеру.

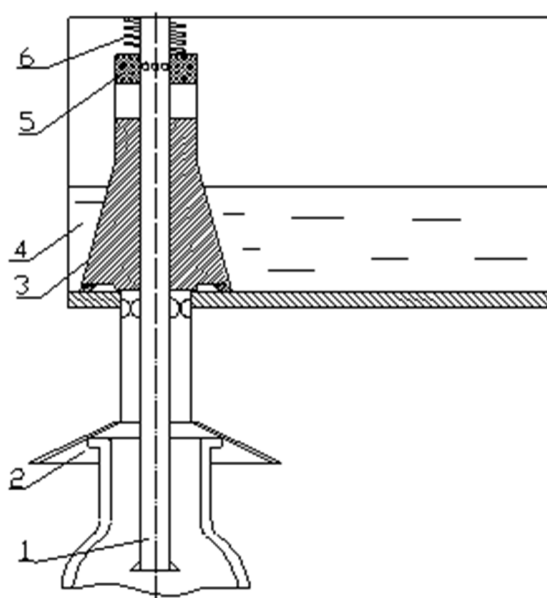


Рис. 9.4. Схема однокамерного фасувального пристрою: 1 – газова трубка; 2 – дзвіночок із зливною трубкою; 3 – рідинний клапан; 4 – резервуар; 5 – газовий клапан; 6 – пружина

При упорі тари в дзвіночок 2 внутрішній простір герметизується. При подальшому підйомі тари вона піднімає дзвіночок разом із зливною трубкою. Внаслідок цього в порожнині тари створюється підвищений тиск газу, і рідина самопливом перетікає по кільцевому простору між зливною трубкою та наконечником газової трубки 1.

Наповнення триває до моменту, поки рівень рідини не досягне нижньої кромки трубки 1. Після цього тиск у резервуарі та тарі тиск вирівнюється, і подача рідини припиняється. Після опускання тари клапани 3 і 5 закриваються.

Керування клапанами може здійснюватися незалежно від подачі тари. Схема такого пристрою наведена на рис. 9.5.

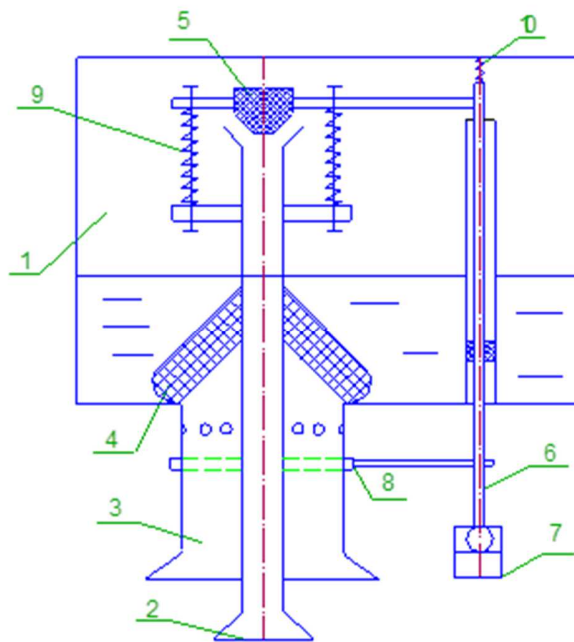


Рис. 9.5. Схема дозувального пристрою з керуванням копиром: 1 – резервуар; 2 – газова трубка; 3 – зливна трубка; 4 – рідинний клапан; 5 – газований клапан; 6 – шток; 7 – копир; 8 – повітряний клапан; 9, 10 – пружини

Ємність підводиться під дзвіночок 3 і, підіймаючись, герметизує внутрішній об'єм. Шток 6, рухаючись по копіру 7, відкриває газований клапан 5, після чого в ємність подається модифіковане газове середовище під тиском, а повітря витісняється з ємності через клапан 8. При подальшому підйомі штока 6, клапан 8 закривається, а рідинний клапан відкривається, і в ємність починає перетікати фасована рідина. Перетікання припиняється в момент, коли рівень рідини досягає нижнього краю трубки 2.

У двокамерних фасувальних пристроях порожнини для рідини та газу розділені між собою (рис. 9.6).

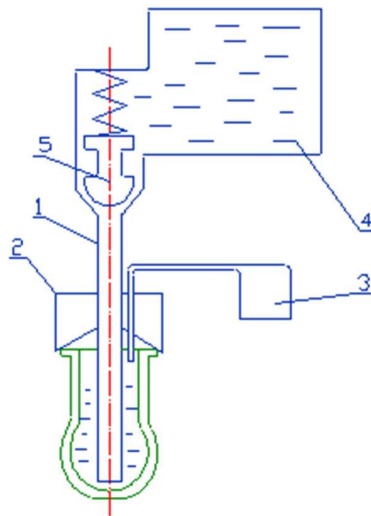


Рис. 9.6. Схема двокамерного фасувального пристрою: 1 – зливна трубка; 2 – дзвіночок; 3 – газова камера; 4 – рідинний резервуар; 5 – клапан

Після підведення тари в неї подається газ із камери 3, витісняючи повітря, що знаходилось всередині. Потім тара упирається в дзвіночок 2 і герметизується. Через трубку 1 тиск газу передається на клапан 5, який відкривається, і рідина починає заповнювати тару. Коли рівень рідини в тарі досягає краю газової трубки, клапан 5 під дією тиску рідини в резервуарі 4 закривається.

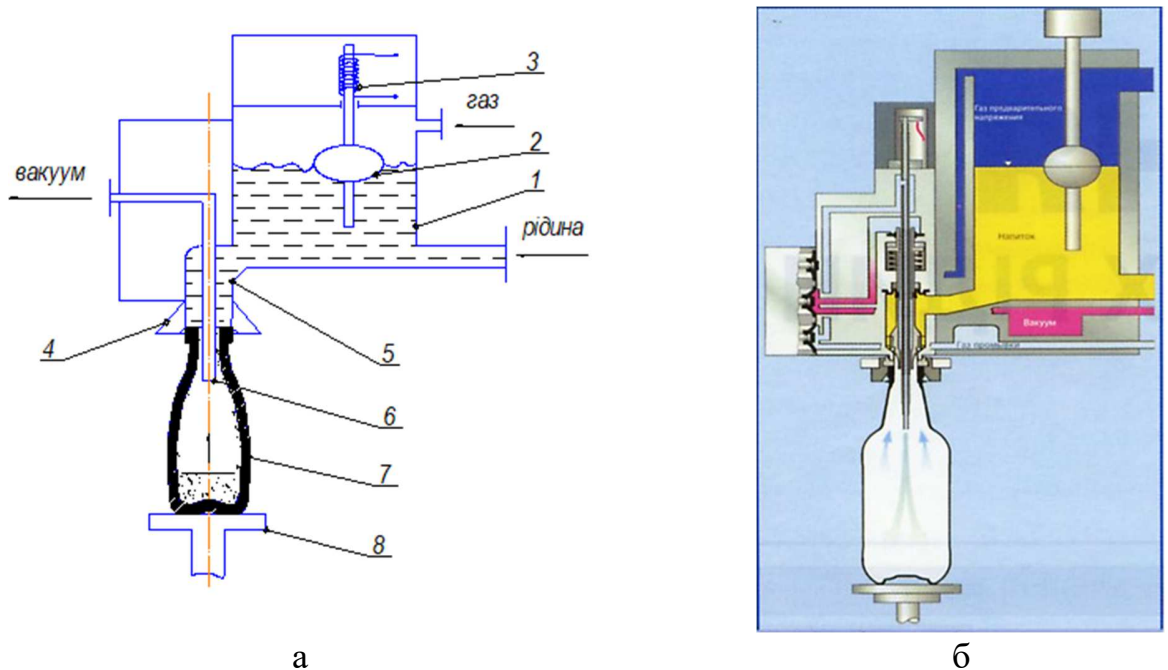


Рис. 9.7. Дозувальний пристрій з індуктивним вимірюванням рівня в резервуарі: а – схема; б – загальний вигляд; 1 – витратний резервуар; 2 – поплавець; 3 – індуктивний датчик; 4 – дзвіночок; 5 – трубка подачі рідини; 6 – трубка відведення повітря; 7 – тара; 8 – стіл подачі тари

У трикамерних пристроях є три розділені порожнини, вміст яких не змішується: порожнина для рідини; газова порожнина для протитиску та порожнина для поворотного газу, який видавлюється з тари.

Існують також дозувальні пристрої з електронним вимірюванням рівня в тарі або резервуарі, наприклад, індуктивним (рис. 9.7).

Дана схема дозволяє реалізовувати вакуумний, барометричний і надбарометричний методи фасування залежно від технологічної схеми та властивостей фасованої рідини.

10 Фасування в'язких рідин

Зі зростанням в'язкості рідин змінюються й їхні властивості, що впливає на вимоги до процесу дозування та конструкції дозувального обладнання.

Для дозування в'язких рідин, як правило, застосовують об'ємний метод. Особливістю дозування таких рідин є те, що вони не витікають самостійно під дією власного тиску. Тому для забезпечення подачі необхідне використання додаткових нагнітальних пристроїв: поршнів, насосів, шнеків тощо. Класифікацію пристроїв для дозування в'язких продуктів наведено на рис. 10.1.

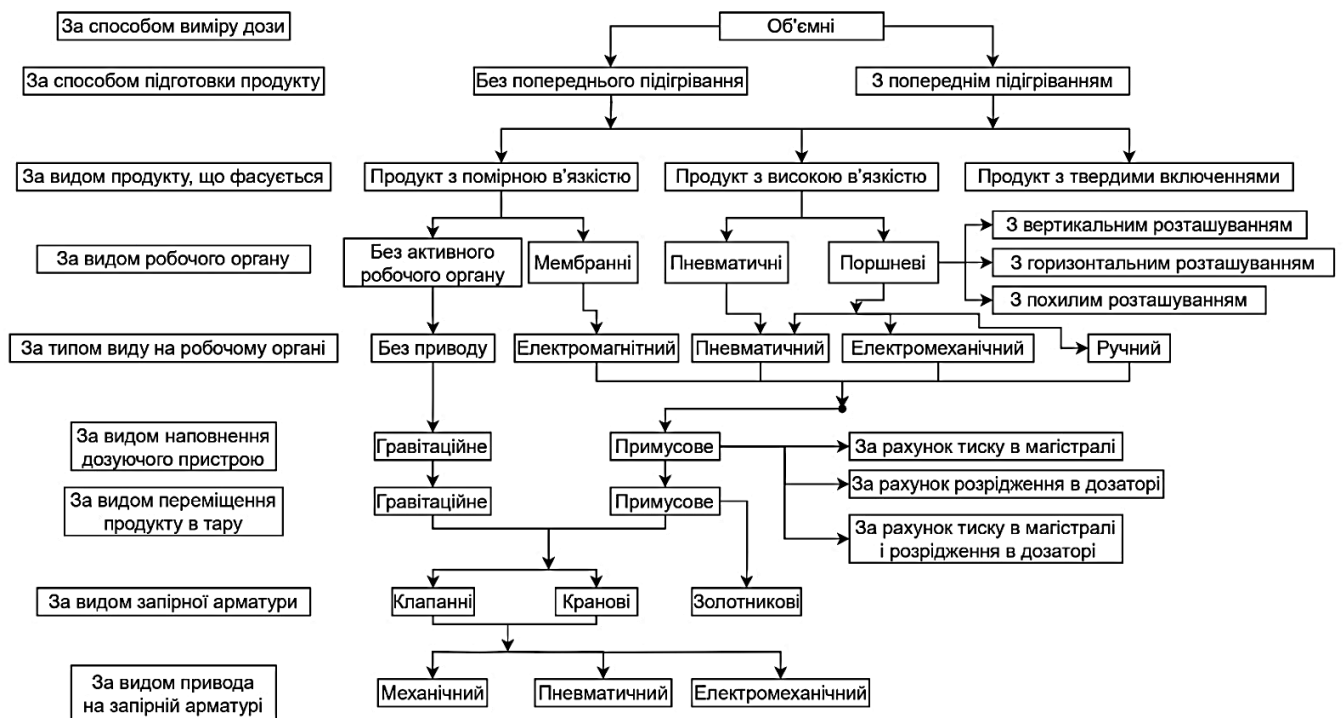


Рис. 10.1. Класифікація пристроїв для дозування в'язких продуктів

Властивості неньютонівських рідин

Згідно закону Ньютона:

$$\tau = \eta \left(\frac{dU}{dr} \right),$$

де τ – дотичне напруження в рідині; $\frac{dU}{dr} = \dot{\gamma}$ – градієнт швидкості рідини

в поперечному перерізі каналу; $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$ – в'язкість.

Неньютонівська рідина – рідина, яка не підкоряється закону Ньютона. Загальний вид залежності в'язкості від швидкості зсуву і температури можна записати так:

$$\eta = f\left(\frac{dU}{dr}, T\right).$$

Найчастіше залежність між напруженням та режимом течії неньютонівських рідин апроксимують степеневим законом:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n,$$

де k – коефіцієнт консистенції, який є в'язкістю при швидкості зсуву, що прагне до нуля; n – показник текучості розплаву.

Види залежності дотичних напружень і в'язкостей від швидкості зсуву для різних типів рідин показано на рис. 10.2.

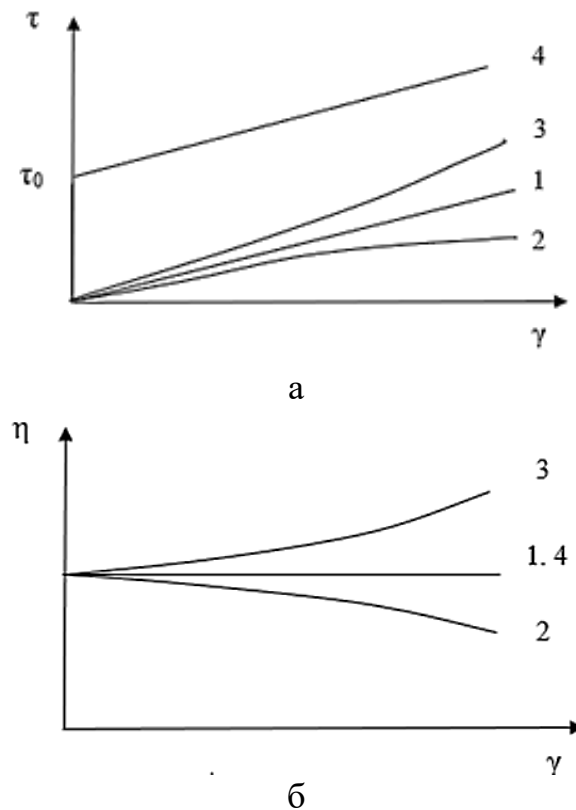


Рис. 10.2. Властивості рідин: а – залежність напруження від швидкості зсуву; б – залежність в'язкості від швидкості зсуву для рідин: 1 – ньютонівська, 2 – псевдопластична, 3 – дилатантна, 4 – в'язкопластична

Одним із поширених пристроїв для дозування в'язких рідин є **шестеренний дозатор** (рис. 10.3).

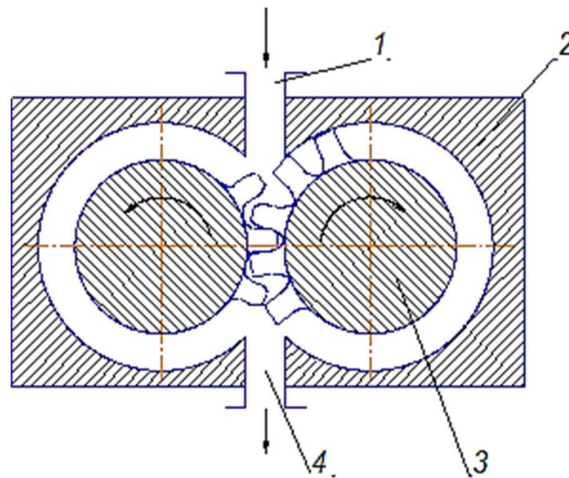


Рис. 10.3. Схема шестеренного насоса: 1 – вхідний патрубок; 2 – корпус; 3 – шестерні, що обертаються назустріч одна одній; 4 – вихідний патрубок

По суті, це шестеренний насос, який або періодично зупиняється для отримання заданої дози, або працює безперервно, але обладнаний клапаном, що за потреби відправляє надлишковий потік продукту назад у бункер дозатора.

Перевага такого насосу – об'єм рідини на виході однозначно визначається об'ємом між зубцями та частотою обертання шестерень.

Недолік – складність ущільнення торцевих поверхонь

Черв'ячний живильник

Поширеним видом обладнання для безперервного дозування в'язких рідин є шнековий живильник (рис. 10.4). Залежно від властивостей продукту та технологічних режимів переробки застосовують черв'яки (в яких діаметр осердя становить більше половини зовнішнього діаметра) чи шнеки (якщо діаметр осердя менше половини зовнішнього діаметра).

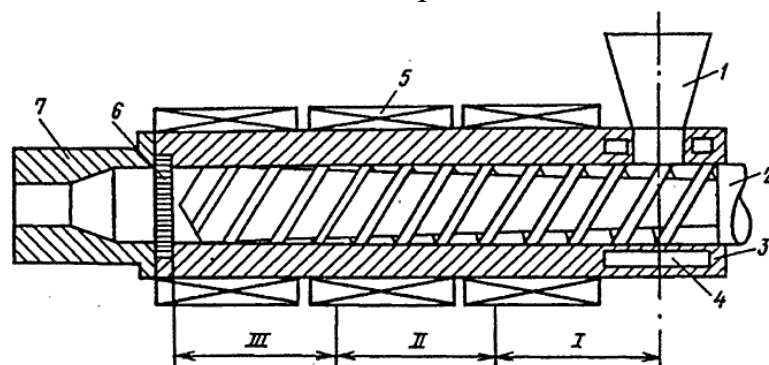


Рис. 10.4. Схема черв'ячного живильника: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – порожнина для циркуляції води; 5 – нагрівач; 6 – фільтр; 7 – формувальна головка; I, II, III – технологічні зони

Основними елементами шнекового живильника є циліндр, шнек, фільтр та формувальна головка. Для центрування шнека і сприйняття осьових навантажень між шнеком і редуктором встановлюється підшипниковий вузол, виконаний у вигляді перехідника з радіальними та упорними підшипниками. Продукт подається через бункер 1, який може оснащений перетрушувачем (пристроєм примусової подачі) або дозаторами компонентів. Для переведення продукту у в'язкотекучий стан або зниження його в'язкості на корпусі встановлюються нагрівачі 5. Формувальна головка 7 призначена для надання певної форми поперечного перерізу видавлюваному матеріалу.

