

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

СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ЛІКАРСЬКИХ ФОРМ

Практикум

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Біотехнології»
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Укладачі: Ж.І. Остапенко, М.В. Шафаренко, В.П. Косова

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2025

УДК 621.798, 615.47
С91

Укладачі: *Остапенко Жанна Ігорівна*
Шафаренко Микола Васильович
Косова Віра Петрівна

Рецензент *Авраменко А.О.*, доктор технічних наук, професор, заступник директора Інституту технічної теплофізики НАН України, завідувач відділу тепломасообміну і гідродинаміки в елементах теплоенергетичного устаткування, член – кореспондент НАН України

Відповідальний редактор Мельник В.М., д-р техн. наук, професор

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 10.04.202 р.)
за поданням Вченої ради факультету біотехнології і біотехніки
(протокол № 8 від 24.03.2025 р.)

С91 Сучасні матеріали та обладнання для пакування лікарських форм. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освіт. програмою «Біотехнології» спец. 162 «Біотехнології та біоінженерія» / Ж.І. Остапенко, М.В. Шафаренко, В.П. Косова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 72 с.

В навчальному посібнику викладено основи дослідження властивостей сипучих матеріалів, принципи дії, технічні характеристики та методики розрахунку параметрів обладнання, що застосовується для пакування лікарських форм. Навчальний посібник містить довідниковий матеріал для розрахунку типових апаратів. У навчальному посібнику наведено приклади розрахунку, завдання для самостійної роботи та контрольні запитання.

Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія».

УДК 621.798, 615.47

Реєстр. № 24/25-467 Обсяг 1,6 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, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Практичне заняття 1	6
Практичне заняття 2	12
Практичне заняття 3	21
Практичне заняття 4	27
Практичне заняття 5	35
Практичне заняття 6	43
Практичне заняття 7	49
Практичне заняття 8	57
Рекомендована література	70
Перелік використаних джерел.....	71

ВСТУП

У сучасному світі біотехнологічна та фармацевтична промисловість зазнає значних змін та інновацій, що зумовлює необхідність впровадження новітніх технологій і матеріалів для пакування ліків. Дисципліна "Сучасні матеріали та обладнання для пакування лікарських форм" є невід'ємною складовою підготовки висококваліфікований фахівець зі спеціальності Біотехнології, оскільки якість пакування безпосередньо впливає на ефективність та безпечність медичних препаратів.

Значення пакування ліків не можна переоцінити. Воно забезпечує збереження якості препаратів, захищає їх від впливу зовнішніх факторів, таких як волога, світло, кисень та механічні пошкодження, а також сприяє зручності транспортування і використання. Сучасні вимоги до пакування включають не лише функціональність і надійність, але й екологічність, що підкреслює необхідність використання інноваційних, біорозкладних матеріалів.

Основні завдання циклу практичних занять:

- ознайомити студентів з передовими матеріалами та технологіями, що використовуються у сфері пакування ліків;
- ознайомити студентів з різноманітними видами пакувальних матеріалів, їх властивостей та специфіці застосування;
- навчити студентів досліджувати новітні розробки у галузі пакування, такі як інтелектуальні пакувальні системи, що дозволяють відслідковувати умови зберігання і терміни придатності препаратів.
- ознайомити студентів з сучасним обладнанням для пакування лікарських форм, яке використовується на різних етапах виробничого процесу;
- навчити студентів принципів роботи пакувальних машин, їх технічних характеристик та вимог до експлуатації.

Вивчення дисципліни "Сучасні матеріали та обладнання для пакування лікарських форм" допоможе майбутнім фахівцям опанувати знання і навички,

необхідні для забезпечення високих стандартів якості в фармацевтичній промисловості. Цей посібник стане надійним джерелом інформації, яке сприятиме професійному зростанню і розвитку компетентностей у сфері пакування лікарських засобів.

Практичне заняття 1

Властивості сипучих матеріалів

Мета: ознайомитись із основними характеристиками та властивостями сипучих матеріалів, навчитись визначати дисперсний склад сипучого матеріалу.

У виробництві лікарських засобів сипучі матеріали мають ключове значення, оскільки вони часто використовуються як активні інгредієнти, наповнювачі, допоміжні речовини та для створення оболонок таблеток і капсул. Властивості сипучих матеріалів впливають на всі етапи фармацевтичного виробництва, від змішування і гранулювання до пресування і пакування.

Основні особливості сипучих матеріалів у фармацевтичній промисловості включають:

- Розмір частинок. Однорідність розміру частинок, що забезпечує рівномірне дозування активних речовин у кожній таблетці чи капсулі.
- Форма частинок. сферичні частинки сприяють кращій текучості, тоді як нерівномірні частинки можуть покращити зв'язування під час пресування.
- Насипна густина. Важливий фактор для визначення об'єму, необхідного для зберігання та транспортування сировини.
- Пористість. Впливає на швидкість розчинення та біодоступність ліків. Пористі матеріали можуть забезпечувати повільне вивільнення активних речовин.
- Сипучість. Висока текучість необхідна для точного дозування та заповнення капсул або форм для таблеток.
- Кут природного нахилу. Визначає здатність матеріалу рухатися по виробничих лініях без утворення злежувань.
- Вологовміст. Критично важливо контролювати вологість для запобігання злежуванню і забезпечення стабільності активних речовин.

- Гігроскопічність. Здатність поглинати вологу з навколишнього середовища може призвести до зміни фізичних властивостей і стабільності препаратів.

- Хімічна стабільність. Сипучі матеріали повинні бути хімічно стабільними і не реагувати з іншими компонентами препарату.

- Стійкість до зовнішніх факторів. Матеріали повинні зберігати свої властивості при зберіганні і транспортуванні.

- Стійкість до стирання. Важлива для збереження однорідності сумішей під час транспортування і обробки.

- Механічна міцність. Забезпечує цілісність частинок під час пресування таблеток.

- Схильність до накопичення заряду. Може впливати на процеси змішування і транспортування. Для уникнення цього використовуються антистатичні добавки.

- Відсутність шкідливих домішок. Матеріали повинні бути безпечними для здоров'я, не містити токсичних речовин і відповідати всім регуляторним вимогам.

- Сумісність з біологічними системами. Сипучі матеріали повинні бути безпечними для використання у медичних препаратах і не викликати небажаних реакцій у пацієнтів.

Вивчення властивостей сипучих матеріалів є важливим для забезпечення однорідності, стабільності та точності дозування лікарських засобів. Це дозволяє оптимізувати технологічні процеси пакування, запобігти злежуванню та сегрегації часток. Правильний вибір упаковки, враховуючи фізико-хімічні характеристики сировини, забезпечує збереження якості та ефективності лікарського препарату.

Методика розрахунку властивостей сипучих матеріалів

Сипучий матеріал це полідисперсна система, що характеризується наступними величинами:

- максимальний розмір частинок – $\delta_{\max}$, м;
- мінімальний розмір частинок – $\delta_{\min}$, м;
- середній розмір частинок – δ_{cp} , м;

До характеристик полідисперсних систем можна віднести питому площу поверхні (площу поверхні частинок в одиниці об'єму) – F_{num} , $\text{м}^2 / \text{м}^3$.

Питому площу поверхні можна визначити з співвідношення, $\text{м}^2/\text{м}^3$:

$$F_{num} = \frac{6}{\delta}. \quad (1.1)$$

Важливими характеристиками полідисперсних систем є функції розподілення маси частинок за їх розмірами $D(\delta)$ і $R(\delta)$.

Функція $D(\delta)$ – дорівнює відношенню маси частинок, розмір яких менший за δ до загальної маси частинок.

Функція $R(\delta)$ – дорівнює відношенню маси частинок, розмір яких більший за δ до загальної маси частинок.

Функції щільності розподілення маси частинок за їх розмірами $f(\delta)$ знаходять з співвідношення:

$$f(\delta) = \frac{dD(\delta)}{d\delta} = \left| \frac{dR(\delta)}{d\delta} \right|. \quad (1.2)$$

Для вищенаведених функцій справедливі співвідношення:

$$D(\delta) + R(\delta) = 1; \quad (1.3)$$

$$\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} f(\delta) d\delta = 1. \quad (1.4)$$

Для аналітичного описання функції розподілення маси частинок за їх розмірами $R(\delta)$ найбільш відоме рівняння Розіна-Раммлера:

$$R(\delta) = \exp(-b\delta^n), \quad (1.5)$$

де b і n – емпіричні константи.

Середній розмір частинок – δ_{cp} , і питому площу поверхні F_{num} можна визначити за співвідношеннями:

$$F_{num} = \int_{\delta_{min}}^{\delta_{max}} \frac{6}{\delta} dR(\delta) \quad (1.6)$$

$$\delta_{cp} = \int_{\delta_{min}}^{\delta_{max}} \delta dR(\delta) \quad (1.7)$$

Завдання для самостійної роботи

Визначити емпіричні константи b та n з рівняння дисперсного складу матеріалу після проведення ситового аналізу за вихідними даними, наведеними в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Вихідні дані

№ вар.	$\delta_1 \cdot 10^6, \text{ м}$	$\delta_2 \cdot 10^6, \text{ м}$	$R(\delta_1)$	$R(\delta_2)$
1	60	200	0,4	0,02
2	42	63	0,83	0,64
3	85	160	0,48	0,20
4	120	215	0,04	0,015
5	76	100	0,45	0,70
6	112	150	0,94	0,72
7	58	97	0,07	0,42
8	43	80	0,99	0,08
9	55	95	0,50	0,035
10	110	220	0,57	0,65
11	63	75	0,76	0,90
12	80	120	0,09	0,38
13	97	190	0,60	0,86
14	115	205	0,12	0,62
15	70	147	0,085	0,06

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- розмір частинок $\delta_1 = 50 \cdot 10^6 \text{ м}$;
- розмір частинок $\delta_2 = 180 \cdot 10^6 \text{ м}$;
- функція $R(\delta_1) = 0,37$;
- функція $R(\delta_2) = 0,02$.

Визначити емпіричні константи b та n з рівняння дисперсного складу матеріалу.

1. З рівняння (1.5) записуємо аналітичний вираз для описання дисперсного складу матеріалу:

$$\begin{cases} R(\delta_1) = \exp(-b\delta_1^n); \\ R(\delta_2) = \exp(-b\delta_2^n) \end{cases}$$
$$\begin{cases} 0,37 = \exp\left(-b \cdot (50 \cdot 10^{-6})^n\right) \\ 0,02 = \exp\left(-b \cdot (180 \cdot 10^{-6})^n\right) \end{cases}.$$

2. Прологарифмуємо отримані рівняння:

$$\begin{cases} \ln(R(\delta_1)) = -b\delta_1^n; \\ \ln(R(\delta_2)) = -b\delta_2^n \end{cases}$$
$$\begin{cases} \ln(0,37) = -b \cdot (50 \cdot 10^{-6})^n; \\ \ln(0,02) = -b \cdot (180 \cdot 10^{-6})^n \end{cases}$$
$$\begin{cases} -0,994 = -b \cdot 0,00005^n \\ -3,912 = -b \cdot 0,00018^n \end{cases}.$$

3. Після розв'язання системи рівнянь отримуємо:

$$\begin{aligned} b &= 0,39 \cdot 10^{-7}; \\ n &= 1,07. \end{aligned}$$

Контрольні запитання

1. Що називають сипучим матеріалом?
2. Що описує рівняння Розіна-Раммлера?
3. Що описує функція $D(\delta)$?
4. Навіщо досліджувати властивості сипучих матеріалів при виробництві лікарських форм?
5. Як впливає гігроскопічність сипучих матеріалів на виготовлення лікарських форм?
6. Що описує функція $f(\delta)$?
7. Чим характеризується сипучий матеріал?
8. На що впливає форма то розмір частинок сипучих матеріалів?
9. Які ви знаєте механічні властивості сипучих матеріалів?
10. Які є характеристики полідисперсних систем?

Використана література [1, 8, 11]

Практичне заняття 2

Ситовий просіювач

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії ситового просіювача сипучої сировини, визначити потужність електродвигуна ситового просіювача.

Просіювачі є важливим обладнанням у фармацевтичному виробництві, що забезпечує якісну обробку сипучої сировини, такої як порошки, гранули, активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ) та допоміжні речовини. Вони використовуються для розділення частинок за розміром, видалення грудок, сторонніх домішок і забезпечення однорідності сировини.

Ситові просіювачі використовують при пакуванні лікарських форм для контролю фракційного складу порошкових і гранульованих матеріалів, що впливає на їхню сипучість, рівномірність дозування та технологічні характеристики. Просіювання дозволяє видаляти грудки, агломерати та сторонні включення, забезпечуючи високу якість лікарської сировини перед етапом пакування.

Таким чином, ситові просіювачі є важливим інструментом при підготовці порошкових матеріалів до пакування, що гарантує відповідність лікарських засобів стандартам якості та безпеки.

Ситові просіювачі можна класифікувати за типом:

1. Вібраційні просіювачі. Використовують вібрації для швидкого розділення сировини. Перевагами такого типу обладнання є висока швидкість, точність, можливість роботи з дрібнодисперсною сировиною.

2. Центрифужні просіювачі. Сировина обробляється під дією відцентрової сили. Ефективні для роботи з великими обсягами сировини.

3. Ультразвукові просіювачі. Поєднують вібрації та ультразвукове випромінювання для обробки тендітної та липкої сировини.

Використовуються для високоточного розділення дрібнодисперсних порошків.

4. Ротаційні ситові просіювачі. Використовують обертальні рухи для переміщення сировини через сітку. Застосовуються для розділення великих обсягів сировини.

Вибір конкретного типу просіювача залежить від властивостей сировини та вимог виробництва.

Ситовий просіювач (рис. 2.1) складається із приводу, шнекового живильника, платформи, завантажувального бункера та просіювального механізму, який включає циліндричний корпус з розвантажувальним лотком та сито з нерухомими лопатями.