Шнекові дозатори можуть працювати також у режимі періодичного дозування. У такому випадку можливі два конструктивні варіанти:

1) Продукт дозується шнеком у проміжну ємність, з якої порційно виштовхується поршнем.

2) Шнек має можливість осьового переміщення і при накопиченні порції відводиться назад. Під час накопичення порції продукт утримується в частині корпусу між шнеком і випускним отвором, який може закриватися клапаном. Досягнувши заданої величини порції, шнек переміщується вперед, клапан відкривається, і продукт упорскується в тару (форму).

Варіантом дозувального пристрою, що застосовується у випадках, коли необхідно виключити контакт рідини з повітрям і сторонніми матеріалами, є **перистальтичний насос** (рис. 10.5). Його використовують для невеликих об'ємів рідин.

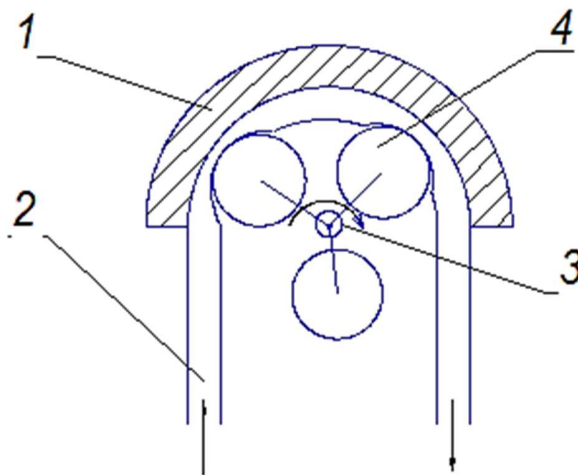


Рис. 10.5. Схема перистальтичного насосу: 1 – корпус; 2 – гнучка трубка; 3 – ротор, що обертається, із роликами 4.

Ролики, обертаючись разом із ротором, стискають гнучку трубку й переміщують порції рідини в напрямку обертання.

11 Пристрої для дозування пластичних матеріалів

Властивості пластичних матеріалів

Ідеально пластичним середовищем вважається таке, яке до досягнення певного граничного напруження поводить себе як тверде тіло, а після його перевищення – як рідина з надзвичайно малою в'язкістю, практично не чинячи опору течії.

На практиці межа текучості виражена не настільки різко, а в'язкість є істотною. Найчастіше стан в'язкопластичних середовищ описують за моделлю Шведова – Бінгама:

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma},$$

де τ – напруження зсуву; τ_0 – межа текучості; η – динамічна в'язкість; $\dot{\gamma} = \frac{dU}{dr}$ – градієнт швидкості. Залежність напруження зсуву від градієнта швидкості для найпростіших видів пластичних середовищ в порівнянні з ідеальною рідиною показано на рис. 11.1.

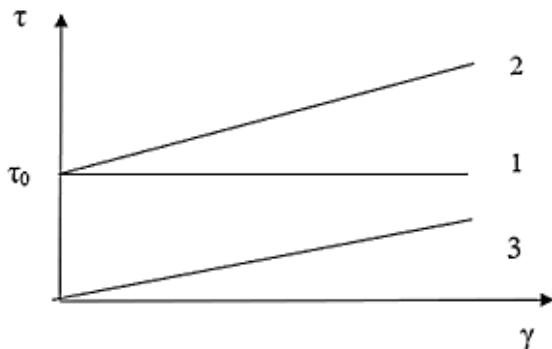


Рис. 11.1. Залежність напруження зсуву від градієнта швидкості:
1 – ідеально пластичне середовище (середовище Сен – Венана);
2 – в'язкопластичне середовище (середовище Шведова – Бінгама);
3 – ньютонівська рідина

Середовища, які поведуть себе як пластичні, зазвичай являють собою два різні середовища, що складаються з рідини і наповнювача, який утворює просторову силову структуру.

За прикладанням певного напруження таке середовище поводить себе подібно до твердого тіла, практично не деформуючись до досягнення граничного значення. Після перевищення цієї межі просторова силова структура руйнується, і під дією навантаження матеріал починає текти, подібно до рідини.

До середовищ із подібними властивостями належать: тваринні масла, маргарин, сиркові маси, пасти, глинисті розчини, пластичні мастила.

Подібні середовища під час течії в каналах характеризуються наявністю поршнеподібного ядра потоку, всередині якого зсув майже відсутній або повністю відсутній.

Класифікацію машин для пакування пластичних продуктів у споживчу тару показано на рис. 11.2.

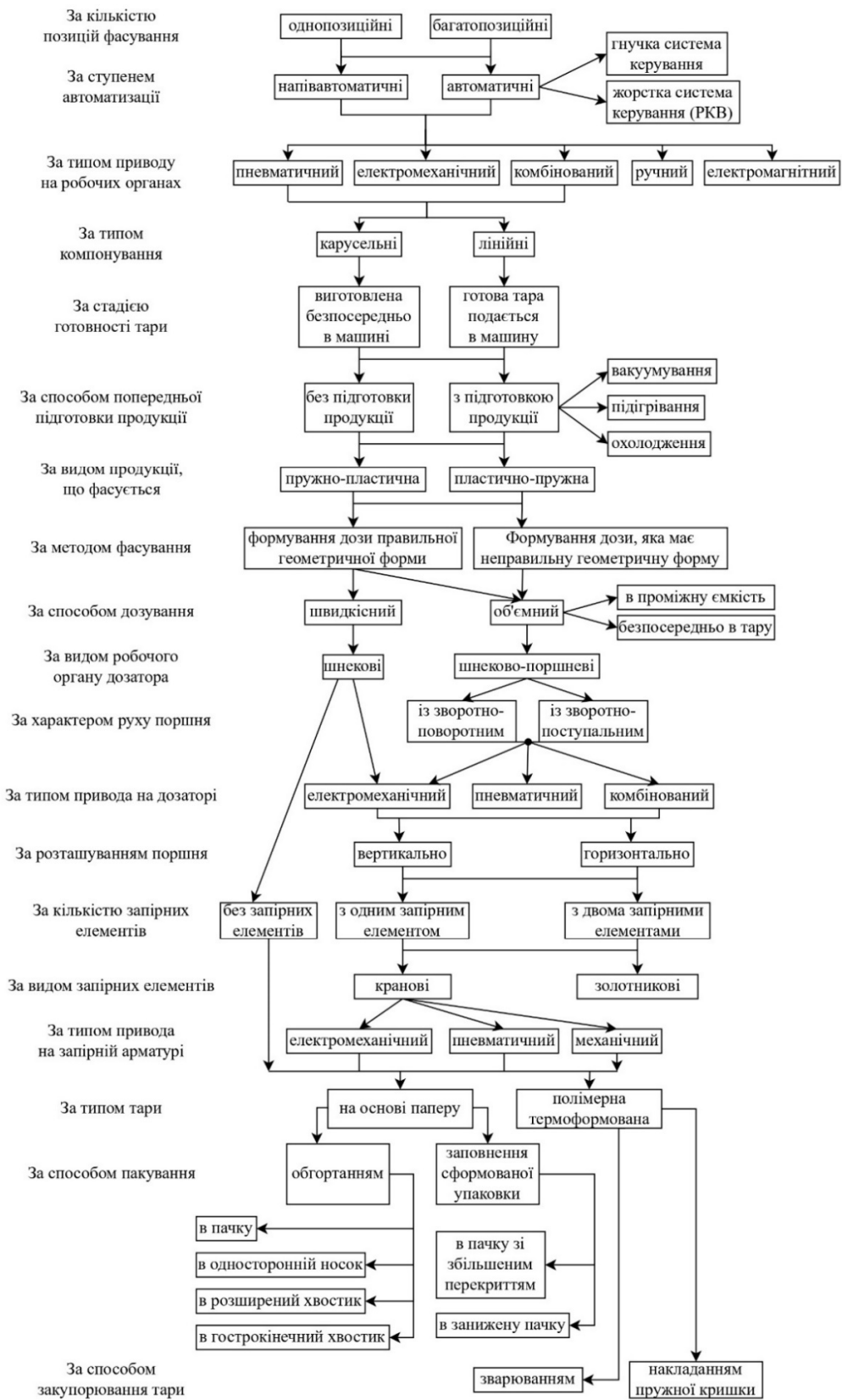


Рис. 11.2. Класифікація машин для пакування пластичних продуктів у споживчу тару

Для дозування пластичних середовищ здебільшого застосовують два типи робочих органів: шнекові та поршневі. Часто для зниження в'язкості необхідний підігрів матеріалу. Крім того, для відокремлення порції від наступної або від робочих органів застосовують відсікаючі пристрої.

Для фасування пластичних продуктів застосовують такі методи:

- 1) Виштовхування продукту у вигляді безперервного профілю (бруска, стрічки) з подальшим відрізанням поршня (рис. 11.3).
- 2) Виштовхування продукту в проміжні ємності з подальшим дозуванням порцій із них (рис. 11.4, 11.5).
- 3) Виштовхування відміряних порцій безпосередньо в тару.

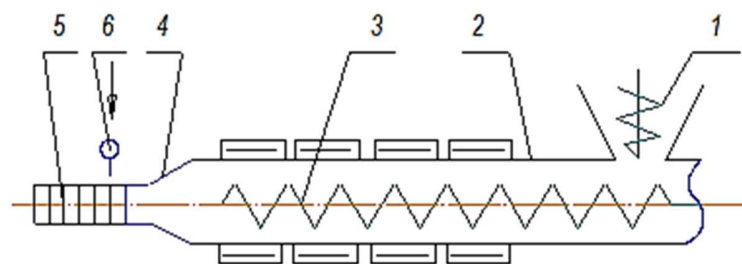


Рис. 11.3. Шнековий живильник безперервної дії: 1 – бункер із механізмом подачі; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – формуюча головка; 5 – матеріал; 6 – ріжучий пристрій (частіше всього у вигляді струни)

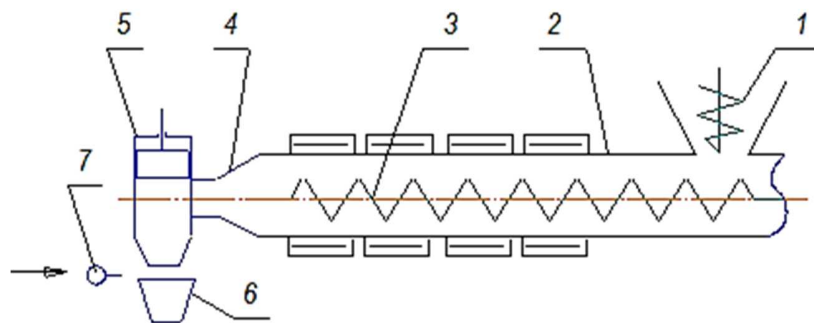


Рис. 11.4. Шнековий дозатор із проміжною ємністю: 1 – бункер із механізмом подачі; 2 – корпус; 3 – шнек; 4 – формуюча головка; 5 – проміжна ємність з поршневим витісненням; 6 – тара; 7 – відсікач

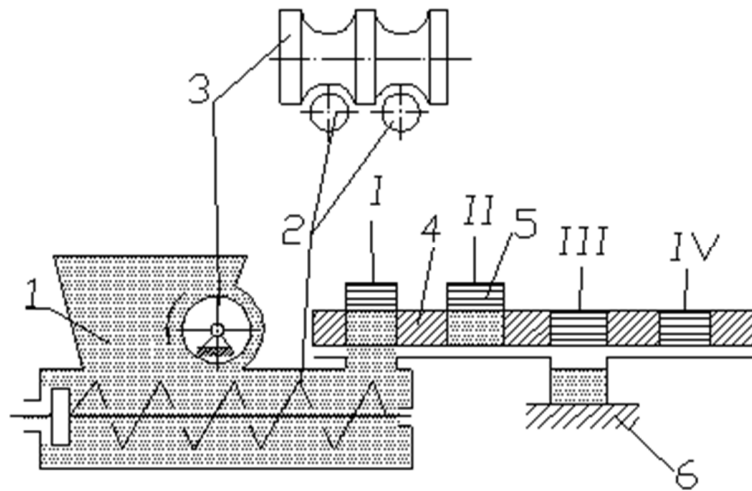


Рис. 11.5. Шнековий дозатор для харчових продуктів (пояснення в тексті)

Матеріал невеликими шматками завантажується в бункер 1 і за допомогою фігурного барабана 3 та здвоєних шнеків 2 випресовується в гніздо формувального столу 4 (на рисунку він умовно розгорнений) під поршень 5. Стіл 4 періодично обертається на 90° разом із поршнем. У позиції I відбувається заповнення форми продукцією, позиції II і IV є проміжними, а в позиції III – видача сформованого брикета поршнем 5 на обертovu карусель 6. Відокремлення сформованого брикета від поршня здійснюється ножом зі струни.

На рисунку 11.6 показано схему автоматичного дозувального пристрою для фасування в'язких пастоподібних речовин із поворотним золотником у двох крайніх положеннях.

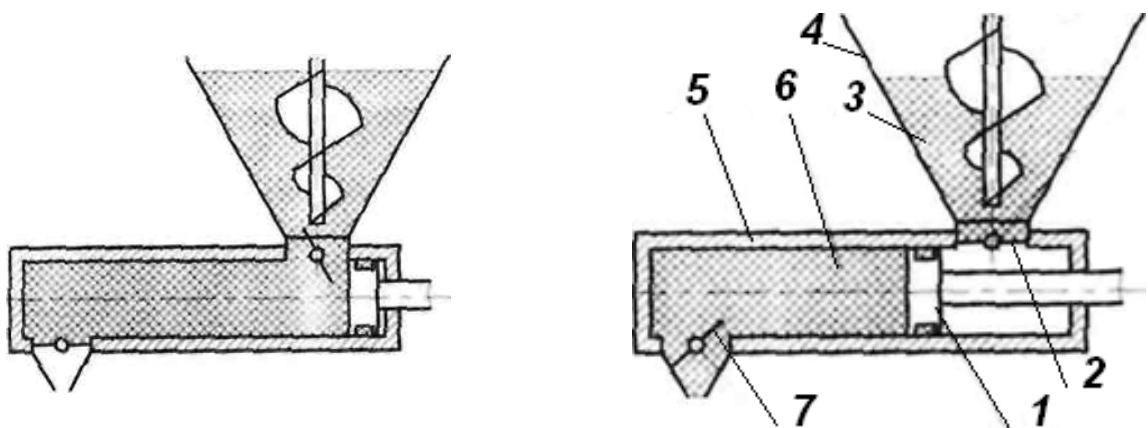


Рис. 11.6. Схема золотникового поршневого дозатора (позиції в тексті)

Пристрій працює таким чином: під час зворотного ходу поршня 1 поворотний золотник 2 перебуває у положенні всмоктування, і в'язкий продукт 3 із бункера 4 через канал у золотнику 2 надходить до корпусу 5. Після набору необхідної дози 6, що контролюється електронною системою керування, золотник

2 повертається у положення дозування. Після цього поршень виконує прямий хід, і відбувається дозування і фасування продукту через дозувальну головку із золотником 7.

Поршневий дозатор із двома клапанними відсікаючими пристроями показано на рис. 11.7.

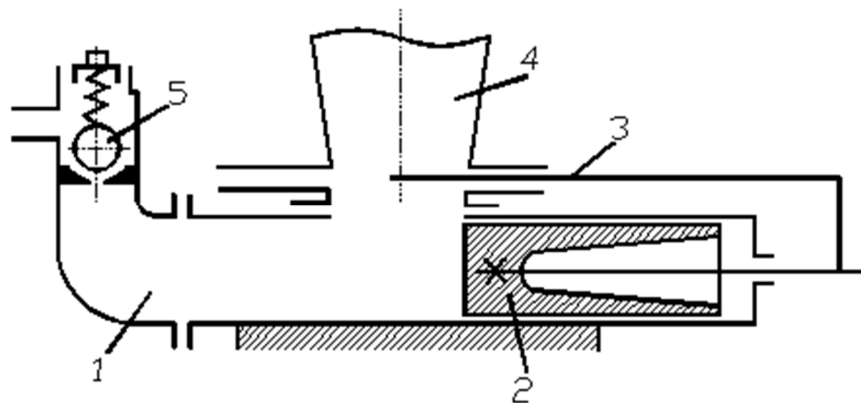


Рис. 11.7. Поршневий дозатор із клапанними відсікаючими пристроями:
1 – корпус; 2 – поршень; 3 – відсікач; 4 – бункер; 5 – зворотний клапан

Матеріал із бункера надходить у корпус 1 і заповнює його. Після цього подачу матеріалу припиняє відсікач 3, а поршень 2, рухаючись вліво, видавлює порцію матеріалу у вихідний патрубок. Зворотний клапан 5 запобігає зворотному затіканню матеріалу під час повернення поршня 2 у початкове положення.

У дозаторі, схема якого наведена на рис. 11.8, продукція завантажується в бункер 7 і за допомогою шнека зі скребком 2 нагнітається в горизонтальний циліндричний корпус 3. У корпусі дозатора встановлено фасонну поворотну пробку 4, а в бічному циліндричному патрубку – поршень 5. Крім того, корпус оснащений патрубком, до якого за допомогою кутового трубчастого шарніра приєднується випускний патрубок 6. Під час руху поршня вліво пробка займає положення, що відповідає поданій на схемі конфігурації.

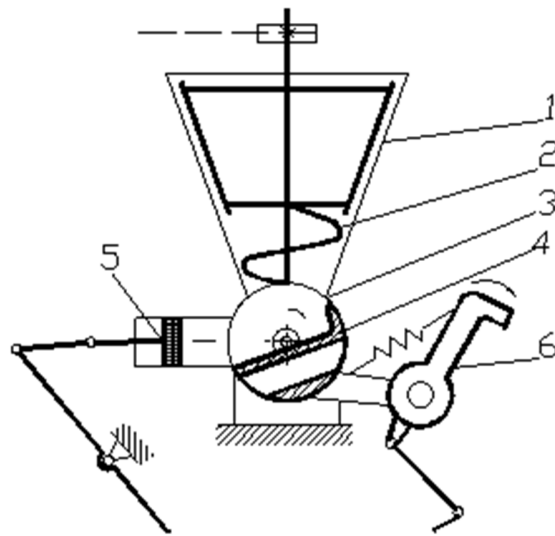


Рис. 11.8. Поршневий дозатор із фігурною пробкою

У такому положенні здійснюється заповнення порожнини продукцією. Об'єм продукції визначається ходом поршня. Потім пробка повертається за годинниковою стрілкою, з'єднуючи підпоршневий простір із випускним каналом. При переміщенні поршня вправо відміряна порція продукції видавлюється у патрубок, а далі – у споживчу тару.

12 Розрахунок дозаторів поршневого типу

Для дозування в'язких і пластичних продуктів переважно застосовують дозувальні пристрої поршневого типу. Розрахункова схема такого пристрою наведена на рис. 12.1.

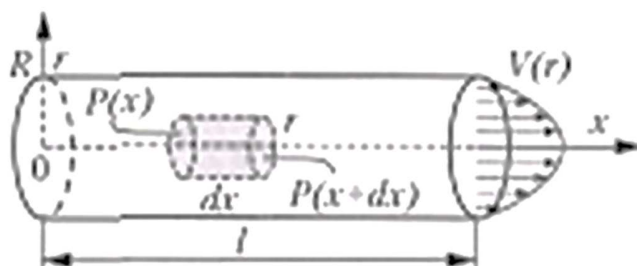


Рис. 12.1. Схема розподілу швидкостей по перерізу трубопроводу

На практиці розробники пакувального обладнання для розрахунку зусилля, необхідного для переміщення в'язких продуктів (див. рис. 12.1), користуються формулами, що описують ламінарний режим руху:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \mu \cdot l \cdot V}{\pi \cdot R^4},$$

для турбулентного режиму руху:

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

де Δp – потрібна різниця тисків, що створюється поршнем; μ – динамічна в'язкість продукту; V – задана продуктивність переміщення продукту дозувальним пристроєм; f – коефіцієнт тертя Дарсі-Вейсбаха (безрозмірний), залежить від числа Рейнольдса та шорсткості; l та R відповідно довжина та радіус магістралі, по якій переміщується продукт.

Перехід від ламінарного до турбулентного режиму руху рідини визначається за значенням числа Рейнольдса, яке називають критичним $Re_{кр}$. При цьому важливо зазначити, що робота пристрою в умовах ламінарного режиму є однією з основних вимог до пакувального обладнання. Це, зокрема, стосується конструктивних особливостей приводу дозатора.

Значення $Re_{кр}$ знаходиться в межах від 1200 до 20000 і залежить від багатьох факторів, зокрема: геометрії каналів дозувального пристрою, якості обробки поверхонь, характеру зміни напрямку руху продукту, форми вихідного каналу, тощо. Слід зауважити, що зі збільшенням в'язкості продукту за однакових умов,

значення $Re_{кр}$ зростає. Це пояснюється тим, що сили в'язкості «гасять» коливання потоку в поперечному напрямку. Важливо також зазначити, що швидкість руху продукту в поперечному перерізі не є сталою величиною, а розподіляється за певним законом, який залежить від в'язкості. В'язкість, у свою чергу, для неньютонівських рідин є функцією градієнта швидкості: $\mu = f(\dot{\gamma})$.

Для дозатора поршневого типу швидкість переміщення продукту є пропорційною до швидкості руху поршня, а отже – залежить від заданого закону його переміщення. Закони руху поршня, у свою чергу, значною мірою визначаються типом приводу дозатора. Так, пристрій із механічним приводом дозволяє реалізувати кілька характерних законів руху (криві 1, 2 на рис. 12.2), тоді як при використанні пневматичного приводу закон руху відповідає кривій 3. Максимальна швидкість переміщення продукту при використанні приводу кривошипно-шатунного типу (крива 1) суттєво перевищує середню швидкість, необхідну для забезпечення заданої продуктивності, що зумовлено конструктивними особливостями приводу. Це призводить до зростання значення коефіцієнта місцевих опорів, може спричинити турбулізацію потоку та, відповідно, збільшення зусилля, необхідного для переміщення продукту (при подальшому зменшенні швидкості потік залишається турбулентним протягом тривалого часу). У разі використання кулачкових механізмів (крива 2) можливо реалізувати закон руху, наближений до закону руху при пневматичному приводі. Проте механізми цього типу мають обмеження щодо забезпечення плавного регулювання дози. Дозування продукту з вищою в'язкістю, ніж передбачено в технічних характеристиках дозатора з механічним приводом, або збільшення продуктивності обладнання шляхом скорочення часу видачі дози можуть призвести до миттєвого виходу дозатора з ладу чи суттєвого скорочення його ресурсу через значне зростання зусилля на поршні. Застосування пневматичного приводу забезпечує реалізацію оптимального закону руху під час дозування різних видів в'язких продуктів.

Час, за який поршень дозатора досягає сталої швидкості, залежить від тиску в пневмоциліндрі, геометрії дозатора та в'язкості продукту, і в середньому становить 0.05 – 0.15 с. Регулювання об'єму дози здійснюється за допомогою механічного обмеження ходу штока пневмоциліндра. Заміна продукту на продукт більш в'язкий призводить до зниження продуктивності дозатора, але не викликає його виходу з ладу.

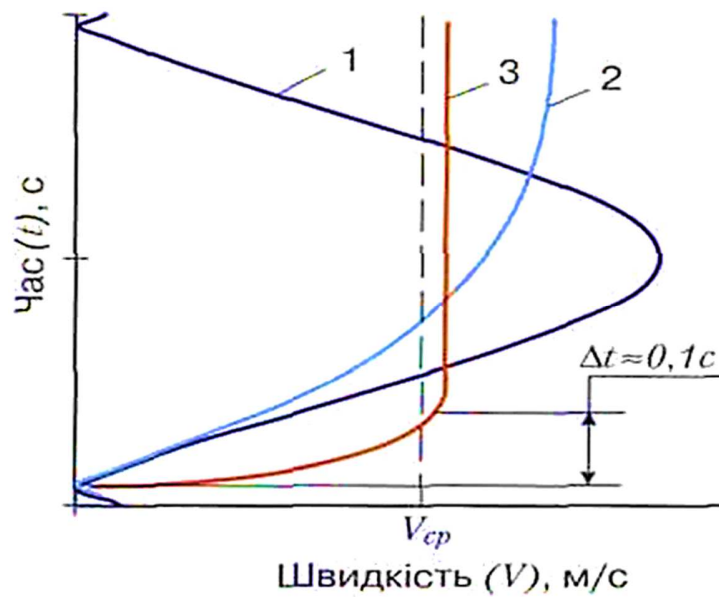


Рис. 12.2. Закони руху робочого органу дозатора: 1 – кривошипно-шатунний привід; 2 – кулачковий привід; 3 – пневматичний привід

Щодо вибору приводу слід зазначити, що дозувальний пристрій із механічним приводом, поряд із такими перевагами, як відносно невисока вартість, здатність працювати з продуктами високої в'язкості, знижений рівень шуму під час роботи та нижча вартість технічного обслуговування, має і низку суттєвих недоліків: наявність змащувальних матеріалів, велика кількість пар тертя, складність переналагодження та обмежені можливості модернізації обладнання. На відміну від дозатора з механічним приводом, дозувальний пристрій із пневматичним приводом відзначається вищою надійністю, є більш технологічним в експлуатації та обслуговуванні завдяки реалізації оптимального закону руху поршня. При цьому максимальна швидкість переміщення продукту (крива 3 на рис. 12.2) наближено відповідає необхідній для заданої продуктивності, що дозволяє досягати вищої продуктивності без втрати якості продукції та точності дозування. До недоліків такого дозувального пристрою слід віднести дещо вищу вартість та технологічну складність дозування продуктів із високою в'язкістю при одночасному забезпеченні заданої дози й продуктивності.

13 Особливості дозування у вакуумній, асептичній упаковці та упаковці в модифікованому газовому середовищі

Процес вакуумного пакування полягає у розміщенні продукту в лотку або у відкритому пакеті в середині камери, де створюється вакуум з розрідженням не менше 5,0 – 7,5 мм рт. ст. Після чого упаковка герметизується зварюванням. Далі, після відновлення в камері атмосферного тиску, готовий виріб виймається з апарата. За конструктивним виконанням вакуумні пакувальні апарати можуть бути адаптовані як для пакування продукції у заздалегідь виготовлені лотки, так і в полімерні пакети.

Під час пакування в камеру розміщують пакет із продукцією так, щоб його зварювані кромки були розташовані на нижній зварювальній лінійці (рис. 13.1). Після закриття кришки в камері створюється вакуум; за потреби пакет додатково заповнюється модифікованою газовою сумішшю. Нижня зварювальна лінійка підводиться, притискає кромки пакету до верхньої лінійки, після чого виконується електроімпульсне зварювання. Після охолодження зварювального шва нижня лінійка автоматично опускається, здійснюється напуск атмосферного повітря та відкривається кришка.

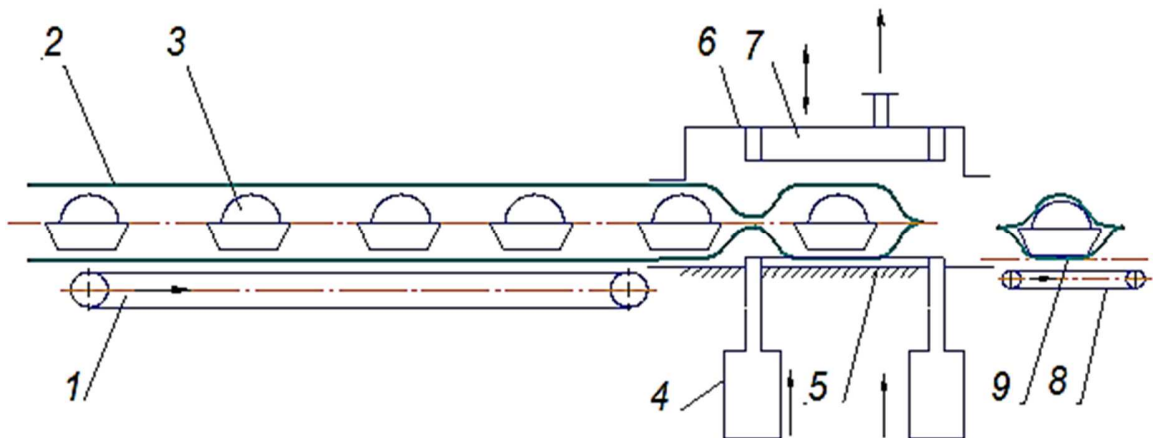


Рис. 13.1. Схема вакуумного пакування: 1 – подавальний конвеєр; 2 – U-подібна плівкова заготовка; 3 – упаковані порції; 4, 7 – зварювальні ножі; 5 – вакуумний пристрій; 6 – кришка, що герметизує; 8 – відвідний конвеєр; 9 – готовий упакований виріб

Розглянемо систему вакуумного пакування, що включає вакуумний насос 1, трубопровід 2, вакуумну камеру 3 з клапаном 4 (рис. 13.2).

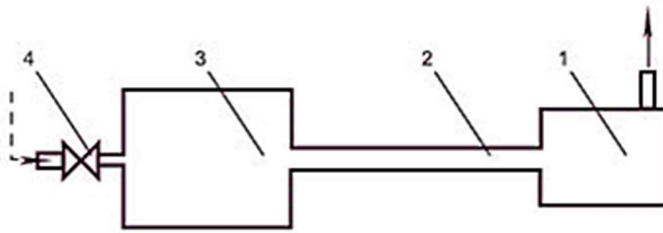


Рис. 13.2. Схема вакуумної системи

При відкритому клапані в системі виникає потік газу Q , спрямований в напрямі від клапана до насоса. Цей потік не змінюється в часі і при постійній температурі величину Q можна виразити, як прийнято у вакуумній техніці, в одиницях $p \cdot V$ (Па·м³/с), тобто: $Q = p \cdot V$, де V – об'єм газу, що проходить через будь-який переріз системи за одиницю часу, а p – тиск в цьому перерізі. Таким чином, потік газу Q є об'ємною витратою, приведенною до одиничного тиску.

При закритому клапані відбувається відкачування газу з вакуумної камери. Згідно із законом Бойля–Маріотта, який стверджує, що при постійній температурі добуток тиску газу в закритій посудині на об'єм газу залишається величиною сталою, швидкість відкачування S газу при тиску P визначається як об'єм газу, що видаляється із системи за одиницю часу, тобто:

$$S = P = \frac{Q}{P},$$

де Q – потік газу в одиницях ($p \cdot V$), що створюється насосом. Очевидно, S і V мають розмірність об'єму в одиницю часу (наприклад, л/с).

Тривалість відкачування можна визначити, нехтуючи опором в трубопроводі і вважаючи швидкість відкачування S постійною. Тоді при дуже малому граничному тиску P_0 можна рахувати $S = S_1$, $Q = p \cdot S_1$ і час відкачування до заданого тиску P :

$$\tau = \frac{V}{S} \cdot \ln\left(\frac{P_i}{P}\right),$$

де P_i – тиск при $\tau = 0$ (зазвичай атмосферний).

Тут: час τ в с, об'єм V в літрах, швидкість – л/с.

Пакування в асептичному виконанні (з попередньою стерилізацією) зазвичай включає три основні стадії:

- 1) стерилізація пакувального матеріалу;
- 2) стерилізація продукту, що підлягає пакуванню;

3) фасування і герметичне запечатування тари.

Частіше за все продукт і пакувальний матеріал стерилізуються окремо, а операції фасування та герметичного запечатування здійснюються в умовах стерильного середовища.

Стерилізація пакувального матеріалу може виконуватися:

- хімічними методами – із застосуванням перекису водню, озону, оцтової кислоти, тощо;
- фізичними методами – шляхом термообробки, ультрафіолетового (УФ) або інфрачервоного (ІЧ)-випромінювання.

Стерилізація продукту, що підлягає пакуванню, найчастіше здійснюється фізичним методом.

Верх упаковки перед закупорюванням може обдуватися струменем інертного газу з метою видалення залишкового повітря.

Особливості дозування в газовому середовищі

Розрізняють такі основні різновиди пакування продукції в газовому середовищі:

1. У штучному газовому середовищі (середовищі інертного газу, частіше за все це азот).
2. У регульованому газовому середовищі.
3. У модифікованому газовому середовищі.

Регульоване газове середовище – це повітря зі зміненим співвідношенням газових компонентів, отриманим шляхом пропускання повітря через газові мембрани, які вибірково пропускають або затримують окремі гази, а також виконують функцію бар'єра для бактерій.

Модифіковане газове середовище — це спеціально підібрана суміш газів із заданим співвідношенням компонентів, яка створюється для уповільнення псування продукту, збереження його органолептичних властивостей та продовження терміну зберігання.

Даний метод передбачає заміну повітря всередині упаковки сумішшю газів заданого складу, який визначається видом продукту та особливостями його зберігання. Правильно підібрана газова композиція істотно сповільнює фізико-хімічні та мікробіологічні процеси, що зумовлюють поступове псування упакованого продукту. Як основні гази, що використовуються в системах з модифікованим газовим середовищем, застосовують азот (N_2), кисень (O_2) та діоксид вуглецю (CO_2). Діоксид вуглецю, зазвичай у концентрації понад 20 %, характеризується вираженими антибактеріальними властивостями, що пригнічують розвиток бактерій, плісняви та грибків. Кисень у більшості випадків намагаються виключити через його здатність ініціювати процеси окислення та псування продуктів. Водночас, при пакуванні окремих продуктів, наприклад м'яса, наявність кисню є необхідною для збереження кольору та свіжого вигляду, що передбачає його вміст у газовій суміші до 80 %.

14 Устаткування для пакування штучних виробів

Пакування штучних виробів передбачає виконання ряду послідовних операцій: вилучення виробів із маси, розміщеної у витратному бункері; орієнтування та встановлення їх у необхідне положення; відсікання окремого виробу або порції; переміщення у підготовлену тару; укупування та маркування тари.

Класифікацію пакувальних пристроїв для штучних виробів наведено на рис. 14.1.

Устаткування для пакування в плівкову упаковку розподіляється на:

1. Устаткування для пакування в термоусадочну плівку. Суть процесу полягає в тому, що упаковуваний предмет або група предметів обертається плівкою (або поміщається в рукав або пакет з плівки), яка, завдяки ефекту пам'яті, під дією зовнішніх факторів, зазвичай нагріву, усаджується, зменшуючись у розмірах. Таким чином плівка щільно обтягує предмети, надійно їх фіксує.

2. Устаткування зі згортанням пакетів. Розрізняють вертикальне та горизонтальне устаткування, пакети можуть формуватися з одного рулону або двох рулонів, а також бути комірцевими чи безкомірцевими. Після формування упаковка повинна щільно обтягувати виріб, забезпечуючи його нерухомість, але без надмірного затискання, щоб уникнути деформації.

3. Пристрої для роторного пакування. Процес пакування полягає в обертанні (вручну або за допомогою механізмів) окремих предметів або групи предметів спеціальною плівкою, яка при обертанні дещо розтягується, а потім, повертаючись до первинних розмірів, щільно обтягує предмет.

Матеріал пакування обирається залежно від вимог до збереження властивостей продукції. Часто використовують багатошарові матеріали.

Шар, що піддається зварюванню, повинен складатися з ПЕНГ або ПВА.