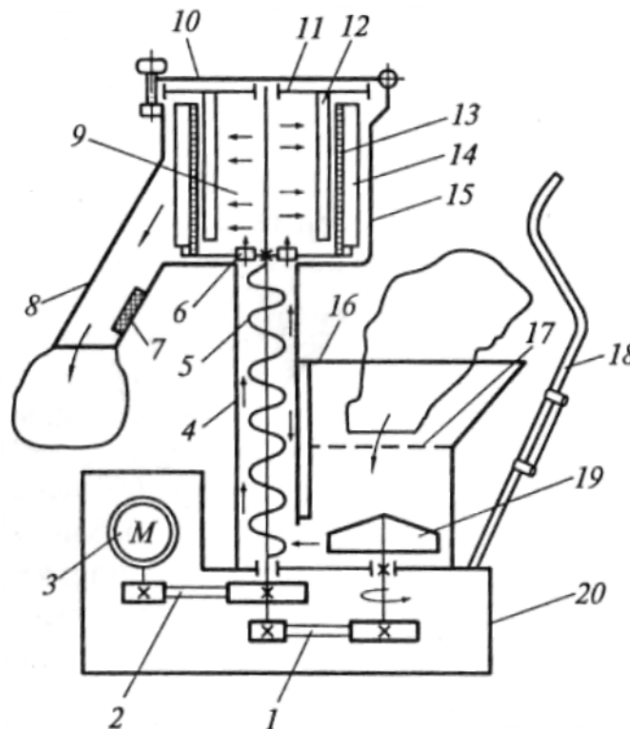


Рис 2.1. Схема ситового просіювача [2]:

- 1,2 – клинопасові передачі; 3 – електродвигун; 4 – труба; 5 – шнек; 6 – отвір;
7 – магнітний уловлювач; 8 – розвантажувальний лоток; 9 – просіювальна
головка; 10 – кришка; 11 – хрестовина; 12 – ножі для розпушування;
13 – циліндричне сито; 14 – скребки; 15 – робоча камера;
16 – завантажувальний бункер; 17 – запобіжна решітка; 18 – перекидач;
19 – крильчатка; 20 – платформа

Всередині платформи 20 розміщений передаточний пристрій, який складається з двох клинопасових передач 1 і 2. Поруч із електродвигуном 3 на платформі закріплена порожниста стойка (труба) 4, в середині якої обертається шнек 5 і подає сировину в просіювальну головку 9 крізь отвір 6. Просіювальна головка складається з робочої камери 15, обертового циліндричного сита 13 із скребками 14, яке закріплене на верхній консолі шнекового живильника, хрестовини 11 з ножами для розпушування 12. Хрестовина закрита кришкою 10, що фіксується відкидними гвинтом і гайкою. На рівні днища робочої камери встановлено розвантажувальний лоток 8 з магнітним уловлювачем 7.

На платформі поруч з порожнистою стойкою знаходиться завантажувальний бункер 16. Він має запобіжну решітку 17 і ручний підйомно-перекидний пристрій 18 для завантаження бункера сировиною. На дні бункера розташована крильчатка 19.

Методика розрахунку ситового просіювача

Продуктивність ситового просіювача, кг/с:

$$Q = 0,625 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi \cdot k, \quad (2.1)$$

де D – зовнішній діаметр шнека, м, (табл. 1);

n – частота обертання шнека, с^{-1} ;

ρ – густина сировини, кг/м^3 ;

ψ – коефіцієнт продуктивності, що враховує умови завантаження та ступінь заповнення шнека;

k – геометричний коефіцієнт, що враховує частину перерізу, який займає шнек та вал.

Таблиця 2.1. Стандартний ряд діаметру шнека ситових просіювачів

Діаметр шнека D , мм	150	200	250	300	400	500	600
------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Критична частота обертання шнеку, с^{-1} :

$$n_{\text{кр}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \text{tg}(\lambda + \varphi)}{f \cdot D_1}}, \quad (2.2)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

D_1 – внутрішній діаметр кожуха, м ;

λ – кут підйому гвинтової поверхні, град;

$\varphi = \arctan f$ – кут тертя спокою сировини по гвинту, град;

f – коефіцієнт тертя сировини по кожуху.

Робоча частота обертання має задовольняти умову:

$$n > n_{\text{кр}}. \quad (2.3)$$

Кут підйому гвинтової поверхні, град:

$$\lambda = \arctan\left(\frac{S}{\pi \cdot D}\right), \quad (2.4)$$

де $S = (0,7 \div 0,8)D$ – крок шнека, м .

Внутрішній діаметр кожуха, м :

$$D_1 = D + 2\delta, \quad (2.5)$$

де δ – радіальний зазор між гвинтом і кожухом, м .

Площа ситової поверхні, м^2 :

$$F_c = \frac{Q}{q}, \quad (2.6)$$

де q – питома продуктивність просіювача, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$.

Діаметр циліндричного сита, м :

$$D_c = D + 2\delta. \quad (2.7)$$

Висота циліндричного сита, м :

$$H_c = \frac{F_c}{\pi \cdot D_c}. \quad (2.8)$$

Потужність електродвигуна, кВт :

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (2.9)$$

де N_1 – потужність, що затрачається на підйом сировини, кВт ;

N_2 – потужність, що затрачається на обертання живильних лопатей, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії приводу.

Потужність, що затрачається на підйом сировини, кВт:

$$N_1 = g \cdot Q \cdot H \cdot k_1 \cdot (\omega + 1) \cdot 10^{-3}, \quad (2.10)$$

де H – висота підйому сировини, м;

k_1 – коефіцієнт, що враховує втрати на тертя шнеку в підшипниках;

ω – коефіцієнт опору руху.

Потужність, що затрачається на обертання живильних лопатей, кВт:

$$N_2 = z \cdot \frac{k_2 \cdot \omega_n^3 \cdot h_1}{408} \cdot (R^4 - r^4), \quad (2.11)$$

де z – число лопатей;

k_2 – коефіцієнт супротиву;

ω_n^3 – кутова швидкість лопатей, с^{-1} ;

R – зовнішній радіус лопаті, м;

r – радіус валу лопаті, м.

Коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta = \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{зуб}}, \quad (2.12)$$

де $\eta_{\text{рем}}$ – коефіцієнт корисної дії ремінної передачі;

$\eta_{\text{зуб}}$ – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати ситовий просіювач за вихідними даними, наведеними в таблиці 2.2.

Параметри лопатей гвинта:

- кількість лопатей $z = 2$ шт;
- висота лопаті $h_1 = 0,03$ м;
- зовнішній радіус лопаті $R = 0,3$ м;
- радіус валу лопаті $r = 0,03$ м;

– кутова швидкість лопатей $\omega_n = 6,23 \text{ c}^{-1}$.

Для розрахунку прийняти такі константи:

– коефіцієнт продуктивності, що враховує умови завантаження та ступінь заповнення шнека $\psi = 0,2 \div 0,3$;

– геометричний коефіцієнт, що враховує частину перерізу, який займає гвинт та вал $k = 0,65 \div 0,75$;

– радіальний зазор між гвинтом і кожухом $\delta = 0,002 \div 0,003 \text{ м}$;

– коефіцієнт тертя сировини по кожуху $f = 0,3 \div 0,7$;

– питома продуктивність просіювача $q = 2,8 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$;

– висота підйому матеріалу $H = 1,6 \text{ м}$;

– коефіцієнт, що враховує втрати на тертя гвинта в підшипниках $k_1 = 1,15 \div 1,20$;

– коефіцієнт супротиву $k_2 = 5000$;

– коефіцієнт опору руху $\omega = 10$;

– коефіцієнт корисної дії ремінної передачі $\eta_{\text{рем}} = 0,95$;

– коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі $\eta_{\text{зуб}} = 0,96$.

Таблиця 2.2. Вихідні дані

№ вар.	$Q, \text{ кг} / \text{год}$	$\rho, \text{ кг} / \text{м}^3$	$n, \text{ c}^{-1}$
1	1500	550	3,5
2	2000	725	2,83
3	1200	500	3,16
4	1600	480	2,66
5	2000	620	3,5
6	1000	760	3,6
7	1200	500	2,5
8	2000	600	3,8
9	800	750	2,5
10	2500	540	3,5
11	900	725	3,33
12	1400	550	2,66
13	1700	760	3,0
14	1300	620	2,83
15	2100	480	3,33

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- продуктивність ситового просіювача $Q = 950 \text{ кг} / \text{год} = 0,264 \text{ кг} / \text{с}$;
- густина сировини $\rho = 700 \text{ кг} / \text{м}^3$;
- частота обертання шнека $n = 3,7 \text{ с}^{-1}$.

Визначити потужність електродвигуна ситового просіювача N , кВт .

1. З рівняння (2.1) визначаємо зовнішній діаметр шнека:

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{0,625 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi \cdot k}} = \sqrt[3]{\frac{0,264}{0,625 \cdot 3,7 \cdot 700 \cdot 0,2 \cdot 0,7}} = 0,1 \text{ м}.$$

2. За таблицею 2.1 обираємо стандартний діаметр шнека:

$$D = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}.$$

3. З рівняння (2.5) визначаємо внутрішній діаметр кожуха:

$$D_1 = D + 2\delta = 0,15 + 2 \cdot 0,002 = 0,152 \text{ м}.$$

4. Визначаємо крок шнека:

$$S = (0,7 \div 0,8)D = 0,75 \cdot 0,15 = 0,113 \text{ м}.$$

5. З рівняння (2.4) визначаємо кут підйому гвинтової поверхні:

$$\lambda = \arctan\left(\frac{S}{\pi \cdot D}\right) = \arctan\left(\frac{0,113}{3,14 \cdot 0,15}\right) = 13,44^\circ.$$

6. Визначаємо кут тертя спокою сировини по гвинту:

$$\varphi = \arctan f = \arctan(0,5) = 26,57^\circ.$$

7. З рівняння (2.2) визначаємо критичну частоту обертання шнеку:

$$n_{кр} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \tan(\lambda + \varphi)}{f \cdot D_1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot \tan(13,44 + 26,57)}{0,5 \cdot 0,152}} = 0,74 \text{ с}^{-1}.$$

8. Перевіряємо умову (2.3):

$$n > n_{кр};$$
$$3,7 \text{ с}^{-1} > 0,74 \text{ с}^{-1}.$$

Умова виконується.

9. З рівняння (2.6) визначаємо площу ситової поверхні:

$$F_c = \frac{Q}{q} = \frac{0,264}{2,8} = 94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

10. З рівняння (2.7) визначаємо діаметр циліндричного сита:

$$D_c = D + 2\delta = 0,15 + 2 \cdot 0,002 = 0,152 \text{ м}.$$

11. З рівняння (2.8) висоту циліндричного сита:

$$H_c = \frac{F_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{94 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,152} = 0,2 \text{ м}.$$

12. З рівняння (2.10) потужність, що затрачається на підйом сировини:

$$N_1 = g \cdot Q \cdot H \cdot k_1 \cdot (\omega + 1) \cdot 10^{-3} = 9,81 \cdot 0,264 \cdot 1,6 \cdot 1,15 \cdot (10 + 1) \cdot 10^{-3} = 52 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

13. З рівняння (2.11) визначаємо потужність, що затрачається на обертання живильних лопатей:

$$N_2 = z \cdot \frac{k_2 \cdot \omega_n^3 \cdot h_1}{408} \cdot (R^4 - r^4) = 2 \cdot \frac{5000 \cdot 6,23^3 \cdot 0,03}{408} \cdot (0,3^4 - 0,03^4) = 1,44 \text{ кВт}.$$

14. З рівняння (2.12) визначаємо коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta = \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{зуб}} = 0,95 \cdot 0,96 = 0,912.$$

15. З рівняння (2.9) визначаємо потужність електродвигуна ситового просіювача:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta} = \frac{52 \cdot 10^{-3} + 1,44}{0,912} = 1,64 \text{ кВт}.$$

Контрольні запитання

1. Які типи ситових просіювачів виділяють за принципом дії?
2. Як працюють центрифужні просіювачі, і для яких матеріалів вони підходять?
3. З яких основних компонентів складається ситовий просіювач?
4. Як функціонує шнековий живильник у ситовому просіювачі?
5. Яка роль магнітного уловлювача у конструкції просіювача?

6. Як хрестовина з ножами для розпушування сприяє ефективності роботи просіювача?
7. Які параметри враховуються при розрахунку продуктивності ситового просіювача?
8. Як визначається критична частота обертання шнека?
9. Що таке кут підйому гвинтової поверхні, і як він розраховується?
10. Як обчислюється потужність електродвигуна, необхідна для роботи просіювача?

Використана література [1, 2, 9, 10]

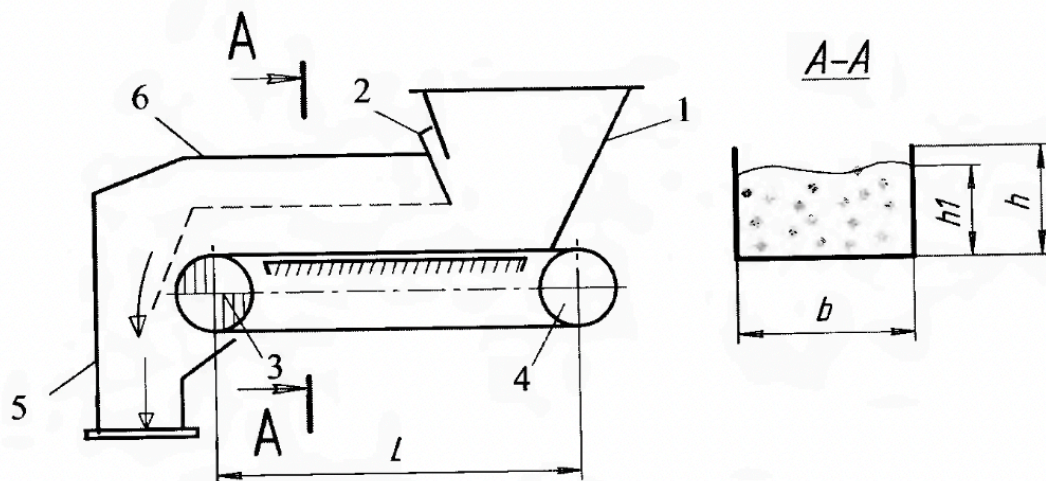
Практичне заняття 3

Стрічковий живильник

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії стрічкового живильника, визначити повну потужність стрічкового живильника та швидкість руху стрічки.