Шар, що протистоїть проникненню газу (бар'єрний шар) – з поліамідів, ПВДХ, або сополімеру етилену і вінілового спирту.

Шар, непроникний для водяної пари (паронепроникний шар) – з ПЕ або ПЕТ.

Шар для світлонепроникності (світлонепроникний шар) зазвичай виконують з алюмінієвої фольги

Автоматизований пристрій для пакування штучної продукції повинен включати механізми для відокремлення виробу, його орієнтування, а також подачі продукції та тари. Класифікацію обладнання для пакування штучних виробів наведено на рис. 14.1.

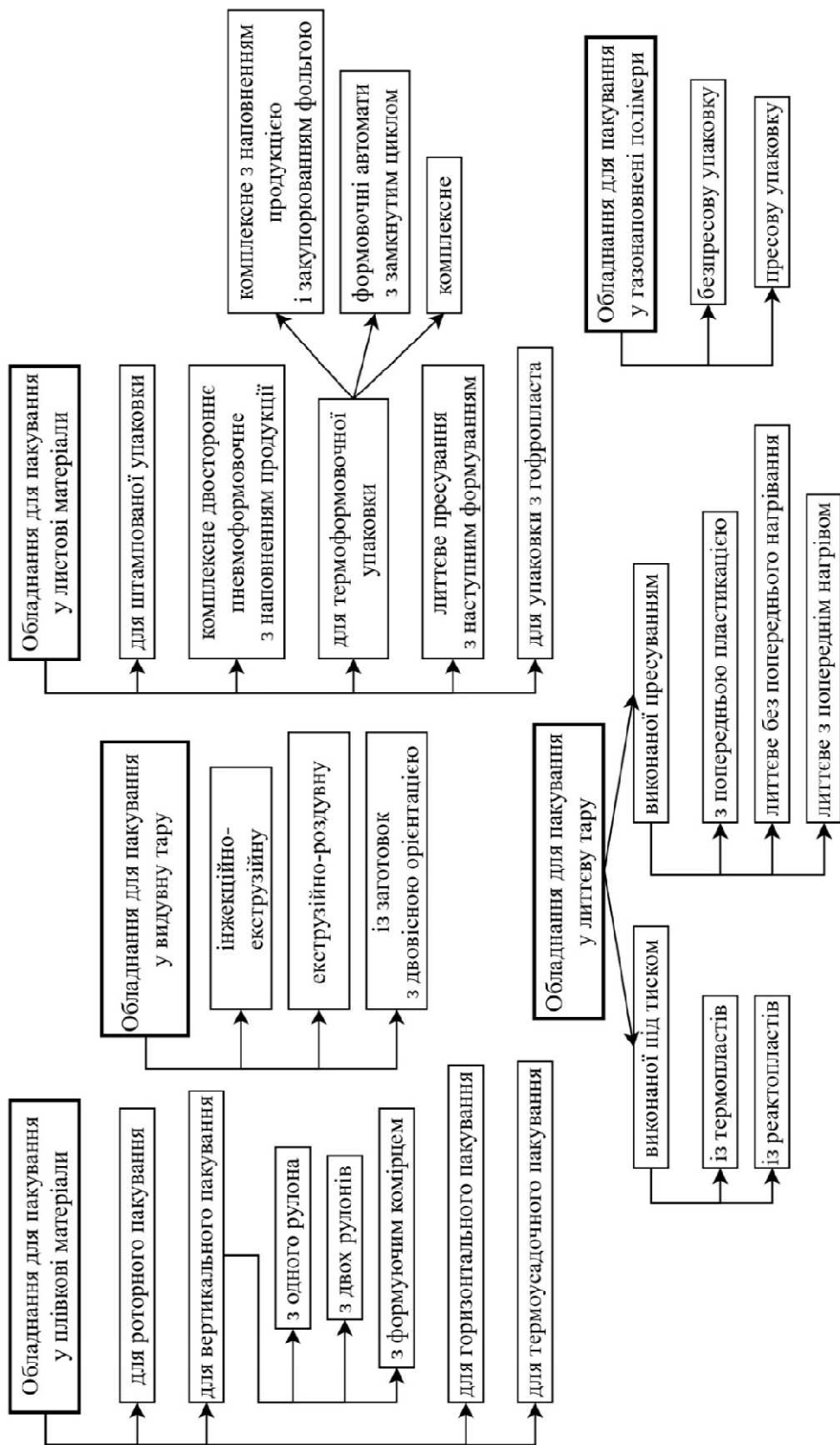


Рис. 14.1. Класифікація обладнання для пакування штучних виробів

Найчастіше вакуумне пакування сипких і штучних матеріалів здійснюється одночасно з формуванням тари (вакуумна упаковка продуктів у термоусадочну плівку).

Схему вакуумного пакування штучних виробів у термоусадочну плівку показано на рис. 14.2.

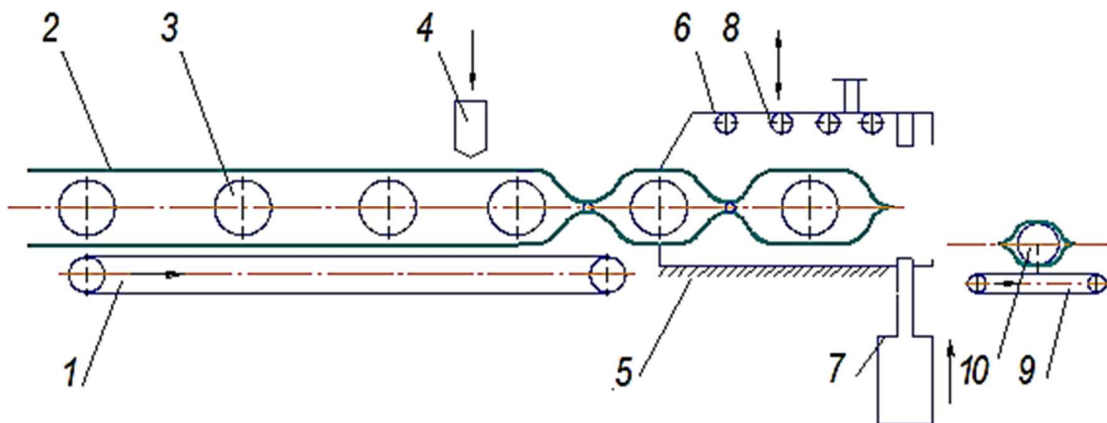


Рис. 14.2. Схема вакуумного пакування: 1 – подавальний конвеєр; 2 – рукавна плівкова заготовка; 3 – упаковувані предмети (порції); 4, 7 – зварювальні ножі; 5 – вакуумний пристрій; 6 – кришка, що герметизується; 8 – нагрівач; 9 – відвідний конвеєр; 10 – упакований предмет

На подавальний конвеєр 1 (рис. 14.2) надходить плівкова заготовка 2 у вигляді рукава. Якщо використовується дві окремі стрічки плівки, вони зварюються подовжніми зварювальними пристроями. Всередину плівкової заготовки подається порція фасованої продукції 3. Зварювальний ніж 4 опускається на заданий час, здійснюючи зварювання упаковки з одного боку та відрізання з іншого. Потім заготовка потрапляє у вакуумний пристрій 5, кришка 6 герметично закривається, і пристрій видаляє з нього повітря. Одночасно під впливом нагрівача 8 плівкова заготовка розм'якшується і стискається, щільно обтягуючи вміст. Після цього зварювальний ніж 7 зварює другий торець упаковки.

Живильники та завантажувачі для штучної продукції

Живильники включають три види функціональних механізмів:

- орієнтуючі механізми (орієнтатори) – забезпечують правильне положення виробів для подальшої упаковки;
- механізми накопичення (накопичувачі) – створюють запас виробів для безперервного процесу пакування;
- відсікачі – відокремлюють необхідну кількість виробів для однієї упаковки.

Бункерні орієнтуючі пристрої (БОП) застосовуються для орієнтування та поштучної видачі таблеток, дрібних виробів із жорстких пластмас нескладної форми (шашок, різноманітних елементів тари – кришок, ковпачків, прокладок, а також дрібних гумових виробів і ін.). БОП автоматичної дії слід використовувати у всіх випадках, що допускають насипання у ємність навалом із взаємним перемішуванням.

Схеми орієнтуючих пристроїв, заснованих на різних принципах, показано на рис. 14.3 – 14.4.

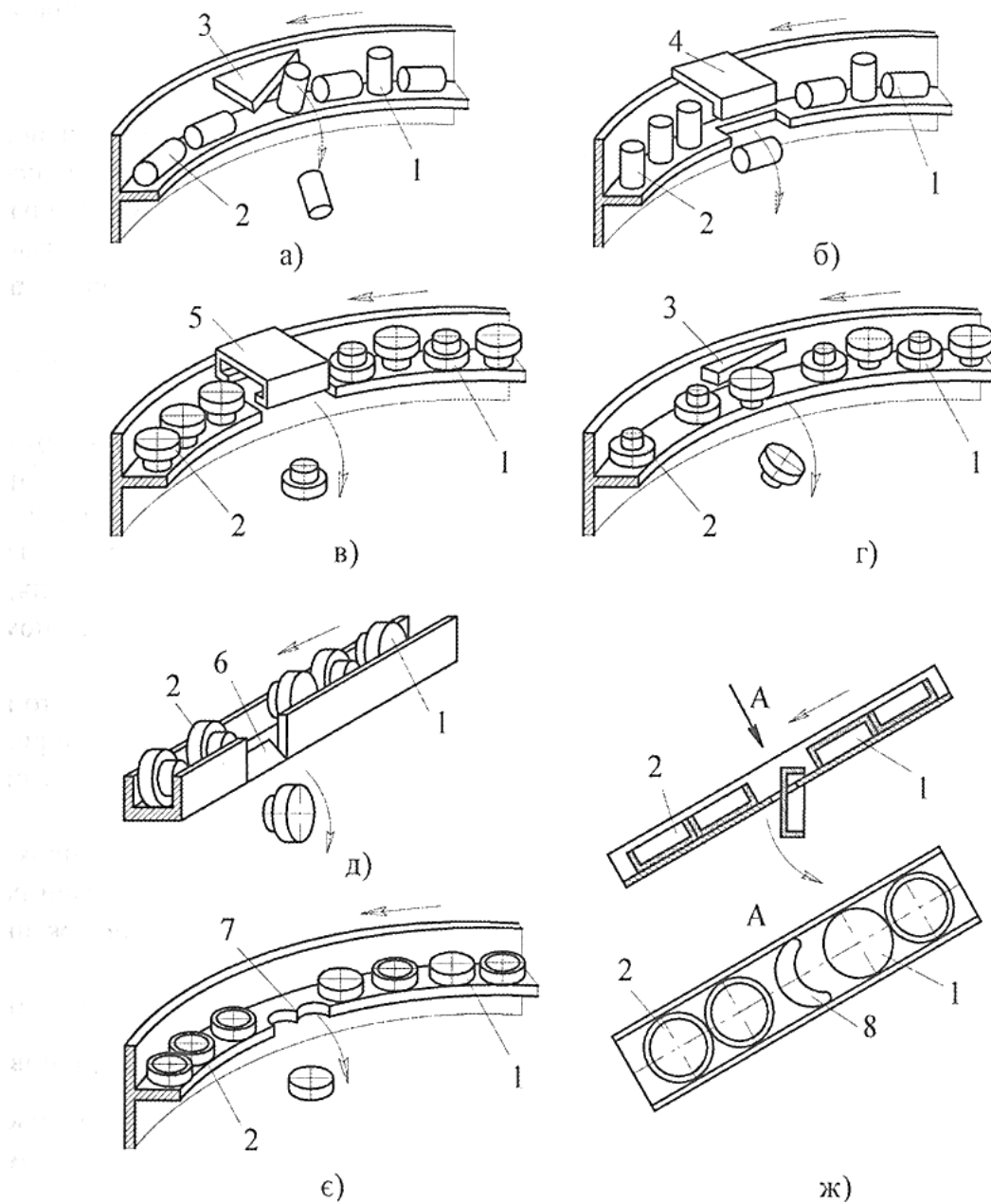


Рис. 14.3. Пристрої для пасивного орієнтування деталей типу тіл обертання на лотках

У *вібраційних* БОП вироби рухаються під дією обертально-коливального руху по гвинтовому лотку в чаші. По ходу руху до вихідного лотка пропускаються лише ті вироби, які знаходяться у потрібному положенні для видачі. Інші вироби або скидаються спеціальними упорами назад у бункер, або переводяться в необхідне положення при потраплянні на нижчий лоток.

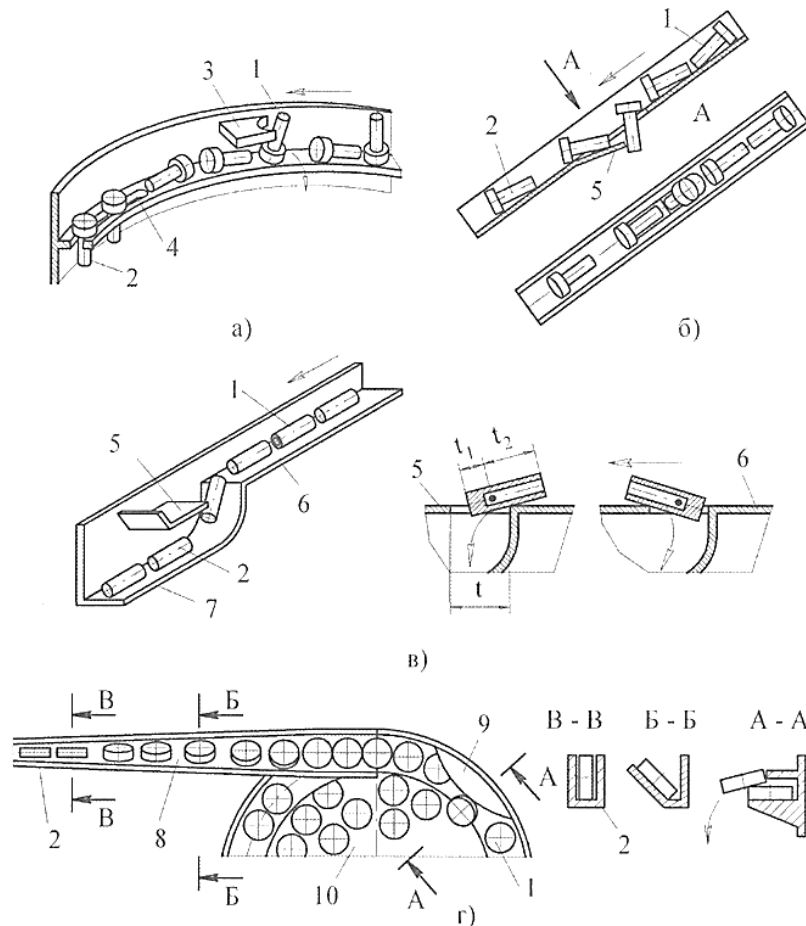


Рис. 14.4. Приклади активного орієнтування на лотках: 1 – деталь до орієнтації; 2 – деталь після орієнтації; 3 – козирок; 4 – паз у лотку; 5, 6 – розділений лоток; 7 – приймальний лоток; 8 – прямий спіральний лоток; 9 – обмежувач; 10 – вібробункер

У *дискових фрикційних* БОП вироби потрапляють на диск, що безперервно обертається, і під дією сил тертя та відцентрової сили відкидаються до стінки чаші. На одній з ділянок стінки є відсікальна планка, яка може пропустити у вихідний лоток, розташований дотично до стінки, лише один шар виробів. Такі БОП ефективно використовуються для орієнтування плоских круглих виробів, зокрема неглибоких кришок, прокладок та подібних елементів.

У *барабанному живильнику* вироби потрапляють на сепаратор, що безперервно обертається і складається з каналів через які вони можуть проходити лише в певному положенні. Орієнтація виробів забезпечується

відповідними конусами і виступами. Виріб, що пройшов канал, потрапляє у лоток і направляється в накопичувач. Якщо виріб не пройшов канал через неправильну орієнтацію, він підіймається сепаратором вгору і потрапляє в новий канал. Ці види БОП використовуються для орієнтування виробів типу ковпачків.

У *дискових кишеньових* БОП вироби орієнтуються за допомогою диска, що обертається, у якому виконані вирізи-кишені. Кожна кишеня має форму, що дозволяє захопити лише один виріб у потрібному положенні. Захоплений виріб переміщується диском у верхню частину похилої до горизонту чаші, де він випадає в отвір дна чаші і потрапляє в лоток зберігаючи отриману орієнтацію. Такі пристрої застосовуються для видачі різних виробів, які можуть бути орієнтовані по зовнішній поверхні.

Вібраційні лотки використовуються для багатопотокової видачі виробів у орієнтованому положенні з бункера, куди вони були насипані навалом. Рух виробів забезпечується коливальним рухом лотка, розташованого під певним кутом до горизонту.

Магазини виконують роль живильників, якщо відсутнє автоматичне орієнтування, і накопичувачів – у всіх варіантах механізованої упаковки штучних виробів або подачі тари. Магазини-живильники передбачають ручне завантаження виробів в орієнтованому стані. Магазини-накопичувачі отримують орієнтовані в БОП вироби і передають їх на позицію заповнення тари. Магазини бувають лоткові, ящикні, дискові і шахтні.

Схеми магазинних завантажувальних пристроїв (МЗП) показано на рис. 14.5 – 14.7.