Живильники призначені для рівномірної подачі сировини на зважування. Стрічкові живильники являють собою стрічкові конвеєри, що приводяться в рух покроковими електродвигунами. Такі двигуни забезпечують різну інтенсивність потоку сировини.

Стрічкові живильники у фармацевтичній промисловості використовують при пакуванні лікарських форм для точної та безперервної подачі сипучих або гранульованих матеріалів у пакувальне обладнання. Вони забезпечують контрольовану швидкість транспортування порошків, гранул або таблеткових мас, що дозволяє підтримувати стабільний виробничий процес і запобігати втратам сировини. Схема стрічкового живильника представлена на рисунку 3.1.



Стрічкові живильники мають достатньо просту конструкцію та складаються з рухомої стрічки, натяжного механізму, бункера та приводу. Конструктивні елементи стрічкових живильників виготовляються з матеріалів, стійких до корозії та доступні до швидкого розбирання, що дозволяє легко їх очищувати та замінювати у разі поломок. Сучасні моделі можуть забезпечувати високу точність дозування (до міліграмів), що важливо для фармацевтичних продуктів.

Принцип роботи стрічкових живильників ґрунтується на безперервному або періодичному транспортуванні сипучої сировини за допомогою рухомої стрічки. Ці пристрої забезпечують точне дозування та рівномірне подавання матеріалів у виробничий процес.

Основні етапи роботи стрічкового живильника:

1. Подача сировини в бункер. Сировина, яку необхідно транспортувати або дозувати, завантажується у вхідний бункер живильника.

2. Рух стрічки. Рухома стрічка приводиться в дію за допомогою електродвигуна через приводний механізм. Вона може мати гладку або ребристу поверхню для кращого утримання сировини.

3. Регулювання швидкості стрічки. Для забезпечення потрібного рівня подачі швидкість руху стрічки регулюється за допомогою частотного перетворювача або інших механізмів управління.

4. Дозування сировини. За рахунок рівномірного руху стрічки забезпечується точне дозування сировини. В залежності від потреб, може використовуватися система зважування, яка контролює кількість поданої сировини.

5. Вивантаження сировини. Сировина поступово транспортується до кінця стрічки, де відбувається його вивантаження у приймальний пристрій або інше обладнання (наприклад, змішувач або гранулятор).

Методика розрахунку стрічкового живильника

Продуктивність стрічкового живильника, кг/с:

$$Q = b \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot \psi, \quad (3.1)$$

де b – ширина шару сировини на стрічці, м;

h – товщина шару сировини на стрічці, м;

v – швидкість руху стрічки, м/с;

ρ – густина сировини, кг/м³;

ψ – коефіцієнт заповнення живильника.

Потужність, що витрачається на переміщення сировини, Вт:

$$N_1 = W \cdot (m_0 \cdot v + Q \cdot L_z) \cdot g + H \cdot Q \cdot g, \quad (3.2)$$

де W – коефіцієнт опору переміщенню навантаженню стрічки;

m_0 – маса стрічки, кг;

L_z – горизонтальна проекція стрічки, м;

H – висота підйому сировини, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Потужність на тертя сировини об жолоб, Вт:

$$N_2 = P_n \cdot f \cdot v, \quad (3.3)$$

де P_n – сила, прикладена по нормалі до жолобу, Н;

f – коефіцієнт тертя сировини.

Сила, прикладена по нормалі до жолобу, Н:

$$P_n = m \cdot g \cdot \cos \theta, \quad (3.4)$$

де θ – кут природнього укосу, град;

m – маса сировини, кг:

$$m = \frac{h^2 \cdot l \cdot \rho}{\tan \theta}, \quad (3.5)$$

де l – довжина стрічки, м.

Повна потужність приводу стрічкового живильник, Вт:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (3.6)$$

де η – коефіцієнт корисної дії передачі приводу.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати стрічковий живильник за вихідними даними, наведеними в таблиці 3.1.

Для розрахунку прийняти такі константи:

- довжина стрічки живильника $l = 12$ м;
- коефіцієнт заповнення живильника $\psi = 0,6 \div 0,9$;
- коефіцієнт опору переміщенню навантаженню стрічки $W = 0,1 \div 0,3$;
- коефіцієнт тертя сировини $f = 0,28 \div 0,42$;
- коефіцієнт корисної дії передачі приводу $\eta = 0,85$.

Таблиця 3.1. Вихідні дані

№ вар.	Q , кг / год	m_0 , кг	ρ , кг / м ³	b , мм	h , мм	H , м	L_z , м	θ , град
1	180	12	2800	400	50	0,6	1,8	15
2	400	4,5	1400	350	80	0	3,5	20
3	130	11	3400	330	30	0,5	3,0	25
4	600	8,5	3700	200	40	1,0	2,5	30
5	220	4,5	2800	350	30	1,2	1,5	15
6	130	5	1400	440	60	0	1,8	20
7	480	12	3400	380	40	0,5	3,0	25
8	150	11	3700	200	60	0,7	3,8	30
9	130	16	2800	350	60	0,8	1,5	15
10	200	11	1400	300	50	1,0	1,8	20
11	460	4,5	3400	200	40	0,5	3,5	25
12	600	8,5	3700	300	30	0,5	1,6	30
13	160	12	1800	400	60	0	2,5	15
14	400	10	3200	300	40	1,0	3,0	20
15	180	8,5	2700	220	50	0,7	1,5	25

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- продуктивність стрічкового живильника $Q = 170 \text{ кг} / \text{год} = 0,047 \text{ кг} / \text{с}$;
- маса стрічки живильника $m_0 = 9 \text{ кг}$;
- густина сировини $\rho = 3000 \text{ кг} / \text{м}^3$;
- ширина шару сировини $b = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$;
- товщина шару сировини $h = 35 \text{ мм} = 0,035 \text{ м}$;
- висота підйому сировини $H = 0,9 \text{ м}$;
- горизонтальна проекція стрічки $L_z = 3,2 \text{ м}$;
- кут природнього укосу $\theta = 25^\circ$.

Визначити повну потужність приводу стрічкового живильника N , кВт.

1. З рівняння (3.1) визначаємо швидкість руху стрічки:

$$v = \frac{Q}{b \cdot h \cdot \rho \cdot \psi} = \frac{0,047}{0,25 \cdot 0,035 \cdot 3000 \cdot 0,7} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ м} / \text{с}.$$

2. З рівняння (3.2) визначаємо потужність, що витрачається на переміщення сировини:

$$\begin{aligned} N_1 &= W \cdot (m_0 \cdot v + Q \cdot L_z) \cdot g + H \cdot Q \cdot g = \\ &= 0,2 \cdot (9 \cdot 18 \cdot 10^{-3} + 0,047 \cdot 3,2) \cdot 9,81 + 0,9 \cdot 0,047 \cdot 0,81 = 1,022 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

3. З рівняння (3.5) визначаємо масу сировини:

$$m = \frac{h^2 \cdot l \cdot \rho}{\tan \theta} = \frac{0,035^2 \cdot 12 \cdot 3000}{\tan 25} = 94,6 \text{ кг}.$$

4. З рівняння (3.4) визначаємо силу, прикладену по нормалі до жолобу:

$$P_n = m \cdot g \cdot \cos \theta = 94,6 \cdot 9,81 \cdot \cos 25 = 841 \text{ Н}.$$

5. З рівняння (3.3) визначаємо потужність на тертя сировини об жолоб:

$$N_2 = P_n \cdot f \cdot v = 841 \cdot 0,3 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 4,54 \text{ кВт}.$$

6. З рівняння (3.6) повну потужність на привід стрічкового живильник:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta} = \frac{1,022 + 4,54}{0,85} = 6,54 \text{ кВт}.$$

Контрольні запитання

1. Для чого призначені стрічкові живильники?
2. Як забезпечується рівномірна подача сировини у стрічкових живильниках?
3. Яка роль покрокових електродвигунів у роботі стрічкових живильників?
4. З яких основних конструктивних елементів складається стрічковий живильник?
5. Чому висока точність дозування є важливою для стрічкових живильників?
6. Як регулюється швидкість руху стрічки у стрічкових живильниках?
7. Що відбувається на етапі вивантаження матеріалу у стрічкових живильниках?
8. Які параметри впливають на продуктивність стрічкового живильника?
9. Як розраховується потужність, необхідна для переміщення матеріалу?
10. Які чинники враховуються при розрахунку сили тертя продукту об жолоб?

Використана література [1, 5, 7, 10]

Практичне заняття 4

Тарілчастий живильник

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії тарілчастого живильника, визначити продуктивність та потужність тарілчастого живильника.

Тарілчасті живильники широко застосовуються у фармацевтичній промисловості при пакуванні лікарських форм для контрольованої подачі таблеток, капсул або гранул у пакувальне обладнання. Вони забезпечують автоматизоване транспортування дозованих часток без пошкодження, що важливо для збереження цілісності лікарських засобів.

Тарілчасті живильники використовуються для подачі лікарських засобів у різні види упаковки, такі як блістерні упаковки, флакони та контейнери. Вони забезпечують точне заповнення кожного осередку блістера відповідною кількістю таблеток або капсул, а також гарантують рівномірне дозування лікарських форм у пляшечки або баночки без перевищення або нестачі доз.

При транспортуванні чутливих до механічного впливу таблеток або капсул важливо уникати їхнього подрібнення чи розтріскування. Тарілчасті живильники мають м'який механізм подачі, що мінімізує механічний вплив на лікарські форми. Вони забезпечують плавний рух і правильну орієнтацію кожної таблетки або капсули перед фасуванням.

Використання тарілчастих живильників дозволяє значно зменшити потребу в ручному втручанні у виробничий процес. Це особливо важливо для масштабного виробництва, де необхідна висока швидкість фасування при збереженні точності та якості продукції. Їх ефективність і універсальність роблять їх незамінними для різних етапів виробництва фармацевтичної продукції. Головною відмінністю тарілчастого живильника від стрічкового є можливість транспортування малих доз сировини для забезпечення точності дозування.

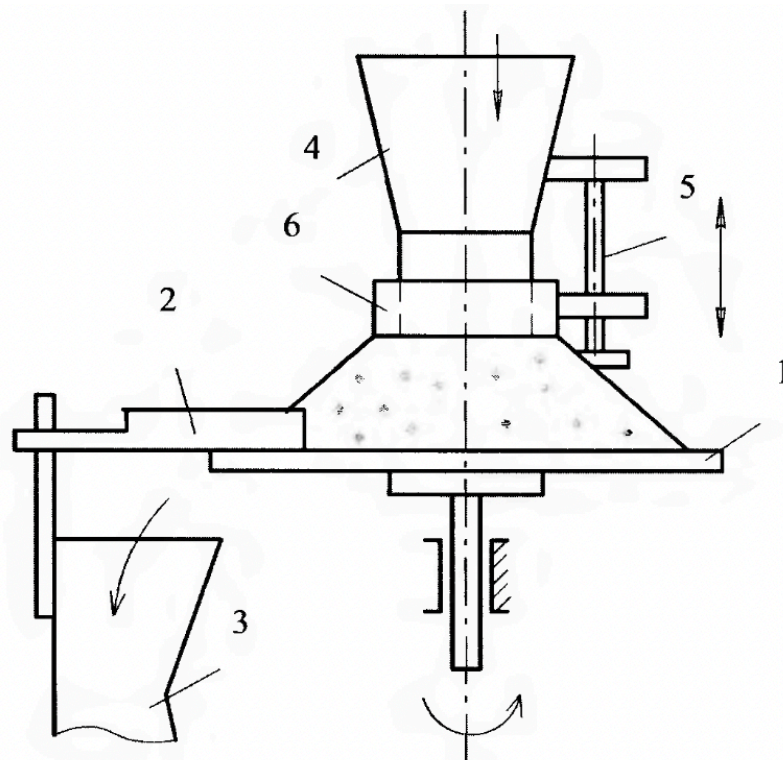


Рис. 4.1. Схема тарілчастого живильника [1]:

1 – тарілка; 2 – скребок; 3 – лійка; 4 – бункер;

5 – механізм регулювання; 6 – манжета

Основним робочим органом тарілчастого живильника є тарілка. Сировина надходить з бункера через манжету, яка за допомогою регулювального пристрою може переміщуватись вниз або вгору по поверхні тарілки. В позиції розвантаження тарілчастого живильника над тарілкою встановлений скребок, який направляє відокремлену сировину в лійку. В залежності від частоти обертання тарілки і висоти розташування манжети можна змінювати інтенсивність подачі сировини.

Продуктивність тарілчастого живильника залежить від висоти манжети та частоти обертання тарілки. При встановленні частоти обертання тарілки слід контролювати швидкість, для уникнення створення відцентрових сил і виносу сировини з живильника.

Принцип роботи тарілчастого живильника базується на використанні обертаної тарілки для рівномірного дозування і транспортування сипучих матеріалів, таких як порошки, гранули або дрібні тверді частинки. Цей

механізм дозволяє досягати високої точності подавання сировини та рівномірного потоку в різних виробничих процесах. Основні етапи роботи тарілчастого живильника

1. Завантаження сировини. Сировина надходить із бункера або вхідного патрубку на обертову тарілку живильника.

2. Розподіл сировини. Сировина рівномірно розподіляється по поверхні тарілки під дією її обертання. Швидкість розподілу залежить від конструкції тарілки (плоска, ребриста або зі спеціальними комірками).

3. Регулювання потоку. Швидкість обертання тарілки регулюється за допомогою частотного перетворювача або механічного приводу. Це дозволяє змінювати кількість поданої сировини залежно від потреб процесу.

4. Дозування. Вибраний обсяг сировини подається у вихідний патрубок або на приймальне обладнання (наприклад, змішувач, таблетковий прес або пакувальний апарат).

5. Контроль рівномірності. У багатьох конструкціях передбачені додаткові механізми, наприклад, ворушили або регулювальні заслінки, які запобігають злежуванню або утворенню грудок у сировині.

6. Вивантаження сировини. Під час обертання тарілки сировина вивантажується через вихідний патрубок і спрямовується до наступного етапу виробництва.

Методика розрахунку тарілчастих живильників

Умова працездатності живильника, при якій відцентрові сили будуть менше ніж сили зчеплення сировини з тарілкою:

$$\begin{aligned} J &< F_{\text{тр}} , \\ m \cdot R_1 \cdot \omega_{\text{кр}}^2 &< m \cdot g \cdot f , \end{aligned} \tag{4.1}$$

де m – маса сировини, що рухається по тарілці, кг;

$\omega_{\text{кр}}$ – критична кутова швидкість, с^{-1} ;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

f – коефіцієнт тертя сировини;

R_1 – найбільший радіус обертання частинки, м:

$$R_1 = R + \frac{h}{\tan \theta}, \quad (4.2)$$

де θ – кут природнього укосу, град;

h – висота шару, м.

Маса матеріалу, кг:

$$m = F_u \cdot L \cdot \rho, \quad (4.3)$$

де F_u – площа поперечного перетину шару, м²;

L – довжина призми зсипання, м;

ρ – густина сировини, кг/м³.

Довжина призми зсипання, м:

$$L = 2\pi \cdot R_0, \quad (4.4)$$

де R_0 – відстань від осі обертання тарілки, м.

Відстань від осі обертання тарілки, м:

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \tan \theta}. \quad (4.5)$$

Площа поперечного перетину шару сировини, м²:

$$F_u = \frac{h^2}{2 \tan \theta}. \quad (4.6)$$

Об'єм шару сировини, який знімається скребком за один оберт тарілки, м³:

$$V_u = 2\pi \cdot R_0 \cdot F_u. \quad (4.7)$$

Продуктивність тарілчастого живильника, кг/с:

$$Q = V_u \cdot \rho \cdot n, \quad (4.8)$$

де n – частота обертання, с⁻¹.

Потужність, що витрачається на подолання опору від тертя сировини об тарілку, Вт:

$$N_1 = F_{mp} \cdot v, \quad (4.9)$$

де $v = \omega \cdot R_0$ – швидкість руху сировини по шкребку, м/с;

$\omega = (0,3 \div 0,5) \omega_{кр}$, c^{-1} – робоча кутова швидкість, c^{-1} .

Потужність, що витрачається на подолання опору від тертя сировини об шкребок, Вт:

$$N_2 = F_{mp} \cdot v \cdot \cos \beta, \quad (4.10)$$

де β – кут установки шкребка, град.

Загальна потужність, Вт:

$$N = N_1 + N_2. \quad (4.11)$$

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати тарілчастий живильник за вихідними даними, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Вихідні дані

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

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- кут, під яким встановлено шкребки тарілчастого живильника $\beta = 50^\circ$;
- радіус обертання частинок $R = 165 \text{ мм} = 0,165 \text{ м}$;
- густина сировини $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$;
- висота шару сировини $h = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$;
- кут природнього укосу $\theta = 30^\circ$;
- коефіцієнт тертя $f = 0,4$.

Визначити продуктивність тарілчастого живильника Q , кг/с та загальну потужність N , кВт .

1. З рівняння (4.2) визначаємо найбільший радіус обертання частинки:

$$R_1 = R + \frac{h}{\tan \theta} = 0,165 + \frac{0,05}{\tan 30} = 0,25 \text{ м}.$$

2. З рівняння (4.5) визначаємо відстань від осі обертання тарілки:

$$R_0 = R + \frac{h}{3 \tan \theta} = 0,165 + \frac{0,05}{3 \cdot \tan 30} = 0,19 \text{ м}.$$

3. З рівняння (4.4) визначаємо довжину призми зсипання:

$$L = 2\pi \cdot R_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,19 = 1,22 \text{ м}.$$

4. З рівняння (4.6) визначаємо площу поперечного перетину шару сировини:

$$F_u = \frac{h^2}{2 \tan \theta} = \frac{0,05^2}{2 \cdot \tan 30} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

5. З рівняння (4.3) визначаємо масу сировини:

$$m = F_u \cdot L \cdot \rho = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,22 \cdot 3000 = 7,32 \text{ кг}.$$

6. З рівняння (4.7) визначаємо об'єм шару сировини, який знімається скребком за один оберт тарілки:

$$V_u = 2\pi \cdot R_0 \cdot F_u = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,19 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

7. З рівняння (4.7) визначаємо критичну кутова швидкість:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g \cdot f}{R_1}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,4}{0,25}} = 3,96 \text{ с}^{-1}.$$

8. Практична кутова швидкість буде дорівнювати:

$$\omega = (0,3 \div 0,5) \omega_{кр} = 0,4 \cdot 3,96 = 1,58 \text{ с}^{-1}.$$

9. З рівняння (4.8) визначаємо продуктивність тарілчастого живильника:

$$Q = V_{ш} \cdot \rho \cdot n = V_{ш} \cdot \rho \cdot \frac{\omega}{2\pi} = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 \cdot \frac{1,58}{2 \cdot 3,14} = 1,81 \text{ кг / с}.$$

10. З рівняння (4.1) визначаємо силу зчеплення сировини з тарілкою:

$$F_{mp} = m \cdot g \cdot f = 7,31 \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 28,72 \text{ Н}.$$

11. Швидкість руху сировини по шкребку:

$$v = \omega \cdot R_0 = 1,58 \cdot 0,19 = 0,3 \text{ м / с}.$$

12. З рівняння (4.9) визначаємо потужність, що витрачається на подолання опору від тертя сировини об тарілку:

$$N_1 = F_{mp} \cdot v = 28,72 \cdot 0,3 = 8,6 \text{ кВт}.$$

13. З рівняння (4.10) визначаємо потужність що витрачається на подолання опору від тертя сировини об шкребок

$$N_2 = F_{mp} \cdot v \cdot \cos \beta = 28,73 \cdot 0,3 \cdot \cos 50 = 5,52 \text{ кВт}.$$

14. З рівняння (4.11) визначаємо загальну потужність тарілчастого живильника:

$$N = N_1 + N_2 = 8,65,52 = 14,12 \text{ кВт}.$$

Контрольні запитання

1. Яке основне призначення тарілчастих живильників у фармацевтичній промисловості?
2. Яка головна конструктивна відмінність тарілчастих живильників від стрічкових?
3. З яких основних елементів складається тарілчастий живильник?
4. Яка роль манжети у конструкції тарілчастого живильника?
5. Чому важливо уникати надмірної швидкості обертання тарілки?

6. Як забезпечується рівномірний розподіл сировини на тарілці?
7. Які додаткові механізми запобігають злежуванню або утворенню грудок у сировині?
8. Для яких фармацевтичних процесів використовуються тарілчасті живильники?
9. Як розраховується продуктивність тарілчастого живильника?
10. Що таке довжина призми зсипання, і як вона розраховується?

Використана література [1, 5, 11]

Практичне заняття 5

Шнековий змішувач

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії шнекового змішувача порошкоподібних матеріалів, визначити потужність двигуна приводу шнекового змішувача.

Шнекові змішувачі призначені для отримання однорідної суміші, яка складається з двох і більше компонентів. Процес змішування слід розглядати як процес створення рівномірного розподілу частинок окремих компонентів по всьому об'єму суміші. Головним якісним показником процесу змішування є однорідність отриманої суміші.

Шнекові змішувачі використовують у фармацевтичній промисловості для ретельного та рівномірного змішування сипучих матеріалів перед пакуванням. Вони забезпечують високу однорідність порошкових і гранульованих лікарських форм, що критично важливо для рівномірного розподілу активних речовин і допоміжних компонентів.

Шнекові змішувачі забезпечують високу точність дозування. Однорідність суміші гарантує, що кожна доза препарату містить необхідну кількість активної речовини, що важливо для ефективності та безпечності лікарських засобів. Це особливо актуально для порошкових форм, що фасуються у капсули, пакетики або пресуються у таблетки.

Деякі порошкові речовини мають схильність до злежування або утворення грудок, що може негативно впливати на їхню сипучість та якість фасування. Шнекові змішувачі допомагають розпушити порошкові матеріали, зберігаючи їхню сипучість та покращуючи потік у фасувальному обладнанні.

Типи шнекових змішувачів:

1. Одношнекові. Використовуються для роботи з порошками та гранулами, забезпечують простоту конструкції.

2. Двошнекові. Ефективні для змішування матеріалів із різною щільністю чи розмірами частинок.

3. Вертикальні шнекові змішувачі. Підходять для малих обсягів сировини, забезпечуючи інтенсивне змішування.

4. Горизонтальні шнекові змішувачі. Застосовуються для великих партій сировини, забезпечуючи швидкість і якість процесу.

Шнекові змішувачі складаються з циліндричного кожуха, всередині якого розміщені один або два шнеки, а також бункера, заслінки для регулювання подачі сировини і випускного патрубку (рис 5.1).

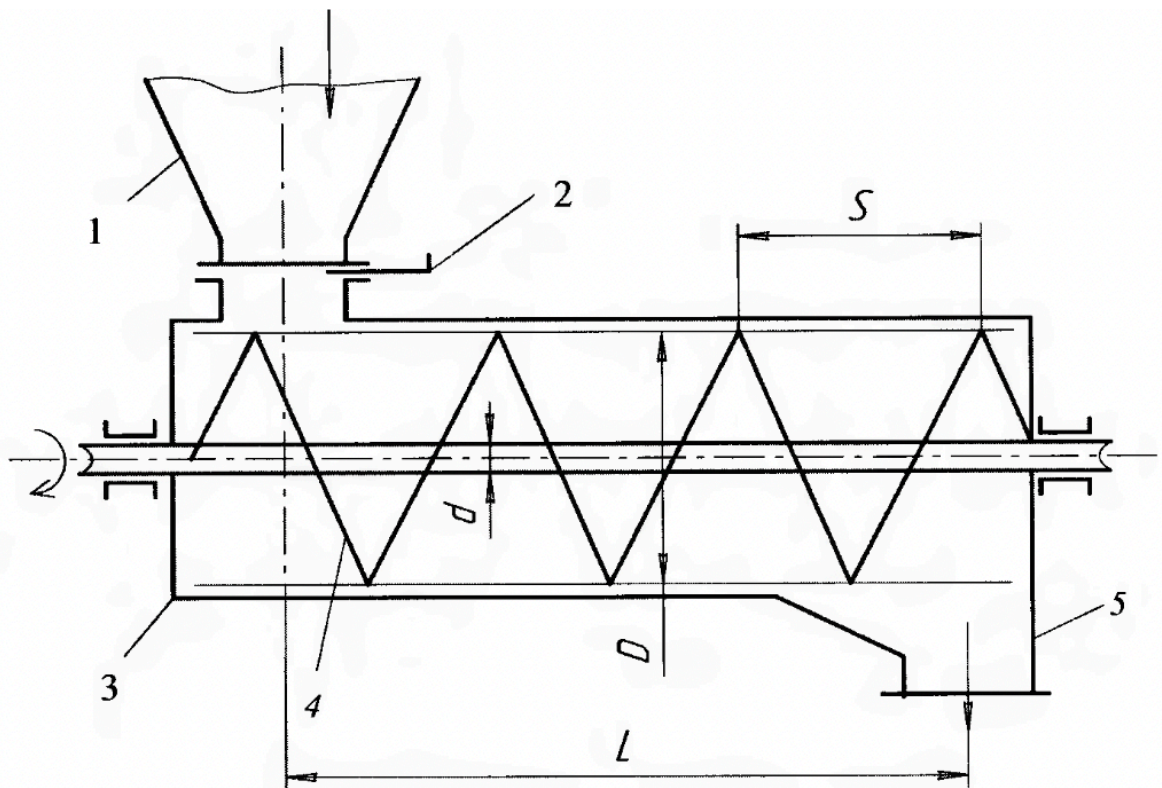


Рис. 5.1. Схема шнекового змішувача [1]:

1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – кожух; 4 – шнек; 5 – випускний патрубок

Поверхня шнека може бути суцільною, стрічковою або у вигляді окремих лопатей. Шнеки з суцільною поверхнею переважно застосовуються для переміщення сировини, що злежалась, в'язкої продукції, а також коли технологічний процес потребує інтенсивного перемішування.

Основні етапи роботи шнекового змішувача:

1. Завантаження сировини. Сировина завантажується у бункер змішувача через завантажувальний патрубок.

2. Переміщення шнеком. Обертання шнека створює тягу, яка переміщує сировину вздовж осі шнека. Завдяки цьому відбувається інтенсивне перемішування.

3. Розподіл сировини. У залежності від конструкції (одношнекової або двошнекової), сировина може переміщуватись у різних напрямках для досягнення більшої однорідності. Двошнекові змішувачі, наприклад, забезпечують зворотний рух сировини між шнеками.

4. Рівномірне змішування. В процесі обертання сировина піднімається, перевертається і перемішується, що забезпечує рівномірність суміші навіть для компонентів із різними властивостями (щільність, розмір частинок).

5. Розвантаження сировини. Готова суміш через розвантажувальний патрубок переміщується в приймальний контейнер або на наступний етап виробництва.

Особливості роботи шнекового змішувача. Завдяки спеціальній геометрії шнека, матеріал змішується як вздовж, так і поперек осі обертання, що забезпечує високу ефективність. Частота обертання шнека регулюється, що дозволяє змінювати швидкість і ступінь змішування в залежності від властивостей матеріалів. Конструкція шнека забезпечує делікатне перемішування, що важливо для матеріалів, чутливих до механічного впливу.

Основні сфери застосування шнекових змішувачів:

1. Змішування активних інгредієнтів та наповнювачів. Шнекові змішувачі забезпечують рівномірний розподіл АФІ у наповнювачах, що важливо для дозування та ефективності ліків.

2. Грануляція. Використовуються для підготовки порошкових сумішей перед грануляцією, що підвищує якість таблетування та наповнення капсул.

3. Підготовка основ для мазей і кремів. Працюють з пастоподібними матеріалами, забезпечуючи їхню рівномірність і стабільність.

4. Ліофілізація. Використовуються для змішування порошків, які пізніше піддаються ліофілізації, забезпечуючи їхню однорідність.

5. Виробництво шипучих таблеток. Дозволяють рівномірно змішувати активні компоненти з кислотно-лужними добавками для досягнення необхідного ефекту.