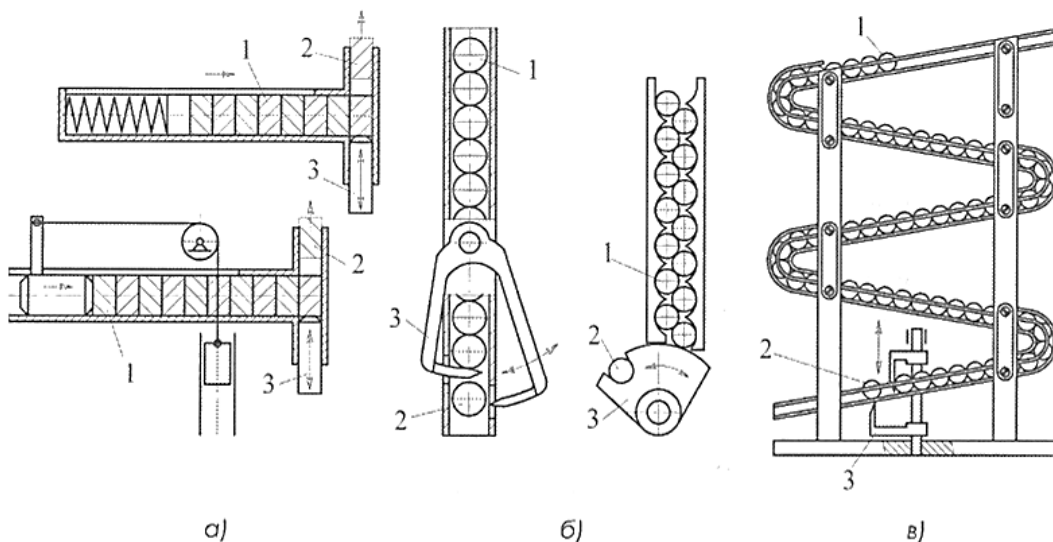


Рис. 14.5. Принципові схеми лоткових магазинних завантажувальних пристроїв:
 а – механізми з пружинним та гравітаційним штовхачем; б – механізм з почерговим переміщенням; в – механізм зі спіральним підйомником (1 – заготовка в МПЗ; 2 – заготовка на виході з МПЗ; 3 – відсікач)

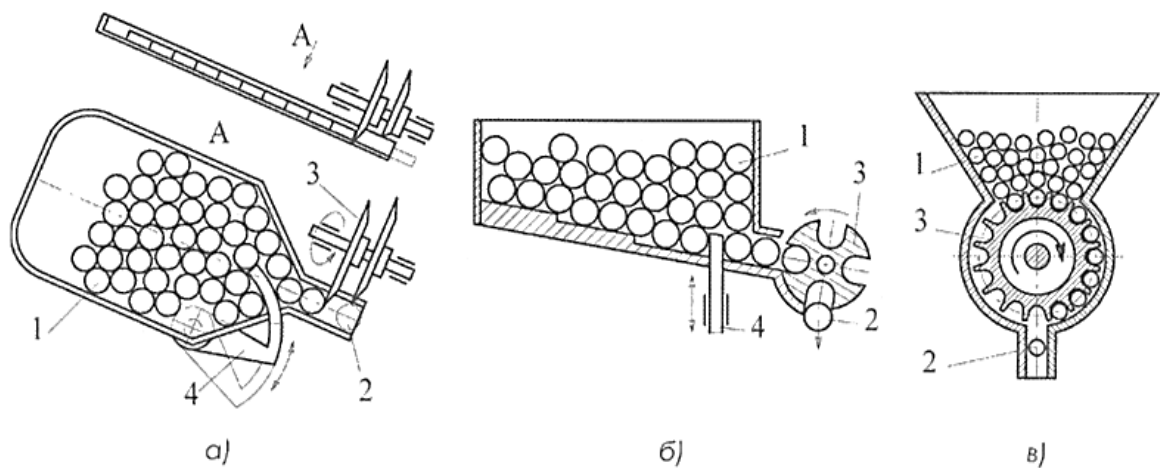


Рис. 14.6. Принципова схема штабельних магазинних завантажувальних пристроїв:
 а – механізм з поворотним сектором; б – механізм з дозувальним колесом;
 в – механізм зі шлюзовим живильником (1 – заготовка в МЗП; 2 – заготовка на виході з МЗП; 3 – відсікач; 4 – ворушитель)

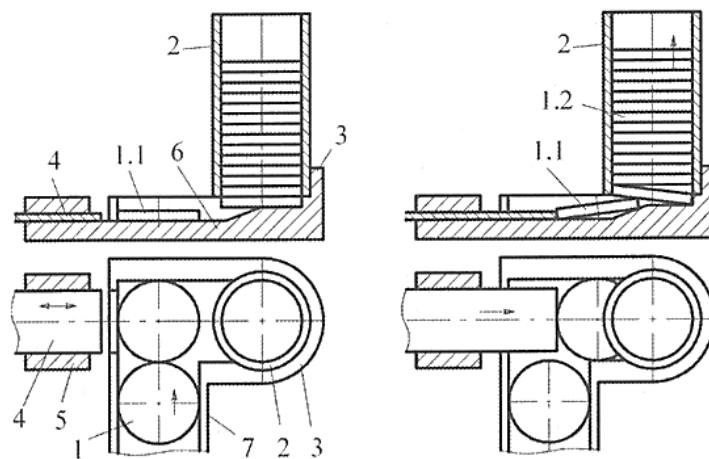


Рис. 14.7. Завантаження шахтових касет шибєрним живильником: 1 – деталь;
 2 – касета; 3 – гніздо касети; 4 – шибєр; 5 – напрямна; 6 – корпус;
 7 – транспортний лоток

Відсікачі призначені для відокремлення з загального потоку орієнтованих виробів поодинці або по групі (порції), що направляються в тару. Розрізняють три типу відсікачів: штифтові, дискові (або барабанні) та шнекові.

Завантажувачами називають пристрої для подачі виробів і тари на позицію пакування і переміщення виробів в тару. Виконавчими пристроями завантажувачів є захвати. Вони можуть бути механічними, пневматичними, вакуумними і комбінованими.

Механічні захвати з важільними передавальними механізмами показані на рис. 14.8. Захват для циліндричних деталей 10 (рис. 14.8,а) складається з корпуса

9, на осі 8 якого встановлені два симетричні важелі 3 з захватними губками 7 і пневматичного приводу 1. На штоці 4 жорстко закріплена планка 5, яка шарнірно зв'язана з верхніми кінцями важелів 3 тягами 2. До нижніх кінців цих важелів закріплені тримачі 6 захватних губок 7. Конструктивною особливістю такого захвата є можливість переналадки його для роботи з об'єктами різних форм і габаритних розмірів. Для цього передбачена можливість переміщати тримачі 6 вздовж важелів 3, переставляти тягу 2 в інші отвори планки 5, а також замінювати тримачі і губки.

На рис. 14.8,б показано захват з поступальним переміщенням губок для захвату виробів по плоских поверхнях. У нерухомому корпусі 9 встановлено рухомий від приводу (не показаний) шток 4 з планкою 5. До цієї планки на осях 8.1 і 8.2 закріплені важелі 2 і 3. Внутрішні кінці важелів 1 закріплені до корпуса 9 на осях 8.3, а зовнішні – до важелів 2. До зовнішніх кінців важелів 2 і 3 шарнірно приєднані тримачі 6 з захватними губками 7. Елементи 2, 3, 5 і 6 утворюють важільні паралелограми, які при переміщенні штока 4 забезпечують поступальне переміщення губок.

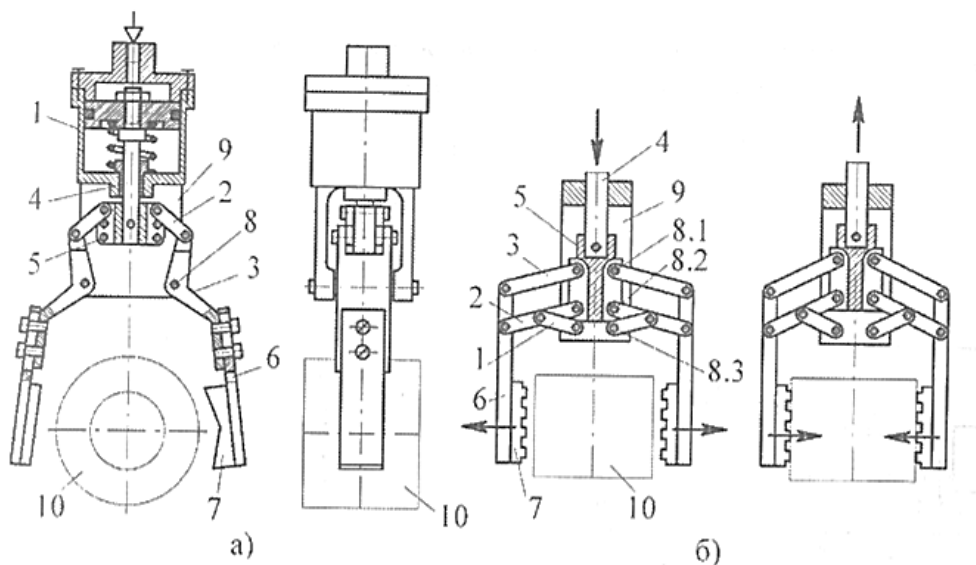


Рис. 14.8. Механічні захвати з важільними передавальними механізмами:
а – захват для циліндричних деталей; б – захват для плоских виробів

У вакуумних захватних пристроях захоплення і утримування виробів при маніпулюванні ними здійснюється за рахунок сили атмосферного тиску при створенні вакууму в елементах захвата. Основним елементом вакуумного захвату є присмоктувач, який конструктивно в залежності від властивостей об'єкту маніпулювання може мати різноманітні технічні рішення. Деякі з них показані на рис. 14.9.

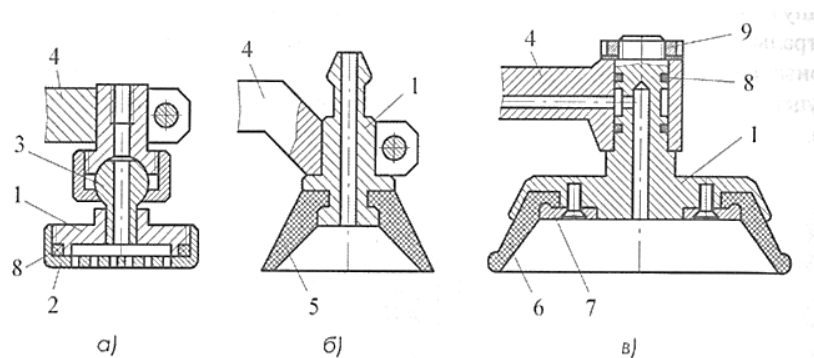


Рис. 14.9. Конструкції вакуумних захватів: 1 – корпус; 2 – перфорована кришка; 3 – кульовий шарнір; 4 – рука автооператора; 5, 6 – гумові присмоктувачі; 7 – накладка; 8 – ущільнювач; 9 – гайка а – захват із жорсткою вакуумною камерою, б – захват невеликого розміру з еластичним ущільненням, в – захват великого розміру з еластичним ущільненням

Одним із найпростіших є захват із жорсткою вакуумною камерою (рис. 14.9,а), яка утворена корпусом 1 і перфорованою кришкою 2. Такі захвати призначені для захвату і утримання плоских виробів з незначними відхиленнями поверхні від неплоскості і незначною шорсткістю поверхні. Тут для забезпечення площинного контакту захват кріпиться до руки автооператора через кульовий шарнір 3.

Вакуумні захвати з еластичним ущільненням показані на рис. 14.9,б і 14.9,в. Тут присмоктувачі 5 і 6 виготовлені із гуми або із полієфіуретанових композицій. Присмоктувачі невеликих розмірів герметично кріпляться до корпусу за рахунок пружності матеріалу (рис. 14.9,б), присмоктувачі великих розмірів – за допомогою гвинтових з'єднань з накладками 7 (14.9,в).

Для підвищення точності позиціонування гумовий присмоктувач у місці закріплення до корпусу повинен мати більшу жорсткість, ніж у зоні контакту з об'єктом маніпулювання. Цю вимогу задовольняють ущільнення із змінною по висоті площею перетину.

Для захоплення порівняно великих виробів і (або) виробів складної форми захватний пристрій компонується із декількох присмоктувачів, які розміщують на загальній рамі.

Для переміщення упаковуваних предметів та подачі їх у рукав, що згортається, на машинах безперервної дії найчастіше використовують один із трьох пристроїв: вузький стрічковий конвеєр з ребрами, замкнутий ланцюг із наглухо встановленими пластинами-штовхачами та замкнутий ланцюг із штовхачами, встановленими з можливістю перестановки. Третій варіант є найбільш зручним з точки зору переналадки машини на різну довжину упаковуваних предметів.

Як відвідний пристрій ефективно використовується конструкція, що застосовується в машинах типу «флю-пак». Над відвідним стрічковим

конвеєром встановлюється кругла волосяна щітка. Рукав із предметами, виходячи від вузла поперечного зварювання, опиняється затиснутим між конвеєром і щіткою. Лінійна швидкість поверхонь конвеєра та щітки, якими затискається майбутня упаковка, встановлюється вищою, ніж лінійна швидкість робочих поверхонь губок на роторах поперечного зварювання. Дана конструкція забезпечує низку переваг. Відбувається швидке відведення готових упаковок від джерела тепла (зони зварювання), а завдяки натяжці матеріалу забезпечується якісніше відрізання. Крім того, у випадку неповного розрізу стрічка і щітка відокремлюють готову упаковку. При цьому, через невелику жорсткість щітки, виключається пошкодження упакованого продукту, і щітка, затискаючи упаковку, не перешкоджає стисненню шарів пакувального матеріалу губками поперечного зварювання.

Запитання для самоконтролю

1. Назвати стадії технологічного процесу пакування та обладнання для їх реалізації.
2. Навести класифікацію пакувального обладнання.
3. Навести класифікацію пристроїв дозування сипких продуктів.
4. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для вагового дозування сипких продуктів, вказати їх переваги та недоліки.
5. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для дозування сипких продуктів без рухомих робочих органів, вказати їх переваги та недоліки.
6. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для дозування сипких продуктів з поступальним рухом робочих органів, вказати їх переваги та недоліки.
7. Навести типові конструктивні схеми дискових та шлюзових пристроїв для дозування сипких продуктів, вказати їх переваги та недоліки.
8. Навести типові конструктивні схеми тарілчастих та шнекових пристроїв для дозування сипких продуктів, вказати їх переваги та недоліки.
9. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для дозування сипких продуктів коливальної дії, вказати їх переваги та недоліки.
10. Вказати критерії оцінки похибки дозування.
11. Навести класифікацію пристроїв дозування рідких продуктів.
12. Вказати принципи та використання методів дозування рідких продуктів за рушійною силою.
13. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для барометричного фасування рідких продуктів за об'ємом та вагою, вказати їх переваги та недоліки.
14. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для барометричного фасування рідких продуктів за рівнем, вказати їх переваги та недоліки.
15. Навести гідравлічні схеми заповнення тари рідкою продукцією, вказати їх переваги та недоліки.
16. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для фасування рідких продуктів у пляшки вакуумним способом, вказати їх переваги та недоліки.
17. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для фасування рідких продуктів у пляшки надбарометричним способом, вказати їх переваги та недоліки.
18. Вказати фізичні властивості в'язких продуктів та навести класифікацію пристроїв для їх дозування.
19. Навести типові конструктивні схеми пристроїв для дозування в'язких продуктів, вказати їх переваги та недоліки.
20. Вказати фізичні властивості пластичних продуктів та навести класифікацію пристроїв для їх дозування.
21. Навести типові конструктивні схеми шнекових пристроїв для дозування пластичних продуктів, вказати їх переваги та недоліки.

22. Навести типові конструктивні схеми поршневих пристроїв для дозування пластичних продуктів, вказати їх переваги та недоліки.

23. Вказати особливості вакуумного, асептичного пакування та пакування в зміненому газовому середовищі.

24. Навести класифікацію і вказати типові конструктивні схеми машин для пакування штучних виробів, їх переваги та недоліки.

25. Навести методику розрахунку гравітаційного живильника для сипких продуктів.

26. Навести методику розрахунку продуктивності роторного живильника.

27. Навести методику розрахунку потужності роторного живильника.

28. Навести методику розрахунку шнекового живильника.

29. Навести методику розрахунку стрічкового живильника.

30. Навести методику вибору частоти коливань віброживильника.

РОЗДІЛ 2. ЗАВДАННЯ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Практична робота №1 РОЗРАХУНОК РОТОРНОГО ЖИВИЛЬНИКА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри роторного живильника

Теоретичні відомості – див. лек. 3 (стор. 17 – 19).

Сила тиску матеріалу на поверхню барабана розраховується за формулою:

$$P = m \cdot g,$$

де $m = V \cdot \rho$ – маса матеріалу; V – об'єм матеріалу, що давить на барабан. Тоді масу можна переписати як: $m = \rho \cdot l \cdot h \cdot b$.

Розрахункові завдання

Розрахувати продуктивність та потужність роторного живильника за таких умов:

№	D , мм	d , мм	b , мм	b_l , мм	l , мм	z , ШТ	ρ , кг/м ³	h , мм	$f_{зч}$	f
1	200	60	140	10	400	12	1800	800	0,32	0,43
2	240	80	160	10	500	8	2400	600	0,35	0,38
3	300	100	200	14	600	10	3600	1000	0,33	0,33
4	360	120	240	16	1000	12	3200	1400	0,42	0,28
5	200	80	140	10	400	12	1800	800	0,31	0,43
6	240	100	160	10	500	8	2500	600	0,34	0,38
7	300	120	200	14	600	10	3500	1200	0,33	0,37
8	360	140	240	16	1400	12	3200	1400	0,42	0,28
9	200	60	160	10	400	12	1800	800	0,32	0,44
10	240	80	180	12	500	8	2200	600	0,35	0,38
11	300	100	200	14	700	10	3300	900	0,33	0,35
12	360	120	240	16	1200	12	3200	1400	0,42	0,28
13	200	60	140	12	400	12	1800	900	0,32	0,43
14	240	80	160	10	600	8	2400	800	0,31	0,38
15	300	100	200	14	800	10	3600	1200	0,33	0,36
16	360	120	240	16	1600	12	3200	1600	0,42	0,28

Практична робота №2

РОЗРАХУНОК ТАРІЛЧАСТОГО ЖИВИЛЬНИКА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри тарілкового живильника

Теоретичні відомості – див. лек. 3 (стор. 20 – 22).