Методика розрахунку шнекового змішувача

Продуктивність змішувача, кг/с:

$$Q = \frac{D \cdot E \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho \cdot R_{\beta}}{0,275}, \quad (5.1)$$

де D – діаметр шнека, м;

E – відношення кроку шнека до його діаметра;

n – частота обертання шнека, хв^{-1} ;

φ – коефіцієнт заповнення жолоба (табл. 5.3);

ρ – густина сировини, т/м^3 ;

R_{β} – коефіцієнт зменшення продуктивності від кута нахилу конвєсра (табл. 5.1);

β – кут нахилу змішувача, град.

Таблиця 5.1. Стандартний ряд діаметру та кроку шнека

Діаметр D , мм	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800
Крок S , мм	80	100	125	160	200	250	320	400	500	650

Таблиця 5.2. Значення коефіцієнта R_{β}

β , град	0	5	10	15	20
R_{β}	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Максимальна частота обертання валу, с^{-1} :

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}}, \quad (5.2)$$

де A – коефіцієнт, що враховує характер сировини (табл. 5.3).

Робоча частота обертання має задовольняти умову:

$$n \leq n_{\max}. \quad (5.3)$$

Потужність на валу шнеку, кВт:

$$N_0 = \frac{Q}{367} (L_z \cdot \omega \pm H) + 0,02 \cdot R \cdot g_k \cdot L_z \cdot \omega_g, \quad (5.4)$$

де L_z – горизонтальна проєкція довжини змішувача, м:

$$L_z = L \cdot \cos \beta; \quad (5.5)$$

L – довжина змішувача, м;

H – висота підйому (+) або опускання (-) сировини, м:

$$H = L \cdot \sin \beta; \quad (5.6)$$

ω – коефіцієнт супротиву переміщенню сировини (табл.5.3);

R – коефіцієнт, що враховує характер переміщення шнеку;

ω_g – коефіцієнт супротиву руху обертових частин шнеку;

g_k – погонна маса обертових частин конвеєра, кг/м:

$$g_k = 80 \cdot D. \quad (5.7)$$

Таблиця 5.3. Значення коефіцієнтів A , φ , ω в залежності від характеру сировини

Сировина	A	φ	ω
Легка неабразивна	65	0,4	1,2
Легка малоабразивна	50	0,32	1,6
Важка малоабразивна	45	0,25	2,5
Важка абразивна	30	0,125	4,0

Потужність двигуна приводу шнекового змішувача, кВт:

$$N = \frac{K_z \cdot N_0}{\eta}, \quad (5.8)$$

де K_z – коефіцієнт запасу;

η – коефіцієнт корисної дії двигуна.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати шнековий змішувач за вихідними даними, наведеними в таблиці 5.4.

Для розрахунку прийняти такі константи:

- відношення кроку гвинта до його діаметра, $E = 0,8$ для абразивної сировини, $E = 1,0$ для неабразивної та малоабразивної;
- коефіцієнт супротиву руху обертових частин гвинта $\omega_g = 0,16$;
- коефіцієнт, що враховує характер переміщення гвинта $R = 0,2$;
- коефіцієнт запасу $K_z = 1,25$;
- коефіцієнт корисної дії двигуна $\eta = 0,85$.

Таблиця 5.4. Вихідні дані

№. вар	$Q, \text{ т / добу}$	$L, \text{ м}$	$\beta, \text{ град}$	$\rho, \text{ кг / м}^3$	$n, \text{ хв}^{-1}$	Характер сировини
1	850	4	+5	580	90	Легка неабразивна
2	650	5	+20	420	70	Легка малоабразивна
3	820	6	+10	570	40	Важка малоабразивна
4	880	3	-15	300	100	Важка абразивна
5	800	3,5	-5	430	50	Легка неабразивна
6	980	5,5	+10	370	60	Легка малоабразивна
7	950	4,5	-20	570	110	Важка малоабразивна
8	1000	6	+15	600	30	Важка абразивна
9	730	3	-10	500	120	Легка неабразивна
10	680	6	+20	550	70	Легка малоабразивна
11	720	4,5	-15	400	80	Важка малоабразивна
12	700	4	+5	300	40	Важка абразивна
13	740	3,5	+15	450	50	Легка неабразивна
14	600	5	-5	600	60	Легка малоабразивна
15	750	5,5	-10	340	110	Важка малоабразивна

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- продуктивність шнекового змішувача $Q = 750 \text{ т} / \text{добу} = 8,6 \text{ кг} / \text{с}$;
- довжина $L = 5 \text{ м}$;
- кут нахилу шнекового змішувача $\beta = -20^\circ$;
- густина сировини $\rho = 500 \text{ кг} / \text{м}^3$;
- частота обертання гвинта $n = 85 \text{ хв}^{-1} = 1,42 \text{ с}^{-1}$;
- сировина – легка малоабразивна.

Визначити потужність двигуна приводу шнекового змішувача N , кВт.

1. З рівняння (5.1) визначаємо діаметр гвинта:

$$D = 0,275 \frac{Q}{E \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho \cdot R_\beta} = 0,275 \frac{8,6}{1 \cdot 1,42 \cdot 0,32 \cdot 500 \cdot 0,6} = 0,229 \text{ м}.$$

2. Обираємо діаметр та крок гвинта з таблиці 5.1:

$$D = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м};$$

$$S = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}.$$

3. З рівняння (5.2) визначаємо максимальну частоту обертання валу:

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} = \frac{50}{\sqrt{0,25}} = 100 \text{ хв}^{-1} = 1,6 \text{ с}^{-1}.$$

4. Перевіряємо умову (5.3):

$$n \leq n_{\max};$$

$$1,42 \leq 1,6.$$

Умова виконується.

5. З рівняння (5.5) визначаємо горизонтальну проєкцію довжини змішувача:

$$L_z = L \cdot \cos \beta = 5 \cdot \cos 20 = 4,7 \text{ м}.$$

6. З рівняння (5.6) визначаємо висоту опускання сировини:

$$H = L \cdot \sin \beta = 5 \cdot \sin 20 = 1,7 \text{ м}.$$

7. З рівняння (5.7) визначаємо погонну масу обертових частин конвеєра:

$$g_k = 80 \cdot D = 80 \cdot 0,25 = 20 \text{ кг / м.}$$

8. З рівняння (5.4) визначаємо потужність на валу гвинта:

$$N_0 = \frac{Q}{367} (L_z \cdot \omega - H) + 0,02 \cdot R \cdot g_k \cdot L_z \cdot \omega_6 = \\ = \frac{8,6}{36} \cdot (4,7 \cdot 1,6 - 1,7) + 0,02 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 4,7 \cdot 0,16 = 1,45 \text{ кВт.}$$

9. З рівняння (5.8) визначаємо потужність двигуна приводу шнекового змішувача:

$$N = \frac{K_z \cdot N_0}{\eta} = \frac{1,25 \cdot 1,45}{0,85} = 2,1 \text{ кВт.}$$

Контрольні запитання

1. Яке основне призначення шнекових змішувачів у фармацевтичній промисловості?
2. Які типи матеріалів можуть змішувати шнекові змішувачі?
3. Чим відрізняються одношнекові змішувачі від двошнекових?
4. Для яких обсягів матеріалу підходять вертикальні шнекові змішувачі?
5. Як впливає частота обертання шнека на якість змішування?
6. У яких випадках використовуються шнеки з суцільною поверхнею?
7. Які сфери застосування шнекових змішувачів у виробництві лікарських засобів?
8. Як розраховується продуктивність шнекового змішувача?
9. Як впливає кут нахилу змішувача на його продуктивність?
10. Як визначається потужність двигуна приводу шнекового змішувача?

Використана література [1, 3, 4, 13]

Практичне заняття 6

Ваговий дозатор

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії вагового дозатора, визначити час набору дози у ваговому дозаторі та необхідну товщину шару сировини.

Вагові дозатори широко використовуються у фармацевтичній промисловості, оскільки вони забезпечують точне дозування сировини та активних речовин перед їхнім фасуванням у відповідну тару, що є критично важливим для якості, безпеки та ефективності лікарських засобів.

Основні аспекти використання вагових дозаторів у фармацевтиці:

1. Точність дозування. Вагові дозатори дозволяють з високою точністю контролювати масу дозованої речовини, що є критично важливим для ефективності та безпечності препарату. Вони мінімізують похибки у дозуванні, що особливо важливо для порошкових, гранульованих та рідких форм лікарських засобів.

2. Контроль якості. Вагові дозатори допомагають дотримуватися міжнародних стандартів якості у фармацевтичному виробництві. Вони забезпечують однорідність кожної партії продукції, що є ключовим фактором для регуляторних перевірок та сертифікації лікарських засобів.

3. Автоматизація виробництва. Сучасні вагові дозатори інтегруються у виробничі лінії, що дозволяє збільшити продуктивність та зменшити вплив людського фактору.

4. Безпека та стерильність. Вагові дозатори забезпечують мінімальний контакт з матеріалом, що знижує ризик контамінації.

5. Гнучкість у застосуванні. Вагові дозатори можуть працювати з різними типами сировини: порошками, гранулами, рідинами, капсулами та таблетками. Вони легко налаштовуються для різних дозувань, що дозволяє

використовувати їх на виробничих лініях із широким спектром лікарських форм.

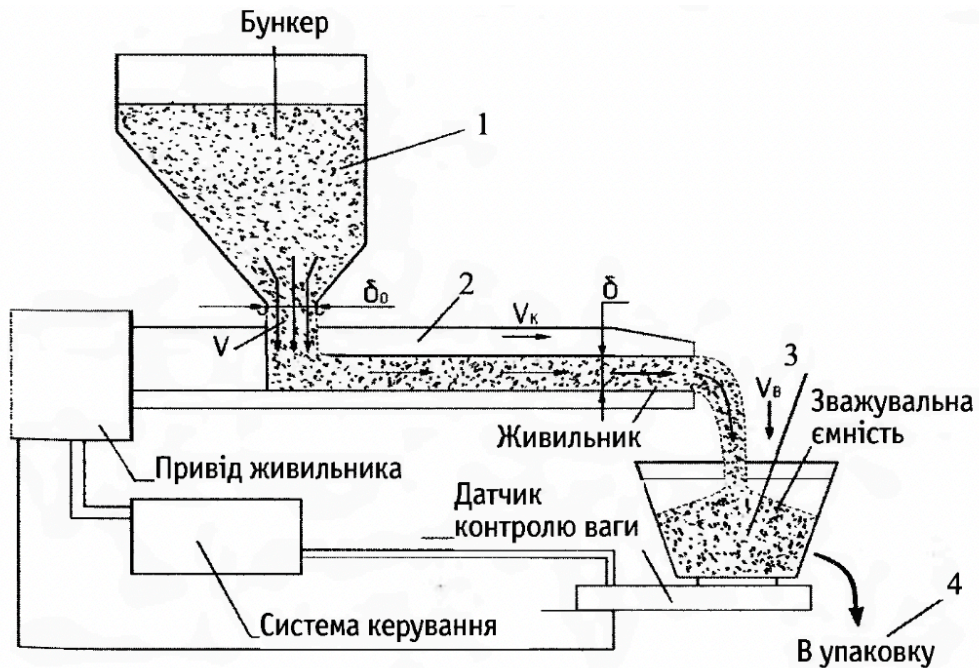


Рис. 6.1. Схема вагового дозатора [1]:

- 1 – бункер-накопичувач; 2 – живильник; 3 – зважувальна ємність;
4 – споживча упаковка

Принцип роботи вагових дозаторів ґрунтується на точному вимірюванні маси сировини та її подачі у відповідності до встановлених параметрів. Основні етапи роботи вагового дозатора:

1. Завантаження сировини. Сировина подається в бункер дозатора, який оснащений вібраційними пристроями, шнеками або транспортерними стрічками для рівномірного завантаження.

2. Зважування. Система зважування складається з чутливих датчиків (тензометрів), які точно вимірюють масу сировини. Вимірювання маси відбувається в режимі реального часу, а результат обробляється спеціальним мікропроцесором. Похибки мінімізуються завдяки високоточним сенсорам і програмному забезпеченню.

3. Регулювання подачі. На основі даних зважування система регулює подачу сировини, використовуючи клапани, стрічкові транспортери або шнекові механізми.

4. Вивантаження сировини. Коли необхідна кількість сировини досягнута, ваговий дозатор припиняє подачу і забезпечує розвантаження в цільовий контейнер, наприклад, у змішувач, пакувальний апарат або резервуар.

5. Контроль і корекція. Під час роботи ваговий дозатор постійно контролює параметри маси, що дозволяє автоматично коригувати процес подачі. У разі відхилення від заданих параметрів система видає сигнал для усунення помилки.

Методика розрахунку вагових дозаторів

Критична миттєва маса сировини у зважувальній ємності, при досягненні якої необхідно зменшувати інтенсивність подачі продукту, г:

$$m_{\text{кр}} = m_{\kappa} - B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_{\kappa} \cdot K_p \cdot \sqrt{2g \cdot \left(z + \frac{\delta}{2}\right)}, \quad (6.1)$$

де m_{κ} – задана маса дози сировини, г

B – ширина потоку сировини у транспортній системі, м;

δ – товщина шару сировини на несучому органі в транспортній системі, м;

ρ – густина сировини, кг/м³;

v_{κ} – швидкість подачі сировини, м/с;

$K_p = 0,4 \div 0,5$ – аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку сировини;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

z – миттєве значення висоти між входом подавальної системи та точкою контакту потоку з поверхнею сировини, що знаходиться у мірній ємності.

Коефіцієнт, що показує раціональність технологічної операції:

$$\varphi = \frac{m_{\text{кр}}}{m_{\kappa}}. \quad (6.2)$$

Умова працездатності дозатора, при якій інтенсивність подачі сировини достатньо низька, що складова динамічного тиску не перевищує величину повного динамічного навантаження на датчик контролю набору:

$$\varphi < 1. \quad (6.3)$$

Інтенсивність подачі сировини, кг/с:

$$p = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k. \quad (6.4)$$

Миттєве значення маси сировини у зважувальній ємності, кг:

$$m_k = p \cdot t, \quad (6.5)$$

де t – тривалість операції дозування, с.