Розрахункові завдання

Розрахувати продуктивність та потужність живильника за таких умов:

№	R , мм	h , мм	θ , град	f	β , град	ρ , кг/м ³
1	100	25	40	0,42	30	1800
2	150	20	45	0,33	35	2400
3	170	30	50	0,36	40	3600
4	200	40	55	0,28	45	3200
5	80	20	40	0,42	30	1800
6	140	25	45	0,33	35	2500
7	160	35	50	0,36	40	3600
8	180	45	55	0,32	45	3100
9	100	25	35	0,38	30	1800
10	150	20	40	0,35	35	2200
11	170	35	45	0,32	40	3400
12	200	40	50	0,37	45	3200
13	100	25	35	0,42	45	1600
14	150	20	40	0,32	30	2100
15	170	30	45	0,35	40	3500
16	200	40	55	0,42	50	3200

Практична робота №3 РОЗРАХУНОК ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри шнекового живильника.

Теоретичні відомості – див. лек. 3 (стор. 23 – 25).

Розрахункові завдання

Розрахувати потужність горизонтального шнекового живильника та частоту обертання шнека для забезпечення заданої продуктивності за таких умов:

№	L, мм	D, мм	d, мм	t, мм	λ	Π , кг/год	ρ , кг/м ³
1	2000	40	16	40	0,2	30	1800
2	3000	60	20	60	0,3	60	2400
3	2000	80	20	80	0,4	100	3600
4	3000	120	30	120	0,3	200	3200
5	2000	50	20	40	0,2	30	1800
6	3000	70	24	60	0,3	60	2400
7	2000	100	20	80	0,4	120	3600
8	3000	140	30	120	0,3	200	3200
9	2000	40	16	30	0,2	30	1800
10	3000	60	20	50	0,3	60	2400
11	2000	80	20	60	0,4	100	3600
12	3000	120	30	100	0,3	200	3200
13	2000	40	16	40	0,2	50	1700
14	3000	60	20	60	0,3	80	2200
15	2000	80	20	80	0,4	160	3500
16	3000	120	30	120	0,3	300	3100

Практична робота №4 РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри стрічкового живильника

Теоретичні відомості – див. лек. 4 (стор. 27, 28).

Розрахункові завдання

Розрахувати потужність живильника та швидкість для забезпечення заданої продуктивності за таких умов:

№	b , мм	h , мм	L_{Γ} , м	H , м	Q , кг/год	ρ , кг/м ³	ψ	m_o , кг	θ , град	f	W
1	200	40	1,5	0,5	130	2800	0,8	4,5	30	0,32	0,2
2	300	30	3	1	180	1400	0,9	11	20	0,35	0,1
3	350	60	1,8	0	400	3400	0,7	8,5	15	0,33	0,3
4	400	50	2,5	0,7	600	3700	0,6	12	25	0,42	0,2
5	220	40	1,5	0,6	130	2800	0,8	5	30	0,32	0,2
6	330	30	3	1,2	180	1400	0,9	12	20	0,35	0,1
7	380	60	1,8	0,5	400	3400	0,7	10	15	0,33	0,3
8	440	50	2,5	0,8	600	3700	0,6	16	25	0,42	0,2
9	200	50	1,6	0,5	130	2800	0,8	4,5	30	0,33	0,2
10	300	40	3,5	1	180	1400	0,9	11	20	0,38	0,1
11	350	80	3,8	0	400	3400	0,7	8,5	15	0,28	0,3
12	400	60	3,5	0,7	600	3700	0,6	12	25	0,36	0,2
13	200	40	1,5	0,5	160	2400	0,8	4,5	30	0,32	0,2
14	300	30	3	1	220	1800	0,9	11	20	0,35	0,1
15	350	60	1,8	0	460	3200	0,7	8,5	15	0,33	0,3
16	400	50	2,5	0,7	660	2700	0,6	12	25	0,42	0,2

Практична робота №5 РОЗРАХУНОК ВІБРАЦІЙНОГО ЖИВИЛЬНИКА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри вібраційного живильника

Теоретичні відомості – див. лек. 4 (стор. 34 – 36).

Розрахункові завдання

Обрати робочу частоту коливань, розрахувати амплітуду коливань живильника, геометрію пружин та вимушуючу силу віброзбудника за таких умов:

№	L , м	m_1 , кг	m_2 , кг	V , м/с	$K_{ш}$	i , ШТ	b , м
1	1	10	20	0,2	0,3	4	0,02
2	1,2	20	50	0,1	0,4	4	0,03
3	1,5	30	60	0,3	0,5	4	0,03
4	2,5	40	80	0,2	0,4	4	0,04
5	1	12	20	0,1	0,3	4	0,02
6	1,2	25	50	0,2	0,4	4	0,03
7	1,5	40	60	0,4	0,5	4	0,03
8	2,5	50	80	0,3	0,4	4	0,04
9	1	10	30	0,2	0,3	4	0,02
10	1,2	20	60	0,1	0,4	4	0,03
11	1,5	30	80	0,3	0,5	4	0,03
12	2,5	40	100	0,2	0,4	4	0,04
13	1	10	20	0,3	0,4	4	0,04
14	1,2	20	50	0,2	0,2	4	0,05
15	1,5	30	60	0,1	0,3	4	0,04
16	2,5	40	80	0,4	0,5	4	0,03

Практична робота №6 РОЗРАХУНОК ВАГОВОГО ДОЗАТОРА

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри вагових дозаторів

Теоретичні відомості – див. лек. 5 (стор. 41 – 44)

Миттєве значення величини маси продукту у зважувальній ємності:

$$m_{\text{кр}} = B\delta\rho v_k t_{\text{сп}}$$

$$(m_k - m_{\text{кр}}) \cdot \frac{p_1}{p_2} = B\delta\rho v_k t_m$$

$$t = t_{\text{сп}} + t_m$$

де p – інтенсивність подачі продукту (кг/с); t – тривалість операції дозування, с;
 $0 < t < t_k$ – час формування заданої дози m_k .

Розрахункові завдання

Розрахувати необхідну товщину шару матеріалу на подавальному стрічковому конвеєрі та час набору дози за таких умов:

№	m_k , Г	ϕ	B , м	v_k , м/с	z , м	K_p	ρ , кг/м ³	p_1/p_2
1	100	0,9	0,05	0,02	0,15	0,45	800	5
2	200	0,9	0,07	0,01	0,2	0,5	2300	5
3	300	0,95	0,12	0,03	0,1	0,5	1400	5
4	400	0,95	0,15	0,05	0,16	0,4	1700	5
5	200	0,9	0,06	0,02	0,15	0,45	800	5
6	300	0,9	0,08	0,01	0,2	0,5	2300	5
7	500	0,95	0,14	0,03	0,1	0,5	1400	5
8	1000	0,95	0,16	0,05	0,16	0,4	1700	5
9	100	0,95	0,08	0,02	0,15	0,45	800	5
10	200	0,95	0,12	0,01	0,2	0,5	2300	5
11	300	0,9	0,14	0,03	0,1	0,5	1400	5
12	400	0,9	0,16	0,05	0,16	0,4	1700	5
13	100	0,9	0,05	0,04	0,1	0,45	2800	5
14	200	0,9	0,07	0,03	0,15	0,5	2400	5
15	300	0,95	0,12	0,02	0,2	0,5	1600	5
16	400	0,95	0,15	0,06	0,12	0,4	1800	5

РОЗДІЛ 3. ІНСТРУКЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота №1 ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ПРИРОДНОГО УКОСУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: навчитися визначати кут природного укосу сипких матеріалів, експериментально провести їх визначення, ознайомитися із вживаним устаткуванням і приладами.

Основні теоретичні положення

Кут природного укоса належить до важливих характеристик сипких продуктів.

Кутом природного укоса називається кут між зовнішньою поверхнею сипкого матеріалу і горизонтальною площиною (рис. 1.1). Він характеризує відносну рухливість частинок сипкого матеріалу на його зовнішній поверхні.

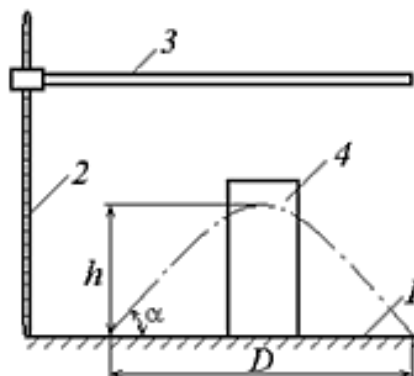


Рис. 1.1. Схеми пристосування для вимірювання сипучості матеріалу по куту природного укосу

Відносний взаємний рух частинок залежить від сил зчеплення між окремими частинками матеріалу, які у свою чергу залежать від форми і величини частинок, шорсткості поверхні частинок, вологості матеріалу і т.д.

Методика заснована на вимірюванні кута між горизонтальною площиною і твірній конуса, що мимоволі створюється сипким матеріалом.

Для визначення сипучості використовують пристосування, показане на рис. 1.1. Воно складається з основи 1, з нанесеними концентричними колами діаметром 100 – 600 мм через кожні 10 мм, стійки 2 із шкалою для вимірювання висоти, рухомої планки 3, здатної переміщатися у вертикальній і горизонтальній площинах.

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: штатив, порожнистий циліндр, штангенциркуль, лінійка, зразки сипкого матеріалу.

Хід роботи.

Порожнистий циліндр 4 встановлюють на основу 1, суміщаючи його із колом 100 мм. Насипають в нього сипкий матеріалу і підіймають вертикально угору з однаковою швидкістю у всіх експериментах. Розсипаючись, матеріал набуває форми, близької до конічної.

Повторивши експеримент 5–6 разів для кожного сипкого матеріалу, кожного разу фіксують висоту конуса h і його діаметр D . По середньому арифметичному значенню цих вимірювань розраховують кут природного укосу α за формулою:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{h}{D/2}\right).$$

Коефіцієнт внутрішнього тертя M , що також характеризує сипучість, визначають за формулою:

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

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 1.1.

Табл. 1.1 Результати експериментів

№ п/п	Матеріал	Діаметр	Висота	Кут α
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Контрольні запитання та завдання

1. Що характеризує кут природного укосу?
2. З чого складається пристрій для вимірювання кута природного укосу?
3. Опишіть методику вимірювання кута природного укосу.
4. Як визначають кут природного укосу?

Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ НАСИПНОЇ ГУСТИНИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: навчитися визначати насипну густину сипких матеріалів, експериментально проводити її визначення, ознайомитися із вживаним устаткуванням і приладами.

Основні теоретичні положення

Насипна густина – важлива характеристика порошкоподібного матеріалу, оскільки вона визначає вибір способу дозування матеріалу. Насипну густину визначають виходячи з маси порошку, що заповнює при вільному насипанні посудину з певним об'ємом.

Насипна густина залежить від тонини помелу, гранулометричного складу і вологості матеріалу, а також від технології його виготовлення і тривалості зберігання.

При вільній засипці насипну густину визначають за допомогою мірної посудини, внутрішній об'єм якої відомий з високою точністю. Висота мірної посудини повинна бути рівна двом його внутрішнім діаметрам. Діаметр посудини повинен не менше чим в 10 разів перевищувати середній розмір частинок сипкого продукту.

Насипну густину визначають за допомогою приладу волюметра (рис. 2.1).

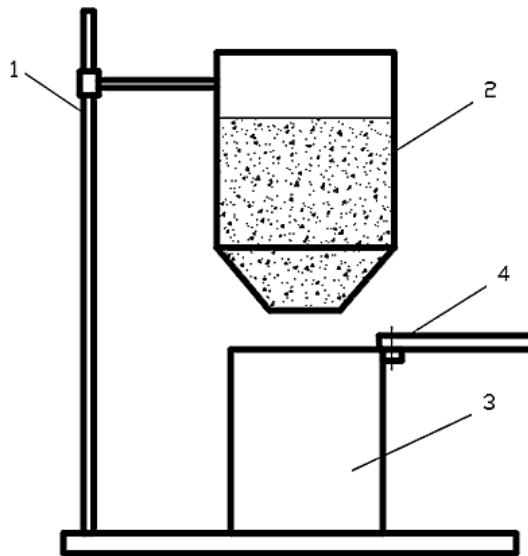


Рис. 2.1. Схема приладу для визначення насипної густини

Волюметр складається з штативу 1, воронки 2, в яку засипається порошок, циліндричної ємності 3 та кришки 4.

Порошок із воронки пересипається, приймаючи рівномірну розпушену структуру і через отвір потрапляє в посудину відомого об'єму і маси. Надлишок порошку знімається з посудини зсувом кришки. Наповнена посудина зважується на вагах.

Насипна густина порошку розраховується за формулою:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V},$$

де m – маса порошку, кг; V – об'єм порошку, м³.

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: волюметр, посудина, лінійка, ваги лабораторні, зразки сипучого матеріалу.

Хід роботи.

Засипати досліджуваний матеріал у завантажувальну воронку пристрою, заповнити приймальну посудину та зняти надлишок сталеву лінійкою. Наповнену посудину зважити на лабораторних вагах з точністю до 100 мг та відняти масу посудини.

Повторити експеримент 5 – 6 разів для кожного сипкого матеріалу та взяти середнє значення маси. Поділивши її на об'єм посудини, отримати значення насипної густини.

Порівняти експериментально отримані значення насипної густини для різних сипких матеріалів з їх довідковими значеннями та визначити відносну похибку:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{нас}} - \rho_{\text{дов}}}{\rho_{\text{дов}}} \cdot 100 \%$$

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 2.1.

Табл. 2.1 Результати експериментів

№ п/п	Матеріал	Об'єм, м ³	Маса, кг	Насипна густина, кг/м ³	Довідкове значення, кг/м ³	Відносна похибка, %
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке насипна густина, від яких факторів вона залежить?
2. Опишіть будову волюметра
3. Опишіть методику вимірювання насипної густини.
4. За якою формулою визначають насипну густину?

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: освоєння методики і оцінка придатності пакувального матеріалу для застосування в пакувальних і поліграфічних машинах, визначення коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів по різних поверхнях.

Основні теоретичні положення

У техніці прийнято розрізняти наступні види тертя:

1. тертя ковзання виявляється при ковзанні тіла по деякій поверхні.
2. тертя кочення має місце у тому випадку, коли тіло котиться по поверхні.
3. тертя спокою виявляється у тому випадку, коли тіло, що перебуває в нерухомому стані, приводиться в рух. Цей вид тертя характеризується статичним коефіцієнтом тертя.

4. тертя руху виявляється під час руху тіла по деякій поверхні. Це тертя характеризується динамічним коефіцієнтом тертя, який завжди менше статичного.

Коефіцієнт тертя ковзання визначає зусилля, яке потрібне для ковзання поверхні одного матеріалу по деякій поверхні. Так плівка полімерного пакувального матеріалу, яка погано ковзає по інших поверхнях, має високий коефіцієнт тертя (0,35 – 0,5), не дозволяє матеріалу легко ковзати по формуючій трубці автомата і не дає йому розвивати оптимальну швидкість.

Занадто низький коефіцієнт тертя, тобто дуже високе ковзання, призводить до інших незручностей – плівка виявляється занадто слизькою. Практика експлуатації фасувально-пакувального обладнання показала, що оптимальним для їх нормальної роботи є коефіцієнт тертя ковзання полімерних матеріалів рівний приблизно 0,25.

Найпростішим методом вимірювання коефіцієнта тертя є використання похилої площини (рис. 3.1).

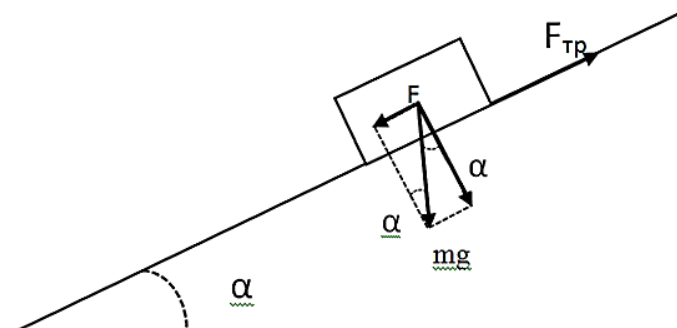


Рис. 3.1. Рух тіла по похилій площині

Руху тіла по похилій площині під дією складової F сили тяжіння $m \cdot g$ перешкоджає сила тертя $F_{\text{тер}}$, що з'являється від дії другої складової сили тяжіння N – нормального тиску. Ці сили залежать від кута нахилу площини і величини сили тяжіння:

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha,$$

$$N = m \cdot g \cdot \cos \alpha,$$

$$F_{\text{тер}} = f \cdot N,$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу тіла по даній поверхні.

Тіло почне рух по похилій площині при куті нахилу α , при якому сила F досягає величини $F_{\text{тер}}$, тобто у цей момент сила тертя:

$$F_{\text{тер}} = F = m \cdot g \cdot \sin \alpha.$$

Отже, коефіцієнт тертя ковзання:

$$f = \frac{F_{\text{тер}}}{N} = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{m \cdot g \cdot \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Коефіцієнт тертя рівний тангенсу кута нахилу площини і залежить від матеріалу і стану поверхні.

Установка для дослідження коефіцієнтів тертя пакувальних матеріалів (рис. 3.2) складається з похилої площини із змінним кутом нахилу, металевого бруска навантаження, вимірника кута нахилу похилої площини, ріжучого інструменту для вирізування зразків із досліджуваного матеріалу.

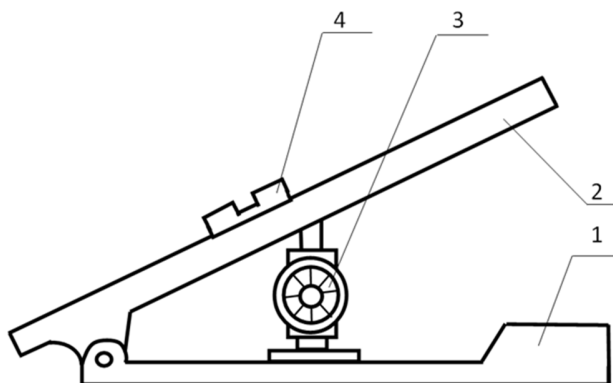


Рис. 3.2. Установка для дослідження коефіцієнтів тертя: 1 – плита настановна; 2 – плита похила; 3 – механізм підйомний із шкалою кута повороту плити; 4 – брусок навантаження

Вимірювання коефіцієнта тертя ковзання статичного і динамічного проводиться на установці у вигляді похилої площини, зображеної на рис. 3.2.