Тривалість проведення операції дозування знаходиться в межах, с:

$$0 < t < t_k, \quad (6.6)$$

де t_k – час формування заданої дози m_k , с.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати ваговий дозатор за вихідними даними, наведеними в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Вихідні дані

№ вар.	$m_k, \text{г}$	φ	$B, \text{м}$	$v_k, \text{м/с}$	$z, \text{м}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
1	300	0,95	0,06	0,05	0,16	1700
2	100	0,90	0,12	0,03	0,2	800
3	400	0,95	0,16	0,01	0,1	2300
4	700	0,90	0,14	0,03	0,15	2400
5	200	0,95	0,08	0,02	0,1	1700
6	400	0,90	0,05	0,02	0,16	1400
7	600	0,95	0,015	0,03	0,12	1800
8	800	0,90	0,08	0,06	0,15	2800
9	200	0,95	0,05	0,05	0,1	800
10	600	0,90	0,07	0,01	0,2	2300
11	100	0,95	0,15	0,02	0,15	2800
12	500	0,90	0,12	0,05	0,16	1400
13	1000	0,95	0,07	0,01	0,2	1700
14	300	0,90	0,16	0,03	0,1	1800
15	400	0,95	0,14	0,04	0,16	1400

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- задана маса дози сировини $m_k = 450 \text{ г} = 0,45 \text{ кг}$;
- коефіцієнт, що показує раціональність технологічної операції $\varphi = 0,9$;
- ширина потоку сировини у транспортній системі $B = 0,075 \text{ м}$;
- швидкість подачі сировини $v_k = 0,025 \text{ м/с}$;
- густина сировини $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$;
- миттєве значення висоти між входом подавальної системи та точкою контакту потоку з поверхнею сировини, що знаходиться у мірній ємності $z = 0,14 \text{ м}$.

Визначити тривалість операції дозування t , с у ваговому дозаторі та необхідну товщину шару продукту δ , м .

1. З рівняння (6.2) визначаємо критичну миттєву масу сировини у зважувальній ємності:

$$m_{\text{кр}} = \varphi \cdot m_k = 0,9 \cdot 0,45 = 0,405 \text{ кг}.$$

2. З рівняння (6.1) виражаємо товщину шару сировини на несучому органі і розв'язуємо рівняння:

$$(2 \cdot z \cdot \delta^2 + \delta^3) = \frac{(m_{\text{кр}} - m_k)^2}{g \cdot B^2 \cdot \rho^2 \cdot v_k^3 \cdot K_p^2}.$$

Розв'язавши рівняння отримаємо одне дійсне значення $\delta = 0,067 \text{ м}$.

3. З рівняння (6.4) визначаємо інтенсивність подачі сировини:

$$p = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot v_k = 0,075 \cdot 0,067 \cdot 900 \cdot 0,025 = 0,11 \text{ кг/с}.$$

4. З рівняння (6.5) визначаємо тривалість операції дозування у ваговому дозаторі:

$$t = \frac{m_k}{p} = \frac{0,45}{0,11} = 4 \text{ с}.$$

Контрольні запитання

1. Які основні конструктивні елементи вагового дозатора?
2. Як визначається інтенсивність подачі продукту, і які фактори впливають на її розрахунок?
3. Для якого типу продукції можна застосовувати вагові дозатори?
4. За якими стандартами контролюється якість продукції?
5. За якої умови ваговий дозатор може працювати?
6. Яка основна функція вагових дозаторів у фармацевтичній промисловості?
7. Чому точність дозування є критично важливою для лікарських засобів?
8. Які основні етапи роботи вагового дозатора?
9. Що таке критична миттєва маса продукту, і як вона розраховується?
10. Які заходи необхідно вжити для зменшення похибок під час дозування?

Використана література [1, 6, 7, 10]

Практичне заняття 7

Барабанний дозатор

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії барабанного дозатора, визначити загальну потужність на валу барабанного дозатора.

Дозатори барабанного типу знайшли своє застосування у фармацевтичній промисловості завдяки їхній універсальності, точності та здатності працювати з різними видами матеріалів, такими як порошки, гранули, таблетки чи капсули. Вони використовуються для точного та ефективного дозування лікарських форм у процесі їхнього пакування. Вони є важливим елементом автоматизованих виробничих ліній на фармацевтичних підприємствах.

Барабанні дозатори застосовуються для точного розподілу порошків або гранул перед пресуванням у таблетки виготовлені капсул, забезпечуючи рівномірний потік матеріалу, що запобігає злежуванню чи утворенню грудок. Барабанні дозатори застосовують для збереження фізико-хімічних властивостей матеріалу. Це важливо для активних фармацевтичних інгредієнтів. Також, можливе використання при наповненні порошкових інгредієнтів у блістери чи індивідуальні пакети.

Характерною конструктивною особливістю цього типу дозуючого обладнання є те, що основним робочим органом в них слугує ротор з комірками, які забезпечують рівномірність подачі матеріалу. Також важливим пристроєм в роботі барабанного дозатора є ворушило, яке запобігає злежуванню сировини в бункері над дозатором.

Принцип роботи барабанних дозаторів складається з таких основних стадій:

1. Завантаження сировини. Сировина потрапляє у барабан, що обертається навколо своєї осі.

2. Рівномірна подача. Отвори або комірки на поверхні барабана забезпечують захоплення певної кількості сировини при кожному оберті.

3. Регульоване дозування. Швидкість обертання барабана контролюється для регулювання об'єму сировини, що подається. Додаткові механізми можуть видаляти зайву сировину із поверхні барабана, забезпечуючи точність.

4. Вивантаження. Сировина через отвори або спеціальні канали спрямовується у приймальний контейнер, капсулу чи таблетковий прес.

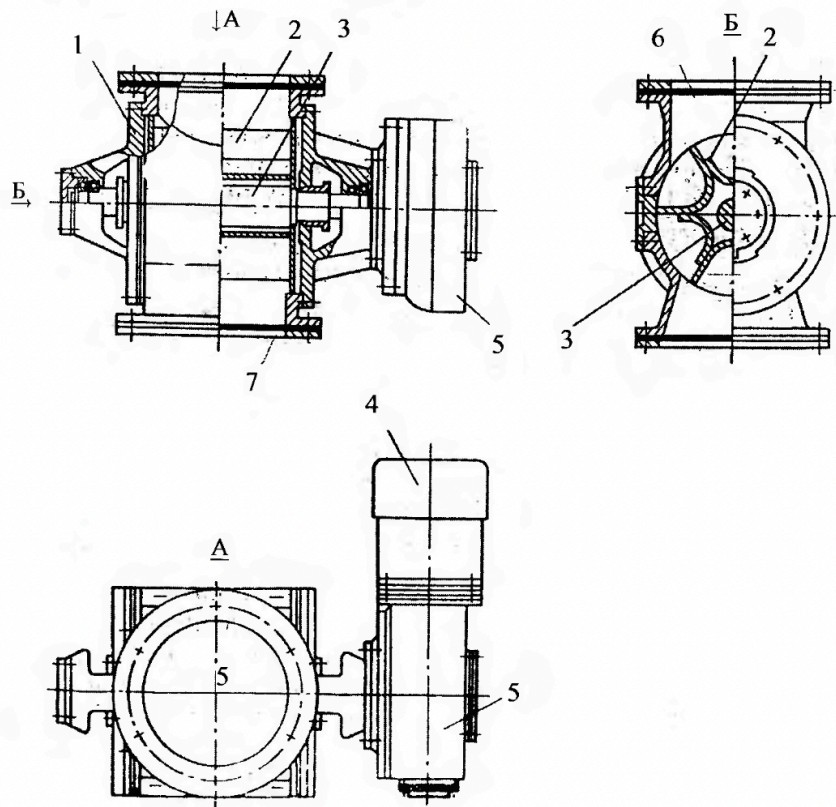


Рис. 7.1. Барабанний дозатор [1]:

- 1 – корпус; 2 – барабан з комірками; 3 – вал; 4, 5 – привід;
6 – завантажувальний патрубок; 7 – розвантажувальний патрубок

В процесі роботи барабанного дозатора може виникнути розбіжність у величині порцій, що спричинене дозуванням сировини, схильної до злипання. Вирішенням цієї проблеми може бути встановлення додаткового обладнання для очищення. На рисунку 7.2 представлено схему роторного дозатора з очисним ножом.

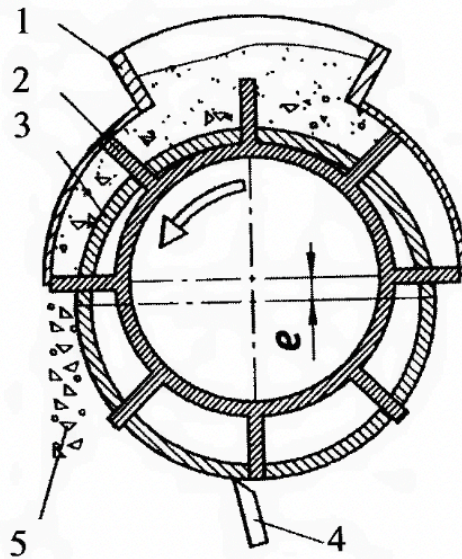


Рис. 7.2. Барабанний дозатор з очисним ножом [1]:

1 – завантажувальна ємність; 2 – барабан; 3 – дозуючі комірки;
4 – очисний ніж; 5 – сировина

Методика розрахунку барабанних дозаторів

Продуктивність барабанного дозатора, кг/с:

$$Q = F \cdot l \cdot z \cdot n_o \cdot \rho \cdot k, \quad (7.1)$$

де F – площа поперечного перерізу канавки, м²;

l – довжина канавки барабану, м;

z – кількість канавок в барабані;

n_o – частота обертання барабану, с⁻¹;

ρ – густини сировини, кг/м³;

k – коефіцієнт заповнення барабану.

Об'єм бункера, м³:

$$V = V_1 + V_2 = \frac{Q_c}{\rho \cdot \psi}, \quad (7.2)$$

де V_1 – об'єм нижньої частини бункера, м³;

V_2 – об'єм верхньої частини бункера, м³;

ψ – коефіцієнт заповнення бункеру.

Об'єм нижньої частини бункера, м³:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_p \cdot L_n}{8}, \quad (7.3)$$

де D_p – діаметр ротора, м;

L_n – довжина лопатей, м.

Об'єм верхньої частини бункера, м³:

$$V_2 = V - V_1. \quad (7.4)$$

Сила для подолання супротиву внутрішнього тертя в барабані, кгс:

$$P = p \cdot F_1 \cdot \tan \varphi_0 = V_2 \cdot \rho \cdot \tan \varphi_0, \quad (7.5)$$

де p – питомий тиск сировини на поверхню барабану, кгс/м²;

F_1 – площа горизонтального перерізу горловини бункера над барабаном (площа опірної поверхні стовпа сировини), м²;

φ_0 – кут природнього укосу сировини при русі, град.

Потужність приводу барабану дозатора, кВт:

$$N_6 = 0,005 \cdot P \cdot F_1 \cdot D \cdot n_6 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \tan \varphi_0, \quad (7.6)$$

де D – діаметр барабану, м;

k_1 – коефіцієнт, що враховує характер сировини;

k_2 – коефіцієнт, що враховує втрати на тертя робочих органів дозатора.

Потужність приводу ворушила, кВт:

$$N_7 = z_n \cdot \frac{k_3 \cdot \omega^2 \cdot h}{408} \cdot (R_1^4 - r_1^4), \quad (7.7)$$

де z_n – кількість лопатей;

k_3 – коефіцієнт опору;

$h = L_n$ – висота лопаті, м;

$R_1 = \frac{D_p}{2}$ – зовнішній радіус обертання лопатей, м;

$r_1 = R_1 - b$ – внутрішній радіус обертання лопатей, м;

b – ширина лопаті, м;

ω – кутова швидкість ворушила, с^{-1} :

$$\omega = 2\pi \cdot n_{\text{вор}}, \quad (7.8)$$

де $n_{\text{вор}} = \frac{n_{\delta}}{2}$ – частота обертання ворушила, с^{-1} ;

Загальна потужність на валу барабанного дозатора, кВт:

$$N_{\delta} = N_{\delta} + N_{\epsilon}. \quad (7.9)$$

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати барабанний дозатор за вихідними даними, наведеними в таблиці 7.1.

Параметри барабану:

- площа поперечного перетину канавки барабану $F_c = 3,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
- довжина канавок барабану $l = 0,1 \text{ м}$;
- кількість канавок в барабані $z = 8$;
- діаметр барабану $D_{\delta} = 0,075 \text{ м}$.

Для розрахунку приймаємо такі константи:

- площа горизонтального перерізу горловини бункера над барабаном $F_1 = 0,075 \text{ м}^2$;
- коефіцієнт заповнення бункеру $\psi = 0,8$;
- діаметр ротора $D_p = 0,39 \text{ м}$;
- довжина лопатей $L_{\text{л}} = 0,24 \text{ м}$;
- ширина лопаті $b = 0,008 \text{ м}$;
- кількість лопатей $z_{\text{л}} = 8$;
- коефіцієнт, що враховує характер продукту $k_1 = 1,0$;
- коефіцієнт, що враховує втрати на тертя робочих органів дозатора $k_2 = 1,25$;
- коефіцієнт опору $k_3 = 5000$;

Таблиця 7.1. Вихідні дані

№ вар.	Q , кг / год	Q_c , кг	ρ , кг / м ³	φ_0 , град	k
1	500	40	750	50	0,80
2	200	30	500	48	0,85
3	120	50	620	53	0,90
4	140	45	480	46	0,80
5	170	35	550	47	0,85
6	150	30	550	50	0,90
7	280	25	725	54	0,80
8	300	40	500	47	0,85
9	220	25	480	51	0,90
10	180	30	620	45	0,80
11	450	45	540	55	0,85
12	260	50	760	48	0,90
13	550	23	760	52	0,80
14	100	35	725	49	0,85
15	250	40	600	55	0,90

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- продуктивність барабанного дозатора $Q = 190 \text{ кг / год} = 0,052 \text{ кг / с}$;
- ємність бункеру $Q_c = 30 \text{ кг}$;
- густина сировини $\rho = 800 \text{ кг / м}^3$;
- кут природнього укусу $\varphi_0 = 56^\circ$;
- коефіцієнт заповнення барабану $k = 0,85$.

Визначити загальну потужність на валу барабанного дозатора N_d , кВт.

1. З рівняння (7.1) визначаємо частоту обертання барабану:

$$n_0 = \frac{Q}{F \cdot l \cdot z \cdot \rho \cdot k} = \frac{0,052}{3,37 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 800 \cdot 0,85} = 2,58 \text{ с}^{-1}.$$

2. З рівняння (7.3) визначаємо об'єм нижньої частини бункера:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_p \cdot L_d}{8} = \frac{3,14 \cdot 0,39 \cdot 0,24}{8} = 37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

3. З рівняння (7.2) визначаємо об'єм бункера:

$$V = \frac{Q_c}{\rho \cdot \psi} = \frac{30}{800 \cdot 8} = 47 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

4. З рівняння (7.4) визначаємо об'єм верхньої частини бункера:

$$V_2 = V - V_1 = 47 \cdot 10^{-3} - 37 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ м}.$$

5. З рівняння (7.5) визначаємо силу для подолання супротиву внутрішнього тертя в барабані:

$$P = V_2 \cdot \rho \cdot \tan \varphi_0 = 0,01 \cdot 800 \cdot \tan 56 = 11,86 \text{ кгс}.$$

6. З рівняння (7.6) визначаємо потужність приводу барабану дозатора:

$$N_{\delta} = 0,005 \cdot P \cdot F_1 \cdot D \cdot n_{\delta} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \tan \varphi_0 = 0,005 \cdot 11,86 \cdot 0,075 \cdot 2,58 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot \tan 56 = 0,02 \text{ кВт}.$$

7. Частота обертання ворушила становить:

$$n_{\text{вор}} = \frac{n_{\delta}}{2} = \frac{2,58}{2} = 1,29 \text{ с}^{-1}.$$

8. З рівняння (7.8) визначаємо кутову швидкість ворушила:

$$\omega = 2\pi \cdot n_{\text{вор}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,29 = 8,1 \text{ с}^{-1}.$$

9. Зовнішній радіус обертання лопатей становить:

$$R_1 = \frac{D_p}{2} = \frac{0,39}{2} = 0,195 \text{ м}.$$

10. Внутрішній радіус обертання лопатей становить:

$$r_1 = R_1 - b = 0,195 - 0,008 = 0,187 \text{ м}.$$

11. З рівняння (7.7) визначаємо потужність приводу ворушила:

$$N_{\epsilon} = z_{\text{л}} \cdot \frac{k_3 \cdot \omega^2 \cdot h}{408} \cdot (R_1^4 - r_1^4) = 8 \cdot \frac{5000 \cdot 8,1 \cdot 0,24}{408} \cdot (0,195^4 - 0,187^4) = 0,076 \text{ кВт}.$$

12. З рівняння (7.9) визначаємо загальну потужність на валу барабанного дозатора:

$$N_{\delta} = N_{\delta} + N_{\epsilon} = 0,02 + 0,076 = 96 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

Контрольні запитання

1. Чому дозатори барабанного типу є важливими для рівномірної подачі матеріалу?
2. Яка конструктивна особливість забезпечує точність роботи барабанного дозатора?
3. Для чого розраховується потужність приводу ворушила в барабанному дозаторі?
4. Яка роль ворушила у конструкції барабанного дозатора?
5. У чому полягає принцип роботи барабанного дозатора?
6. Як визначається потужність приводу барабана дозатора?
7. Як регулюється обсяг матеріалу, що подається барабанним дозатором?
8. Як розрахувати продуктивності барабанного дозатора?
9. Які параметри впливають на частоту обертання барабана?
10. Чому важливо враховувати кут природнього укосу сировини при розрахунках?

Використана література [1, 6, 7]

Практичне заняття 8

Автомат для розливу

Мета: ознайомитись із конструкцією і принципом дії автомата для розливу, визначити потужність електродвигуна привода автомата для розливу.

Автомати для розливу використовуються у фармацевтичній промисловості для автоматизованого процесу розливу рідких лікарських форм, таких як розчини, суспензії, емульсії, сиропи, рідини для ін'єкцій тощо. Вони є ключовим обладнанням, що забезпечує точність дозування, ефективність пакувального процесу і швидкий розподіл рідких лікарських засобів у контейнери різних типів: ампули, флакони, шприци тощо.

Автомати для розливу здатні працювати з високою швидкістю, що дозволяє значно збільшити обсяги виробництва, знижуючи час на розлив рідини і пакування продукції. Багато автоматичних систем оснащені датчиками для перевірки правильності заповнення контейнерів, рівня рідини і герметичності упаковки. Це гарантує високу якість кінцевого продукту. Автоматизація розливу рідких препаратів значно знижує ризик забруднення лікарських засобів, оскільки мінімізується контакт із зовнішнім середовищем і людським фактором. Для стерильних препаратів застосовуються спеціальні безконтактні системи розливу, що забезпечують високу стерильність.

Відрізняються автомати один від одного методами розливу а також принципами дозування рідини, що змінює їх розрахункові гідравлічні схеми та конструкції пристроїв для заповнення пляшок. Основними методами розливу харчових рідин є: гравітаційний, ізобарний, вакуумний і сифонний.

Гравітаційний (ізобарометричний) метод характеризується тим, що протікання рідини від дозатора або витратного бака відбувається під дією гравітаційних сил в умовах атмосферного тиску. Напір залежить тільки від сил гравітації і величина його визначається гідростатичною висотою рідини.

Ізобаричний метод відрізняється тим, що протікання рідини із дозатора або із витратного бака відбувається в полі гравітаційних сил, але при надлишковому тиску в дозаторі або у витратному баку і в заповнюваній тарі.

Вакуумний метод характеризується тим, що у витратній ємкості, дозаторі та пляшці створюється однакове розрідження, і заповнення рідиною пляшки відбувається під напором гідростатичного стовпа рідини. Це спосіб розливу з врівноваженим вакуумом. Вакуум створюється тільки в пляшці, і протікання рідини під дією різниці тисків у витратному баку і в тарі. Схема вакуумного автомату для розливу представлена на рис 8.1.

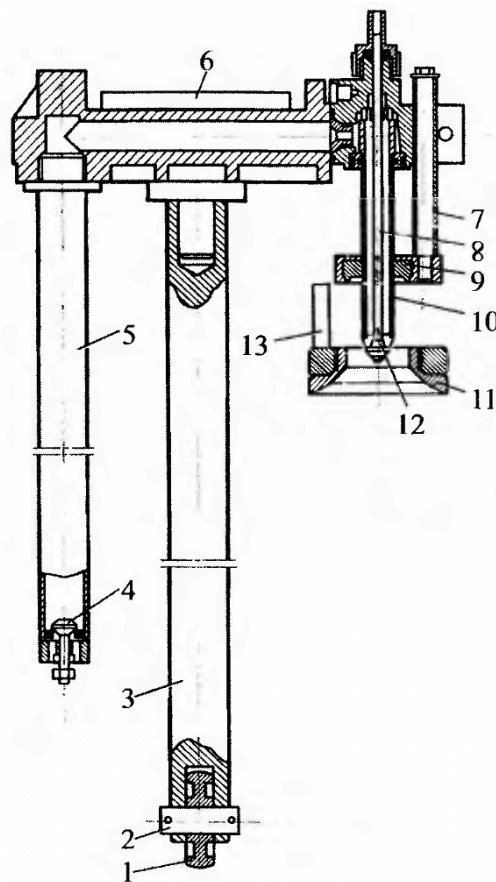


Рис. 8.1. Схема вакуумного автомату для розливу Girmini [1]:

1 – ролик; 2 – вісь; 3 – шток; 4 – клапан; 5 – трубка; 6 – перехідна трубка; 7 – обмежувач; 8 – повітряна трубка; 9 – ущільнююче кільце; 10 – зливна трубка; 11 – дзвіночок; 12 – наконечник; 13 – штанга

Сифонний метод здійснюється в умовах однакового тиску в пляшці і у витратному резервуарі. У верхній зігнутій частині сифона створюється

розрідження. Витрата рідини залежить від напору, який визначається відстанню від рівня рідини у витратному резервуарі до вихідного отвору сифонної трубки.

Дозування рідин здійснюється за об'ємом або за рівнем. Схема сифонного автомату для розливу представлена на рис 8.2.

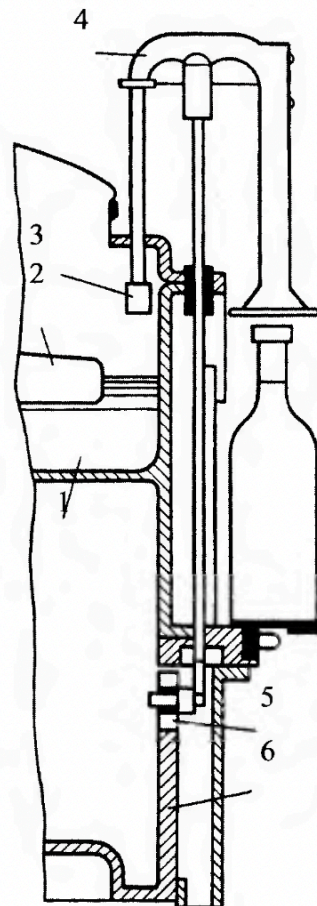


Рис. 8.2. Схема сифонного апарату для розливу [1]:

- 1 – витратний резервуар; 2 – поплавок; 3 – гідравлічний клапан;
4 – сифон (у верхній позиції); 5 – ролик; 6 – копір

Сучасні автомати для розливу являють собою пристрої карусельного типу, в яких на нерухомій станині з розміщеними на ній механізмами встановлено обертовий витратний резервуар для накопичення рідини з вмонтованими пристроями і поплавковою системою, яка підтримує під час фасування постійний рівень продукту. Модуль усіх машин для розливу, тобто відношення діаметру каруселі до числа пристроїв для фасування, рівний 35 мм.

Автомати для розливу можуть застосовуватись при виробництві таких лікарських засобів:

1. Ін'єкційні розчини. Наповнення стерильних ампул та флаконів.
2. Сиропи та суспензії. Автоматичне дозування у пляшки різного об'єму.
3. Очні краплі та розчини для інгаляцій. Розлив у мініатюрні стерильні контейнери.
4. Косметичні засоби. Застосування для гелів, лосьйонів та кремів.

Порожні пляшки підводяться до автомата для розливу пластинчастим конвеєром і завантажувальною зіркою подаються на під'ємні столики. Перед завантажувальною зірочкою встановлено розподільний механізм шнекового типу. Підйомні столики підіймають пляшки до пристроїв фасування, пляшки при цьому центруються дзвониками.

Постійний рівень рідини у витратному резервуарі підтримується поплавком. Наповнення мірника пристрою фасування відбувається при відкритті клапана наповнення за допомогою нерухомого верхнього копіру, встановленого в передній частині машини. По закінченню фасування столик опускається по копіру, пляшки знімаються зі столиків розвантажувальною зірочкою та викладаються на конвеєр.

Методика розрахунку автоматів для розливу

Кінематичний цикл механізму – період між двома послідовними моментами початку робочих ходів, с:

$$T_{\kappa} = t_p + t_x + t_{\text{ост}}, \quad (8.1)$$

де t_p – час робочого ходу, с;

t_x – час холостого ходу, с;

$t_{\text{ост}}$ – час зупинки, с.

Діючий напір рідини, що діє при розливі, кг/м²:

$$H = \frac{h + (p_1 - p_2)}{\rho}, \quad (8.2)$$

де h – висота стовпа рідини, м;

p_1 – тиск газу над рідиною у витратному резервуарі або в дозаторі, МПа;

p_2 – тиск газу в пляшці, МПа;

ρ – густина рідини, кг/м³.

Теоретична продуктивність автомата для розливу, пл/с,

$$P_T = zn = \frac{z\omega}{2\pi}, \quad (8.3)$$

де z – кількість пристроїв для заповнення;

n – частота обертання каруселі, с⁻¹;

ω – кутова швидкість обертання каруселі, рад/с.

Тривалість одного оберту каруселі, с:

$$T = \frac{1}{n} = \frac{z}{P_T}. \quad (8.4)$$

Розрахункова продуктивність пл/с:

$$P_p = \frac{z_H}{\tau_H}, \quad (8.5)$$

де z_H – кількість пристроїв (під'ємних столиків), які одночасно заповнюють пляшки;

τ_H – час заповнення пляшки рідиною, с.

$$z_H = \psi \cdot z, \quad (8.6)$$

де ψ – коефіцієнт використання робочих позицій пристроїв для розливу, який дорівнює відношенню кількості пристроїв, що одночасно наповнюють пляшки до загального числа пристроїв на каруселі.

Час заповнення пляшки рідиною є одним з найважливіших параметрів машин для розливу і залежить від метода розливу та принципу дозування рідини. Продуктивність машини для розливу є функцією часу заповнення

пляшки рідиною, який дорівнює часу спорожнення мірного стакана дозатора.

Час заповнення пляшки рідиною, с:

$$\tau_H = \frac{2Q}{\mu \cdot f_{отв} \sqrt{2gH}}, \quad (8.7)$$

де Q – об'єм рідини в стакані дозатора, м³;

μ – коефіцієнт витрат, який характеризує опір тракту зливу та фізичні властивості рідини, що розливають;

$f_{отв}$ – площа вихідного отвору заповнювача, м²;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H – висота стовпа рідини в дозуючому стакані, м.

Фактична продуктивність, пл/с:

$$\Pi_\phi = \frac{z}{1,62 \cdot \lambda \cdot \tau_H}, \quad (8.8)$$

де λ – коефіцієнт запасу, який враховує неточність визначення та вимірювання τ_H при фасуванні харчових рідин.

Коефіцієнт використання технічної потужності автомата для розливу

$$\xi = \frac{\Pi_\phi}{\Pi_T}. \quad (8.9)$$

При розрахунку автоматів для розливу необхідним елементом проектування являється визначення наступних умов: неперекидання та незісковзування пляшок, які знаходяться на під'ємному столику обертової каруселі. При цьому розглядається два варіанта: для порожньої та наповненої пляшки.