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: установка для випробувань, зразки матеріалів, зразки поверхні.

Хід роботи.

1. Підготувати зразки досліджуваного пакувального матеріалу для закріплення на бруску навантаження.

Для вимірювань необхідно підготувати по 3 – 5 зразків розмірами 100×320 мм і 60×120 мм так, щоб довжина зразків збігалася із подовжнім напрямом матеріалу. При визначенні коефіцієнта тертя пакувального полімерного матеріалу за цим же матеріалом підготовлений зразок розміром 100×320 мм поміщається уздовж похилої площини, нижній край зразка згинається до нижньої кромки плити і фіксується затисками. На бруску навантаження двома затисками закріплюється зразок розміром 60×120 мм.

Для вимірювання коефіцієнта тертя полімерної плівки за іншим матеріалом зразки розміром 100×320 мм готуються з цих матеріалів. Визначення коефіцієнта тертя по сталі можна виконати безпосередньо на заздалегідь ретельно очищеній поверхні похилої плити.

2. Підготувати зразки матеріалу для закріплення на похилій площині.

3. Зафіксувати досліджувані зразки на похилій площині похилої і бруску навантаження.

4. Виконати вимірювання кута нахилу похилої площини в моменти руху бруска навантаження при вимірюванні статичного коефіцієнта тертя.

Перед проведенням випробувань плита приладу встановлюється в горизонтальне положення по рівню, шкала кута повороту на відмітку «0». На плиту поміщається брусок навантаження, обернутий досліджуваною плівкою, і повільним обертанням диска плита приводиться в похиле положення. У момент початку руху бруска по похилій площині за шкалою фіксується кут нахилу плити, відповідний статичному коефіцієнту тертя:

$$f_{ст} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Повторити вимір не менш трьох разів. За остаточний результат приймається середнє арифметичне значення отриманих вимірювань.

5. Виконати вимірювання кута нахилу похилої площини в моменти зупинки руху бруска навантаження при вимірюванні динамічного коефіцієнта тертя.

6. Повторити експерименти з іншими контактними матеріалами.

7. Визначити значення коефіцієнта тертя і виконати математичну обробку результатів вимірювань.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 3.1.

Табл. 3.1. Результати експериментів

№ п/п	Матеріал зразка	Матеріал поверхні	$f_{ст}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Контрольні запитання та завдання

1. Чи залежить коефіцієнт тертя від маси зразка?
2. Опишіть будову пристрою для вимірювання коефіцієнту тертя.
3. Опишіть методику вимірювання коефіцієнту тертя.
4. Поясніть, від чого залежить коефіцієнт тертя.

Лабораторна робота № 4 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів і освоєння методики.

Основні теоретичні положення

До найважливіших параметрів, що характеризують фізико-механічні властивості сипких продуктів відносяться коефіцієнти тертя в русі і спокої. Вони використовуються для визначення кутів нахилу спусків, жолобів, гравітаційних і роликів конвеєрів. Дані коефіцієнти виражають зв'язок між частинками сипких продуктів і опорною поверхнею або рухливість їх на похилій поверхні.

Коефіцієнти тертя спокою чисельно рівні тангенсу граничного кута нахилу площини, при якому продукт, що перебуває на ній, приходить в рух. При цьому сила тертя виявляється рівною складовій силі тяжіння, паралельній площини (рис. 4.1).

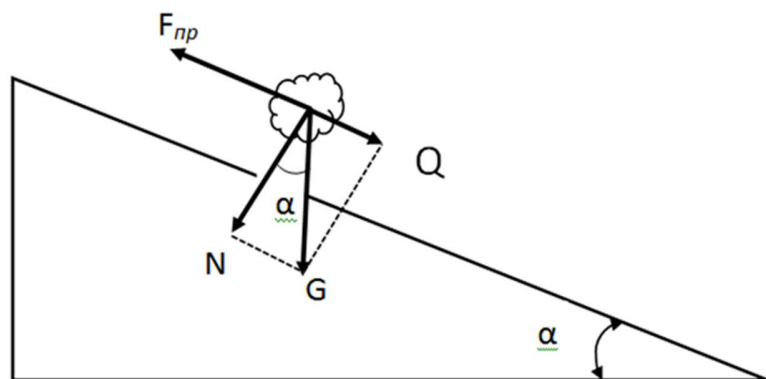


Рис. 4.1. Схема сил, що діють на частинку, розташовану на похилій площині

$$F_{\text{тер}} = f_0 \cdot N = G \cdot \sin \alpha,$$
$$N = G \cdot \cos \alpha.$$

Тоді

$$f \cdot G \cdot \cos \alpha = G \cdot \sin \alpha.$$

Після перетворення отримаємо вираз коефіцієнта тертя у спокої:

$$f_0 = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha,$$

де α – кут нахилу площини.

Чисельне значення коефіцієнта тертя сипкого продукту в русі визначають розрахунковим шляхом.

Якщо припустити, що частинка M сипкого продукту (рис. 4.2) масою $m \cdot g$ рухається по похилій площині АО завдовжки l , і відбувається лише ковзання вантажу по площині без переміщення частинок усередині маси продукту тобто, нехтуючи опором повітря, вважаємо, що коефіцієнт тертя f_D частинки M об площину постійний, тоді рівняння моменту сил для початкового і кінцевого положення частинки наступне:

$$\frac{m \cdot V_1^2}{2} - \frac{m \cdot V_0^2}{2} = (m \cdot g \cdot \sin \alpha_0 - m \cdot g \cdot f_D \cdot \cos \alpha_0) \cdot l.$$

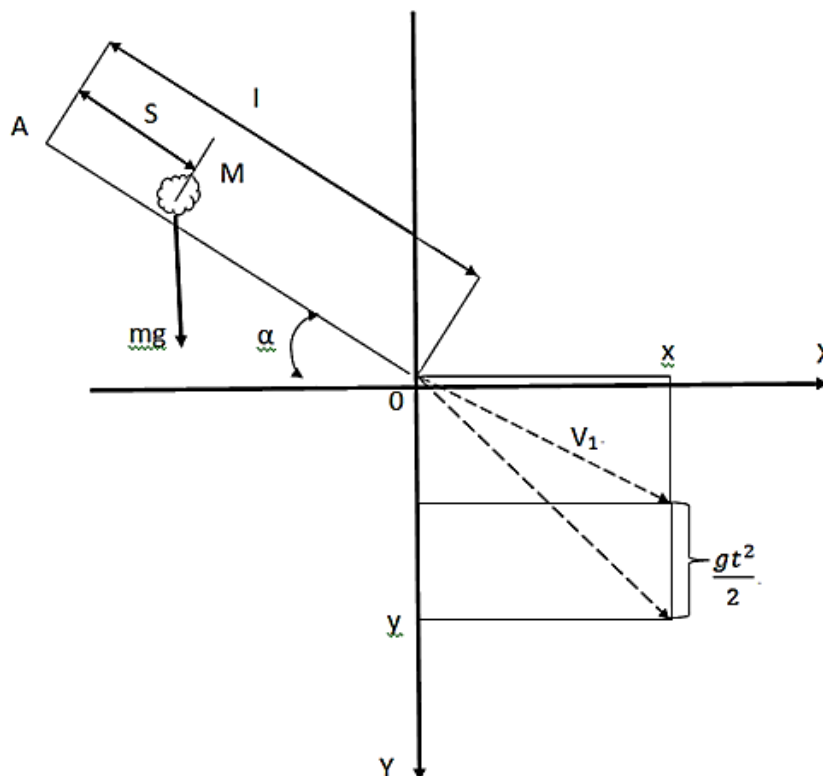


Рис. 4.2. Траєкторія руху частинки при сході з похилої площини

Така умова зберігається тоді, коли $\varphi_m > \alpha_0 > \varphi_d$, де φ_m – кут внутрішнього тертя частинок сипкого продукту, φ_d – кут тертя продукту об площину в русі.

Вирішуючи вищенаведене рівняння відносно V_1 отримаємо:

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot l \cdot (\sin \alpha_0 - f_d \cdot \cos \alpha_0)} + V_0^2,$$

де V_0 – початкова швидкість руху частинки по похилій площині; V_1 – кінцева швидкість руху частинки по похилій площині (у т. 0).

Якщо $V_0 = 0$, тоді:

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot l \cdot (\sin \alpha_0 - f_d \cdot \cos \alpha_0)}.$$

Розглядаючи подальший рух частинки сипкого продукту із початковою швидкістю V_1 під дією сили тяжіння, знайдемо координати її через t секунд після сходу її з похилої площини:

$$\begin{cases} x = V_1 \cdot t \cdot \cos \alpha_0, \\ y = V_1 \cdot t \cdot \sin \alpha_0 + \frac{g \cdot t^2}{2}. \end{cases}$$

Виключивши із цих рівнянь час t , одержимо:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_0},$$

і підставивши в дане рівняння отриманий вище вираз V_1 , матимемо:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 + \frac{g \cdot x^2}{4 \cdot g \cdot l \cdot (\sin \alpha_0 - f_d \cdot \cos \alpha_0) \cdot \cos^2 \alpha_0}.$$

Розв'язуючи це рівняння відносно f_d , визначимо:

$$f_d = \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{1}{4 \cdot l} \cdot \frac{x^2}{(y - x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0) \cdot \cos^3 \alpha_0}.$$

Таким чином, величина коефіцієнта тертя в русі може бути визначена за траєкторією вільного польоту сипкого продукту, що скидається з похилої площини, після якої він рухається.

Установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів (рис. 4.3) складається з бункера, похилої площини, яку можна нахилити гвинтом, укріпленого на ній градуйованого сектора, закріпленого на опорі, що обертається, освітлюваної координатної сітки, внизу якої встановлений приймач для матеріалу.

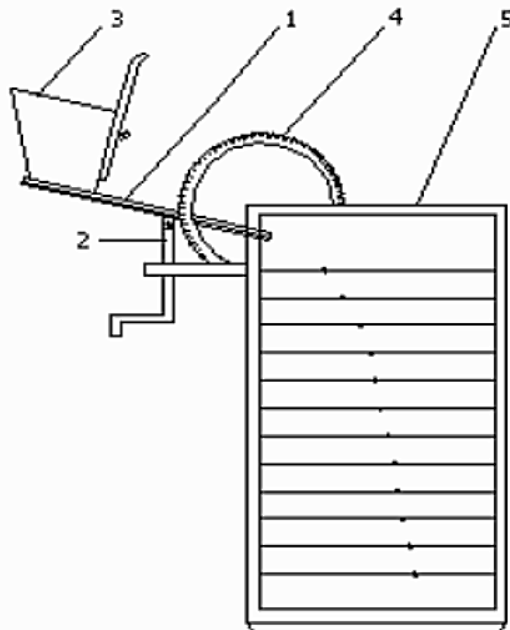


Рис. 4.3. Лабораторна установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів: 1 – похила площина; 2 – гвинт; 3 – бункер; 4 – градуйований сектор; 5 – координатна сітка

Порядок виконання роботи

Устаткування і матеріали: установка для дослідження коефіцієнтів тертя сипких продуктів, зразки сипкого матеріалу, зразки опорних поверхонь.

Хід роботи.

Для визначення коефіцієнта тертя f_0 досліджуваний продукт насипається рівним шаром завтовшки близько 3 мм на похилу площину. Потім підйомом гвинта змінюють нахил площини з продуктом, і в мить, коли він приходить в рух, записують кут тертя α_0 . Після цього змінюють опорну поверхню і знову проводять дослідження. На підставі трьох вимірювань обчислюють середній кут тертя α_0 і по ньому визначають коефіцієнт тертя у спокої $f_0 = \text{tg} \alpha_0$. Для кожного

сипкого продукту і матеріалу опорної поверхні дослідження проводять не менше трьох разів.

Для визначення коефіцієнта тертя f_d в русі необхідно сипкий продукт насипати в бункер. Потім відкрити засувку і підйомом гвинта здійснити нахил площини з опорним матеріалом. В мить, коли продукт почне сипатися з бункера і ковзати по опорній поверхні, слід зупинити підйом гвинта. При подальшому русі продукту в координатній сітці засікти його координати y_1 і x_1 , y_2 і x_2 , y_3 і x_3 , і т.д.

Дослідження провести для різних сипких матеріалів при різних опорних матеріалах. Після підстановки одержаних даних y_i і x_i у відповідну формулу слід визначити f_d і середнє значення даного коефіцієнта.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 4.1.

Табл. 4.1. Результати експериментів

№ п/п	Матеріал поверхні	Сипкий матеріал	f_0	x , мм	y , мм	f_0
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Контрольні запитання та завдання

1. Чим відрізняється динамічний коефіцієнт тертя від статичного?
2. Опишіть будову пристрою для вимірювання коефіцієнту тертя
3. Опишіть методику вимірювання статичного коефіцієнту тертя.
4. Опишіть методику вимірювання динамічного коефіцієнту тертя.

Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

Мета роботи: визначити параметри в'язкості і текучості рідких продуктів, освоєння методики та устаткування.

Основні теоретичні положення

Згідно закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю:

$$\tau = \eta \left(\frac{dU}{dr} \right),$$

де τ – дотичне напруження в рідині; $\frac{dU}{dr}$ – градієнт швидкості рідини в поперечному перерізі каналу; $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$ – в'язкість.

Згідно закону Пуазейля, рух рідини в круглому каналі описується виразом:

$$\Delta p = \frac{128 \cdot \eta \cdot l \cdot V}{\pi \cdot d^4},$$

де Δp – різниця тисків на довжині досліджуваної ділянки каналу; η – динамічна в'язкість продукту; V – витрата продукту; l та d відповідно довжина та діаметр каналу.

Якщо перепад тиску створений силою тяжіння стовпа рідини, то він визначається величиною:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h,$$

Віскозиметр ВЗ 246 призначений для визначення умовної в'язкості (часу витікання) лакофарбових матеріалів, зубних паст, клеїв і продуктів, що відносяться до них, по ГОСТ 8920-74.

Віскозиметр (рис. 5.1) складається з ємності і капіляра в її нижній частині. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметрами каналу.



Рис. 5.1. Віскозиметр капілярний В3 246

Віскозиметр складається з ємності і капіляра в її нижній частині. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметрами каналу.

Принцип дії віскозиметра: в резервуар заливається досліджувана рідина і за допомогою секундоміра визначається час витікання в секундах 100 мл випробовуваної рідини через капіляр віскозиметра. Об'єм рідини відміряється мірною ємністю. Отриманий час витікання і береться за умовну в'язкість.

Якщо під час витоку рідини з віскозиметра підтримувати в ньому постійний рівень, то можна визначити і динамічну в'язкість продукту.

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: віскозиметр капілярний В3 246, набір капілярів, секундомір, мірна ємність.

Хід роботи.

Закрити вихідний отвір капіляра і залити у віскозиметр досліджувану рідину. Відкрити отвір одночасно зі стартом секундоміра та визначити час витікання 100 мл випробовуваної рідини. Повторити дослід не менш трьох разів та визначити середнє значення. Повторити виміри з різними капілярами та рідинами.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 5.1.

Табл. 5.1. Результати експериментів

№ п/п	Рідина	Діаметр капіляра, мм	Температура	Час витікання
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке умовна в'язкість? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Опишіть закон Ньютона для рідин.
3. Опишіть закон Пуазейля.
4. Який перепад тиску створюється силою тяжіння стовпа рідини?

Лабораторна робота № 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ ПІД ДІЄЮ СИЛИ ГРАВІТАЦІЇ

Мета роботи: визначити закономірності процесу витоку сипких матеріалів з резервуару під дією сили гравітації

Основні теоретичні положення

Швидкість витікання матеріалу з випускного отвору бункера визначається за формулою:

$$V = \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1+f^2}{f} \cdot \left(R_k \cdot g - \frac{\tau_0}{\rho} \right) - \frac{\tau_0}{\rho} \cdot \sqrt{1+f^2} \right]}, \quad (6.1)$$

де λ – коефіцієнт переміщення продукту, що залежить від його структурно-механічних характеристик; f – коефіцієнт тертя продукту по бічних стінках випускного отвору бункера; R_k – розрахунковий еквівалентний розмір випускного отвору; g – прискорення вільного падіння; τ_0 – початкове напруження зсуву продукту; ρ – насипна густина продукту.

Як правило, випускні отвори бункерів дозаторів виконують прямокутної форми з розмірами $a \cdot b$, з можливістю регулювання продуктивності заслінкою. Розрахунковий розмір такого отвору визначається із залежності:

$$R_k = \frac{(a-d) \cdot (b-d)}{2 \cdot (a+b-2d)},$$

де d – найбільший лінійний розмір частинки продукту, що дозується.

Швидкість переміщення продукту в бункері (див. рис. 6.1) визначається із виразу:

$$V_p = \sqrt{2 \cdot g \cdot l \cdot \left[\sin \varphi - f \cdot \cos \varphi \cdot \left(1 + \frac{n \cdot h}{D} \right) \right]}, \quad (6.2)$$

де l – довжина похилих поверхонь бункера; φ – кут нахилу стінок бункера до горизонту; h – висота шару продукції біля бічних стінок бункера; n – коефіцієнт тиску продукту на бічні стінки бункера; D – діаметр бункера.

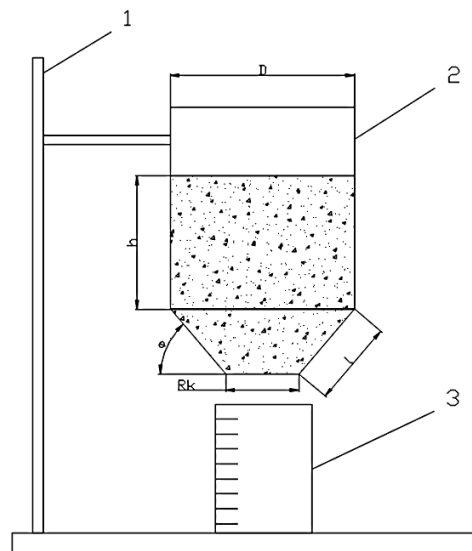


Рис. 6.1. Схема дослідної установки: 1 – штатив; 2 – бункер; 3 – мірна ємність

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: штатив, бункер, мірна ємність, секундомір, лінійка, штангенциркуль.

Хід роботи.

Засипати в бункер (рис. 6.1) досліджуваний матеріал і виміряти висоту його стовпа, використовуючи лінійку. Відкрити випускний отвір і, роблячи відсічки часу секундоміром, зсипати матеріал в мірну ємність в декілька (3 – 5) етапів з проміжними зупинками, перекриваючи випускний отвір. Під час зупинок вимірювати висоту стовпа матеріалу в бункері та витрату матеріалу за визначений період часу.

Кожний дослід повторити не менш трьох разів та визначити середнє значення. Повторити виміри з різними сипкими матеріалами, які досліджувались в лабораторних роботах № 1, № 2 та № 4.

Визначити коефіцієнт переміщення продукту з формули 6.1, використавши досліджені механічні характеристики матеріалу за результатами виконання лабораторних робіт № 1, №2 та №4.

Визначити коефіцієнт тиску продукту на бічні стінки бункера з формули 6.2. Результати досліджень заносять в протокол до табл. 6.1.

Табл. 6.1. Результати експериментів

№ п/п	Матеріал	Висота стовпа матеріалу, мм	Витрата, м ³ /с	Коефіцієнт переміщення	Коефіцієнт тиску на бічні стінки
1					
2					
3					
4					
5					

Контрольні запитання та завдання

1. Чим відрізняється швидкість переміщення матеріалу в бункері від швидкості витікання з випускного отвору?
2. Як визначається розрахунковий еквівалентний розмір випускного отвору?
3. Опишіть методику проведення дослідів.
4. Як змінюють витрату матеріалу з бункерів?

Лабораторна робота № 7
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ПІД ДІЄЮ
СИЛИ ГРАВІТАЦІЇ

Мета роботи: визначити закономірності процесу витoku рідких матеріалів з резервуару під дією сили гравітації

Основні теоретичні положення

Згідно закону Ньютона стан рідини під час течії визначається залежністю:

$$\tau = \eta \left(\frac{dU}{dr} \right),$$

де τ – дотичне напруження в рідині; $\frac{dU}{dr}$ – градієнт швидкості (або швидкості зсуву) рідини в поперечному перерізі каналу; $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{const}$ – в'язкість.

Неньютонівська рідина – рідина, яка не підкоряється закону Ньютона:

$$\eta = f \left(\frac{dU}{dr}, T \right).$$

Найчастіше залежність між напруженням та режимом течії неньютонівських рідин апроксимують степеневим законом:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n,$$

звідки з урахуванням того, що $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$:

$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1},$$

де k – коефіцієнт консистенції, який є в'язкістю при швидкості зсуву, що прагне до 0; n – показник текучості розплаву. За $n = 1$ степеневий закон перетворюється на закон Ньютона. У випадку коли $n < 1$ в'язкість рідини знижується зі збільшенням градієнта швидкості, і така рідина називається псевдопластичною. Коли $n > 1$ в'язкість рідини збільшується зі збільшенням градієнта швидкості і така рідина називається дилатантною.

Оскільки в логарифмічних координатах формула в'язкості перетворюється на пряму: $\lg \eta = (n - 1) \cdot \lg \dot{\gamma} + \lg k$, для полегшення апроксимації експериментальних даних графік залежності в'язкості від швидкості зсуву будують в логарифмічних координатах (рис. 7.1).

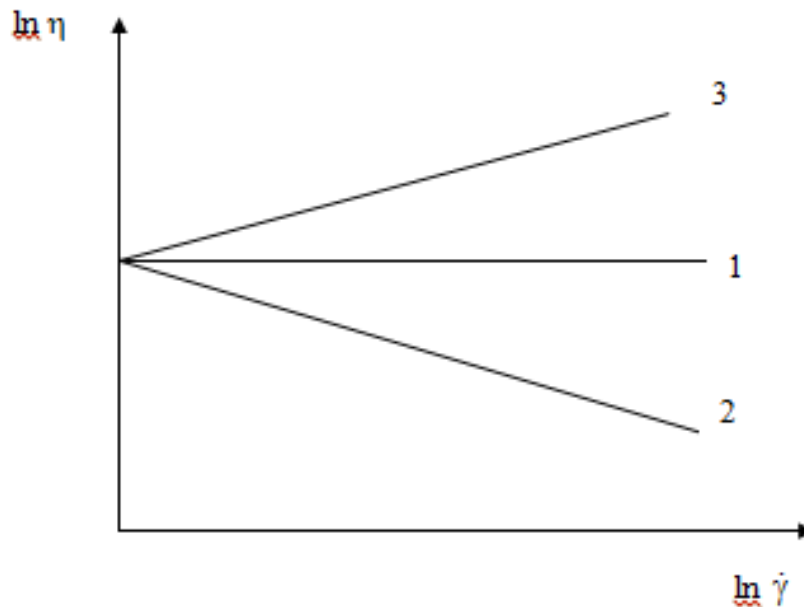


Рис. 7.1. Залежності в'язкості від градієнта швидкості для різних типів рідини: 1 – ньютонівської; 2 – псевдопластичної; 3 – дилатантної

Градієнт швидкості рідини поблизу стінки круглого каналу визначається за формулою:

$$\dot{\gamma} = \frac{32 \cdot V}{\pi \cdot d^3},$$

де V – витрата рідини; d – діаметр каналу.

Дотичне напруження в рідині в круглому каналі описується виразом:

$$\tau = \frac{\Delta p \cdot d}{4 \cdot l},$$

де Δp – перепад тиску на довжині досліджуваної ділянки каналу; l – довжина каналу.

Якщо перепад тиску створений силою тяжіння стовпа рідини, то він визначається величиною:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h,$$

де h – висота стовпа рідини.

Дослідження в'язкісних властивостей рідин можна проводити за допомогою віскозиметрів різних типів, найбільш поширеним серед них є капілярний віскозиметр (рис. 7.2). Віскозиметр складається з ємності 2 і капіляра 3 в її нижній частині. Капіляри можуть бути змінними з різною довжиною та діаметрами каналу.

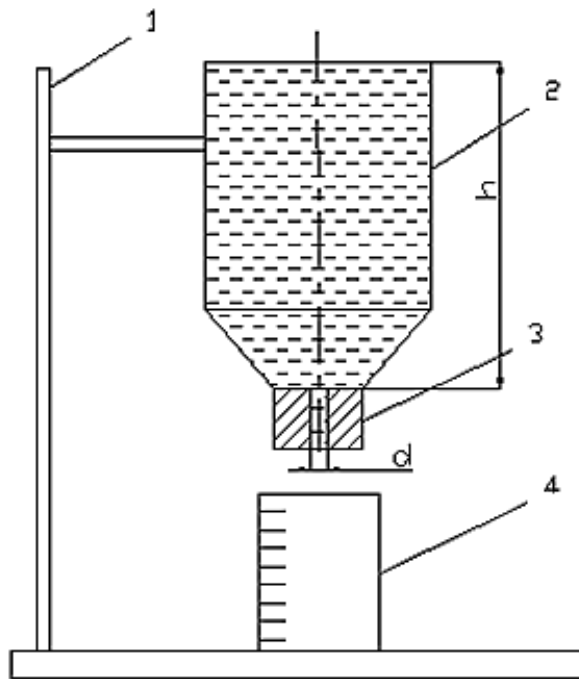


Рис. 7.2. Схема дослідної установки: 1 – штатив; 2 – бункер; 3 – змінний капіляр; 4 – мірна ємність

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: віскозиметр капілярний, набір капілярів, секундомір, мірна ємність.

Хід роботи.

Залити в ємність віскозиметра (рис. 7.2) досліджувану рідину до країв. Відкрити випускний отвір і, зробивши відсічку часу секундоміром, злити певний об'єм рідини в мірну ємність, підтримуючи повне заповнення віскозиметра. Кожний дослід повторити не менш трьох разів та визначити середнє значення. Визначити середню витрату рідини.

Розрахувати градієнт швидкості, дотичне напруження в рідині та її в'язкість. Повторити досліди з якнайменше трьома капілярами.

Побудувати залежність між градієнтом швидкості та в'язкістю рідини в програмі Excel в логарифмічних координатах (тип діаграми – точкова без з'єднання) та апроксимувати її степеневою лінією тренду.

Виписати з параметрів лінії тренду значення k та n .

Зробити висновок про тип рідини.

Повторити досліди з різними рідинами.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 7.1.

Табл. 7.1. Результати експериментів

№ п/п	Рідина	Діаметр і довжина капіляра, мм	Температура	Витрата, м ³ /с	В'язкість, Па·с
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке неньютонівська рідина?
2. Опишіть закон Ньютона для рідин.
3. Опишіть види та властивості неньютонівських рідин.
4. Які з досліджених рідин проявили неньютонівські властивості (і які саме)?

Лабораторна робота № 8 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНИХ ПРОДУКТІВ

Мета роботи: визначити основні параметри стану пластичних продуктів під дією механічного навантаження.

Основні теоретичні положення

Ідеально пластичним середовищем вважають таке, яке до досягнення деякого граничного напруження поводить себе як тверде тіло, а після його перевищення – як рідина з нікчемно малою в'язкістю, не чинячи опору.

На практиці межа текучості виражена не настільки різко, а в'язкість є істотною. Найчастіше стан в'язкопластичних середовищ описують моделлю Шведова-Бінгама:

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma},$$

де τ – напруження зсуву; τ_0 – межа текучості; η – динамічна в'язкість; $\dot{\gamma}$ – швидкість деформації рідини.

Залежність напруження зсуву від швидкості деформування для різних середовищ наведено на рис. 8.1.

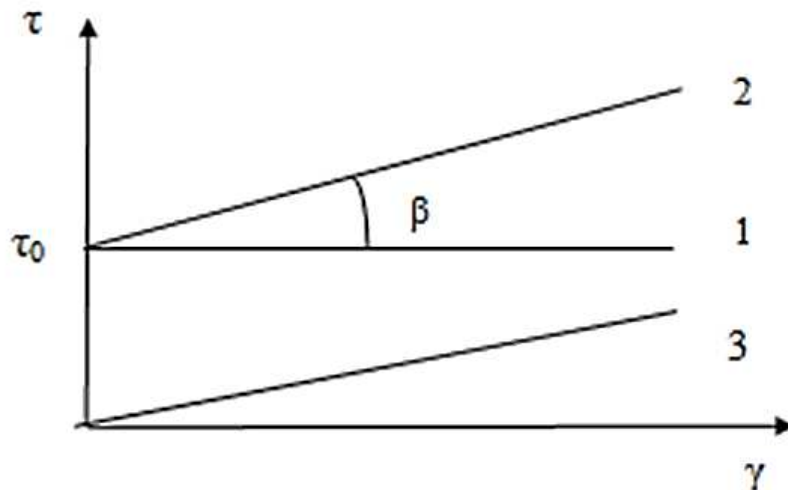


Рис. 8.1. Залежність напруження зсуву від швидкості деформування:

- 1 – ідеально пластичне середовище (середовище Сен-Венана);
- 2 – в'язкопластичне середовище (середовище Шведова-Бінгама);
- 3 – ньютонівська рідина.

Середовища, що поводять себе таким чином, зазвичай являють собою 2 різні середовища, що складаються з рідини і наповнювача, створюючи просторову сітку.

При застосуванні деякого напруження таке середовище поводить себе подібно до твердого тіла, практично не деформуючись до певної межі. Після цього граничного напруження просторова сітка руйнується і під дією навантаження матеріал починає текти подібно до рідини.

Згідно закону Ньютона рідкий стан речовини відповідає залежності:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma},$$

де τ – напруження в рідині; $\dot{\gamma}$ – швидкість деформації рідини; $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ – в'язкість.

Для визначення граничного напруження зсуву матеріалів за якого відбувається в'язка течія матеріалу застосовують прилади, які називаються пластометрами. Вони містять платформу на яку встановлюється дослідний зразок та вертикальний шток з конічним індентором на нижньому кінці.

Пластометр (рис. 8.2) містить платформу 1, вертикальну стійку 2, вертикальний шток 3 з конічним індентором 4 на нижньому кінці, розташований під індентором 4 предметний столик 5 з можливістю регулювання його положення по висоті, призначений для розміщення на ньому зразка 6 досліджуваного матеріалу, шарнірно закріплений на стійці 2 важіль 7 з одним плечем 8 для взаємодії зі штоком 3 і з другим плечем 9 для закріплення на ньому противаги 10, а також засіб 11 для вимірювання переміщення штока 3. Шток 3 розміщено в закріплених на стійці 2 напрямних 12 з можливістю руху у вертикальному напрямку, на верхньому кінці штока 3 змонтовано горизонтальну опорну плиту 13 для розміщення на ній знімних вантажів 14, шток 3 споряджено штифтом 15 для розміщення в прорізі 16 або пазу плеча 8 важеля 7, засіб 11 для вимірювання переміщення штока 3 закріплено на стійці 2, а його чутливий елемент 17 встановлено з можливістю взаємодії зі штоком 3 через опорну плиту 13.

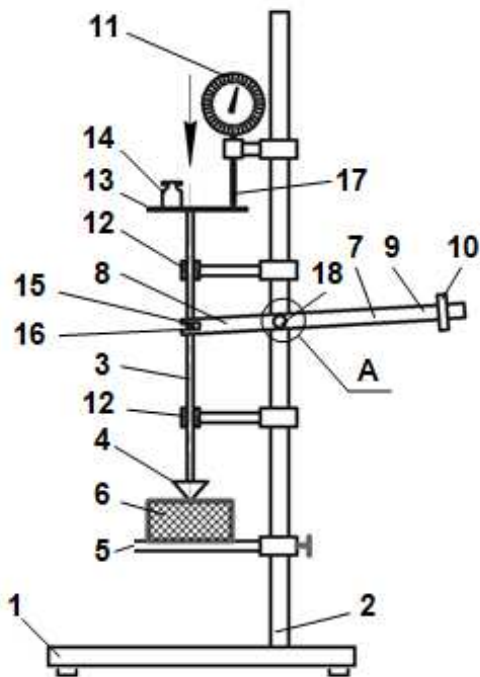


Рис. 8.2. Схема дослідної установки (пояснення в тексті)

Напруження в матеріалі (в МПа) можна визначити за формулою:

$$\tau = K \cdot \frac{G}{h^2},$$

де K – коефіцієнт, який залежить від кута α при вершині конуса (наприклад, для $\alpha = 90^\circ$ $K = 0,159$); G – вага навантаження, Н; h – глибина занурення індентора, мм.

Швидкість деформування визначається усереднено за деякий проміжок часу, за якого швидкість занурення V (мм/с) залишається близькою до постійної:

$$\dot{\gamma} = \frac{V}{h}.$$

Порядок виконання роботи і обробки результатів

Устаткування і матеріали: пластометр, індикатор годинникового типу, секундомір, зразки пластичних матеріалів.

Хід роботи.

На штоку 3 (рис. 8.2) закріплюють потрібний для даного зразка 6 конічний індентор 4 і врівноважують масу рухомих елементів пластометра, зсуваючи

противагу 10 по плечу 9 важеля 7, після чого розташування протиаги 10 і штока 3 фіксують. Зразок 6 досліджуваного матеріалу розміщують на предметному столику 5, після чого закріплюють останній в положенні, коли зразок 6 торкається вершини конусу індентора 4. На опорну плиту 13 встановлюють вантаж 14 та знімають фіксацію зі штока 3. Після зупинки індентора 4 величину його переміщення фіксують індикатором годинникового типу 11. Потім предметний столик 5 опускають, за необхідності зразку 6 знов надають необхідної для вимірювань форми, та досліди повторюють.

За результатами вимірювань побудувати графік залежності напруження в матеріалі від швидкості деформації. Визначити межу текучості та в'язкість матеріалу.

Результати досліджень заносять в протокол до табл. 8.1.

Табл. 8.1. Результати експериментів

Вага навантаження, Н				
Час занурення, с				
Глибина занурення, мм				
Швидкість деформування, с ⁻¹				
Межа текучості, МПа				
Ефективна в'язкість, Па·с				

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке ідеально пластичне середовище?
2. Опишіть властивості середовища Сен-Венана.
3. Опишіть будову та принцип дії експериментальної установки.
4. Як визначають граничне напруження зсуву пластичного матеріалу?

ЛІТЕРАТУРА

1. Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І., Кохан О. О. Пакувальне обладнання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 744 с.
2. Колосов О. Є. Технологія пакувального виробництва : навчальний посібник. Київ : ВПК «Політехніка», 2015. 247 с.
3. Кодра Ю. В., Стоцько З. А., Гаврильченко О. В. Завантажувальні пристрої технологічних машин : розрахунок і конструювання : навчальний посібник. Львів : Бескид Біт, 2008. 356 с.
4. Коваленко І. В. Пакувальне обладнання : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт зі спец. «Машини і технології пакування». Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 47 с.
5. Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І. Пакувальне обладнання. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2008. 436 с.
6. Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І. Пакувальне обладнання. Кн. 2. Обладнання для групового пакування. Львів : [видавець невідомий], [рік видання невідомий]. — (дані уточнюються).
7. Пальчевський Б. О., Крестьянполь О. А., Бондарчук Д. В. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин : навчальний посібник. 2-ге вид., випр. і допов. Луцьк : Вежа-Друк, 2014. 263 с.
8. Сирохман І. В., Завгородня В. М. Товарознавство пакувальних товарів і тари : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 616 с.
9. Сторіжко Й. І., Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І. Термінологічний довідник пакувальника. Київ : Упаковка, 1999. 80 с.

Електронне мережеве навчальне видання

Сокольський Олександр Леонідович
Герасименко Юлія Юріївна

Пакувальні технології та обладнання
Навчальний посібник

для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальностями 131 Прикладна механіка
133 Галузеве машинобудування

Комп'ютерна правка та верстка – авторські