Умова неперекидання пляшок:

$$F_{цб} \cdot h \leq G_n \frac{d}{2}, \quad (8.10)$$

де h – висота центра тяжіння пляшки, м;

$F_{цб}$ – відцентрова сила, яка діє на пляшку, Н;

G_n – вага пляшки, Н;

d – діаметр кола по центрах шариків підшипника, м.

Відцентрова сила, яка діє на пляшку, Н:

$$F_{цб} = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (8.11)$$

де m – маса пляшки, яка заповнена рідиною, кг:

$$m = m_n + m_p, \quad (8.12)$$

де m_n – маса порожньої пляшки, кг;

m_p – маса рідини, яка заповнює пляшку, кг;

R – радіус кола по центрах під'ємних столиків, м.

Умова незісковзування пляшок з підйомного стола:

$$F_{цб} < G_{\sigma} \cdot f_{mp}, \quad (8.13)$$

де $G_n = m \cdot g$ – вага однієї пляшки, Н;

f_{mp} – коефіцієнт тертя ковзання скляної пляшки по столику.

Енергія, що витрачається автоматом для розливу, витрачається на перекочування роликів під'ємних столиків по копіру і обертання каруселі автомата.

Опір від перекочування роликів по горизонтальній ділянці копіру, Н:

$$P_1 = \frac{z_1 (G_1 + G_2) (2k + f \cdot d)}{D}, \quad (8.14)$$

де z_1 – число під'ємних столиків, які одночасно пересуваються по горизонтальній ділянці копіра;

G_1 – зусилля стисненої пружини, Н;

G_2 – сила тяжіння штока, столика з підшипником, роликом та порожньою пляшкою, Н;

k – коефіцієнт тертя кочення шарикопідшипника ролика, м;

f – умовний коефіцієнт тертя ковзання підшипника;

D – діаметр шарикопідшипника, м.

Опір на ділянці підйому штока з урахуванням кута підйому копіра, Н:

$$P_2 = \left[(G_1 + G_3) \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \frac{2k + fd}{D} \right] \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (8.15)$$

де G_3 – сила тяжіння штока, підшипника, ролика і заповненої пляшки, Н;

α – кут підйому профілю копіра, град.

Опором руху ролика на ділянці копіра зі спусканням штока можна знехтувати. Сумарний опір P руху всіх роликів, які одночасно знаходяться в контакті з копіром, Н:

$$P = P_1 + P_2. \quad (8.16)$$

Потужність, яка витрачається на перекочування роликів, кВт:

$$N_1 = 10^{-3} P \cdot v, \quad (8.17)$$

де $v = \omega \cdot R$ – лінійна швидкість пересування столиків, м/с.

Потужність, яка витрачається на обертання каруселі без врахування опору роликів, кВт:

$$N_2 = 10^{-3} G_4 \cdot f_B \cdot \pi \cdot d \cdot \omega, \quad (8.18)$$

де G_4 – сила тяжіння головного валу з приєднаними до нього деталями, Н;

f_B – умовний коефіцієнт тертя ковзання підшипника;

Сумарна потужність на головному валу автомата для розливу, кВт,

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta_k}, \quad (8.19)$$

де η_k – коефіцієнт корисної дії підшипників кочення.

Потужність електродвигуна привода автомата для розливу, кВт:

$$N_{\text{дв}} = \frac{K \cdot N}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (8.20)$$

де K – коефіцієнт пуску;

$\eta_{\text{пр}}$ – коефіцієнт корисної дії привода.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати автомат для розливу за вихідними даними, наведеними в таблиці 8.1.

Для розрахунку прийняти такі константи:

- об'єм рідини в стакані дозатора $Q = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$;
- коефіцієнт витрат $\mu = 0,4 \div 0,7$;
- коефіцієнт використання робочих позицій пристроїв для розливу $\psi = 0,3 \div 0,6$;
- коефіцієнт запасу $\lambda = 1,4$;
- маса порожньої пляшки $m_n = 0,45 \text{ кг}$;
- маса рідини, яка заповнює пляшку $m_p = 0,500 \text{ кг}$;
- радіус кола по центрах під'ємних столиків $R = 0,28 \text{ м}$;
- висота центра тяжіння пляшки $h = 0,095 \text{ м}$;
- коефіцієнт тертя ковзання скляної пляшки по столику $f_{mp} = 0,1$;
- коефіцієнт тертя кочення шарикопідшипника ролика $k = 0,005 \text{ м}$;
- умовний коефіцієнт тертя ковзання підшипника $f = 0,15$;
- кут підйому профілю копіра $\alpha = 45^\circ$;
- умовний коефіцієнт тертя ковзання підшипника $f_g = 0,1$;
- коефіцієнт корисної дії підшипників кочення $\eta_k = 0,98$;
- коефіцієнт пуску $K = 1,15$;
- коефіцієнт корисної дії привода $\eta_{np} = 0,8$.

Таблиця 8.1. Вихідні дані

№ вар.	$z, \text{мм}$	$n, \text{хв}^{-1}$	$f_{\text{отв}}, \text{м}^2$	$H, \text{м}$	$z_1, \text{мм}$	$G_1, \text{Н}$	$G_2, \text{Н}$	$G_3, \text{Н}$	$G_4, \text{Н}$	$D, \text{м}$	$d, \text{м}$
1	16	6,25	0,8	0,225	5	196	108	118	2945	0,372	0,340
2	18	5,56	0,9	0,230	6	245	118	128	3140	0,380	0,350
3	20	5,00	1,0	0,245	6	215	128	137	3240	0,388	0,355
4	22	4,55	1,1	0,260	7	225	137	148	3435	0,394	0,360
5	25	4,00	1,2	0,270	8	186	148	157	3335	0,400	0,370
6	28	3,57	1,3	0,280	9	196	157	168	3535	0,375	0,345
7	16	6,25	1,4	0,250	5	235	168	196	3140	0,380	0,350
8	18	5,56	1,5	0,250	6	245	196	215	3435	0,388	0,355
9	16	6,25	1,6	0,230	5	225	108	215	3140	0,372	0,340
10	18	5,60	1,7	0,240	6	186	118	196	3240	0,380	0,350
11	20	5,00	1,6	0,245	6	196	128	168	3435	0,388	0,355
12	22	4,55	1,5	0,250	7	235	137	157	3335	0,394	0,360
13	25	4,00	1,4	0,260	8	245	148	148	3535	0,400	0,370
14	28	3,57	1,3	0,270	9	196	157	137	2945	0,375	0,345
15	20	5,00	1,2	0,280	6	215	168	128	3140	0,380	0,350

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

- кількість пристроїв для заповнення $z = 24 \text{ мм}$;
- площа вихідного отвору $f_{\text{отв}} = 1,3 \text{ м}^2$;
- частота обертання каруселі $n = 5,4 \text{ хв}^{-1} = 0,09 \text{ с}^{-1}$;
- висота стовпа рідини в дозуючому стакані $H = 0,250 \text{ м}$;
- число підйомних столиків, які одночасно переміщуються по горизонтальній ділянці копіра $z_1 = 10 \text{ мм}$;
- зусилля стисненої пружини $G_1 = 200 \text{ Н}$;
- сила тяжіння штока, столика з підшипником, ролика і порожньої пляшки $G_2 = 160 \text{ Н}$;
- сила тяжіння штока, підшипника, ролика з пляшкою, яка заповнена рідиною $G_3 = 120 \text{ Н}$;

– сила тяжіння головного валу з приєднаними до нього деталями
 $G_4 = 3150 \text{ Н}$;

– діаметр шарикопідшипника $D = 0,386 \text{ м}$;

– діаметр кола по центрах шариків підшипника $d = 0,3 \text{ м}$.

Визначити потужність електродвигуна привода автомата для розливу
 $N_{\text{дв}}$, кВт.

1. З рівняння (8.3) визначаємо кутову швидкість обертання каруселі:

$$\omega = 2\pi \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,09 = 0,57 \text{ с}^{-1}.$$

2. З рівняння (8.12) визначаємо маса пляшки, яка заповнена рідиною:

$$m = m_{\text{б}} + m_{\text{ж}} = 0,45 + 0,500 = 0,95 \text{ кг}.$$

3. З рівняння (8.11) визначаємо відцентрову сила, яка діє на пляшку:

$$F_{\text{цб}} = m \cdot \omega^2 \cdot R = 0,95 \cdot 0,57^2 \cdot 0,28 = 86 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

4. Вага однієї пляшки становить:

$$G_n = m \cdot g = 0,95 \cdot 9,81 = 9,32 \text{ Н}.$$

5. З рівняння (8.10) перевіряємо умову неперекидання пляшок:

$$F_{\text{цб}} \cdot h \leq G_{\text{б}} \frac{d}{2};$$

$$86 \cdot 10^{-3} \cdot 0,095 \leq 9,32 \cdot \frac{0,3}{2};$$

$$0,0082 < 1,398.$$

Умова виконується.

6. З рівняння (8.13) перевіряємо умову незісковзування пляшок з підйомного стола:

$$F_{\text{цб}} < G_{\text{б}} \cdot f_{\text{тр}};$$

$$86 \cdot 10^{-3} < 9,32 \cdot 0,1;$$

$$86 \cdot 10^{-3} < 932 \cdot 10^{-3}.$$

Умова виконується.

7. З рівняння (8.14) визначаємо опір від перекочування роликів по горизонтальній ділянці копіру:

$$P_1 = \frac{z_1(G_1 + G_2)(2k + f \cdot d)}{D} = \frac{10 \cdot (200 + 160) \cdot (2 \cdot 0,005 + 0,15 \cdot 0,3)}{0,386} = 509 \text{ Н}.$$

8. З рівняння (8.15) визначаємо опір на ділянці підйому штока:

$$P_2 = \left[(G_1 + G_3) \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \frac{2k + fd}{D} \right] \frac{1}{\cos \alpha} =$$

$$= \left[(200 + 120) \cdot \sin 45 + \cos 45 \cdot \frac{2 \cdot 0,005 + 0,15 \cdot 0,3}{0,386} \right] \cdot \frac{1}{\cos 45} = 160 \text{ Н}.$$

9. З рівняння (8.16) визначаємо сумарний опір руху всіх роликів, які одночасно знаходяться в контакті з копіром:

$$P = P_1 + P_2 = 506 + 160 = 669 \text{ Н}.$$

10. Лінійна швидкість пересування столиків становить:

$$v = \omega \cdot R = 0,57 \cdot 0,28 = 0,16 \text{ м / с}.$$

11.3 рівняння (8.16) визначаємо потужність, яка витрачається на перекочування роликів:

$$N_1 = 10^{-3} P \cdot v = 10^{-3} \cdot 669 \cdot 0,16 = 0,11 \text{ кВт}.$$

12.3 рівняння (8.17) визначаємо потужність, яка витрачається на обертання каруселі без врахування опору роликів:

$$N_2 = 10^{-3} G_4 \cdot f_B \cdot \pi \cdot d \cdot \omega = 10^{-3} \cdot 3150 \cdot 0,1 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,57 = 0,169 \text{ кВт}.$$

13.3 рівняння (8.19) визначаємо сумарну потужність на головному валу автомату для розливу:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta_k} = \frac{0,11 + 0,169}{0,98} = 0,285 \text{ кВт}.$$

14.3 рівняння (8.20) визначаємо потужність електродвигуна привода автомата для розливу:

$$N_{\text{дв}} = \frac{K \cdot N}{\eta_{np}} = \frac{1,15 \cdot 0,285}{0,8} = 0,4 \text{ кВт}.$$

Контрольні запитання

1. Яке основне призначення автоматів для розливу у фармацевтичній промисловості?
2. Які основні методи розливу рідин використовуються в сучасних автоматах?
3. У чому полягає принцип роботи гравітаційного методу розливу?
4. Як працює ізобаричний метод розливу, і для яких рідин він використовується?
5. У чому особливість вакуумного методу розливу?
6. Як здійснюється сифонний метод розливу, і від чого залежить витрата рідини?
7. Чим відрізняється дозування рідин за рівнем від дозування за об'ємом?
8. Яка роль карусельного механізму в автоматах для розливу?
9. Які фактори впливають на тривалість заповнення пляшки рідиною?
10. У чому полягає умова неперекидання пляшок на підйомних столиках?

Використана література [1, 7, 11, 12]

Рекомендована література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / ред. О. Гавва. Київ : ІАЦ "Упаковка", 2008. 436 с.
2. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний довідник пакувальника. - К.: ІАЦ „Упаковка”, 1999. - 80 с.
3. Хмара Л. А. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування: навч. посіб. / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, О. Г. Онищенко. – Д. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 209 с.
4. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування: Навчальний посібник. – Львів: «Інтелект-Захід», 2008, – 736 с.
5. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання; Підручник –К.: ІАЦ «Упаковка» .2010, - 744 с.

Перелік використаних джерел

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / ред. О. Гавва. Київ : ІАЦ "Упаковка", 2008. 436 с.
2. Хмара Л. А. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування: навч. посіб. / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, О. Г. Онищенко. – Д. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 209 с.
3. Машины та обладнання переробних виробництв: Навч. Посібник / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, Д.С. Чубов та ін.: За ред.О.В. Дацишина. - К.: Вища освіта, 2005. - 159 с: іл.
4. Гавва О.М., Масло М.А., Волчко А.І. Вдосконалення шнекових дозаторів. Упаковка. №1 2003. С. 31-34
5. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання; Підручник –К.: ІАЦ «Упаковка». 2010, - 744 с.
6. Масло М.А. Вдосконалення вагових дозаторів да сипких харчових продуктів. Упаковка. №6 2003. С.28-30
7. Пакувальне обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Л. Сокольський, О. Є. Колосов. – Електронні текстові данні (1 файл: 0,771 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 41 с.
8. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний довідник пакувальника. - К.: ІАЦ «Упаковка», 1999. - 80 с.
9. Дурняк Б.В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Моделювання, управління. – К.: Атака, 2002. – 292с.

10. Соколенко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. Транспортно-технологічні системи пивзаводів. – К.: АртЕк, 2002. – 304с.
11. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник –К.:Інрес : Воля, 2006.-264 с.
12. Гавва О.М. Фасування харчових рідин. Упаковка №5 2002.
13. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: «Бескид Біт», 2008. – 356 с.