

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять з дисципліни
«Машини та апарати хімічних, переробних та харчових виробництв»
Тематичний блок «Обладнання для подрібнення»
для студентів спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями)
усіх форм навчання

Харків 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Моїсєєв Віктор Федорович, Манойло Євгенія Володимирівна,
Пономарьова Наталія Георгіївна, Шкоп Андрій Олександрович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять з дисципліни
«Машини та апарати хімічних, переробних та харчових виробництв»
Тематичний блок «Обладнання для подрібнення»
для студентів спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями)
усіх форм навчання

Затверджено редакційно-
видавничою радою НТУ «ХП»,
протокол № 1 від 13.02.25

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Машини та апарати хімічних, переробних та харчових виробництв». Тематичний блок «Обладнання для подрібнення» для студентів спеціальності G11 Машинобудування (за спеціалізаціями) усіх форм навчання / Уклад. В. Ф. Моїсєєв, Є. В. Манойло, Н. Г. Пономарьова, А. О. Шкоп. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – 23 с.

Укладачі:

В. Ф. Моїсєєв

Є. В. Манойло

Н. Г. Пономарьова

А. О. Шкоп

Рецензент К.О. Горбунов

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

Лабораторна робота 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ВІДХОДІВ ТЕРМОПЛАСТИВ

1.1. Практична значущість лабораторної роботи

Устаткування для подрібнення застосовується в хімічній промисловості для проведення технологічних операцій: подріблення, розчавлювання, стирання, розщеплювання волокнистих інгредієнтів і відходів полімерних матеріалів при їх вторинній переробці, а також інших операцій. Устаткування, яке використовується для забезпечення процесу подрібнення – це дробарки, млини, дезінтегратори, гранулятори, різальні верстати.

1.2. Мета лабораторної роботи

- ознайомлення з конструкцією і принципом роботи ножового подрібнювача, призначеного для дроблення відходів термопластичних полімерних матеріалів,
- складання кінематичної і розрахункової схем, технічної характеристики устаткування для подрібнення.

1.3. Основні теоретичні положення

Конструкції устаткування для подрібнення. Як робочі органи дробарок використовують ротори з жорсткими подовжніми білами, молоткастими, хрестовими, консольно-стрижньовими, ножовими пристроями. Типові бильні вали показані на рис. 1.1.

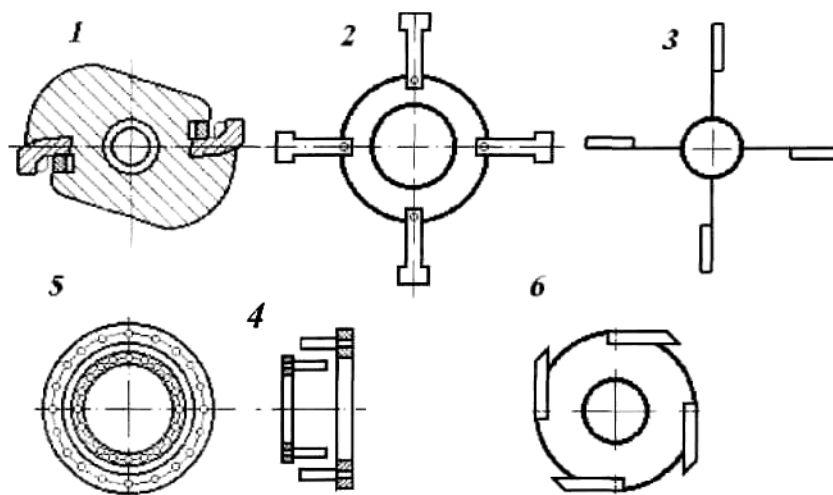


Рисунок 1.1. Типові конструкції бильних валів:

1 – з подовжніми білами; 2 – молоткасті пристрої; 3 – хрестові пристрої; 4 – консольно-стрижньові насадки; 5 – ножові ротори

Перший тип роторів характеризується масивністю і жорстко закріпленими на них білами різної конфігурації. Служать для грубого дроблення твердих тіл (різних смол, твердих компонентів і ін.) Молоткасті пристрої 2 характеризуються наявністю шарнірно закріплених насадок-молотків і служать для дроблення твердих тіл, в т.ч. і відходів пластмас. Третій тип насадок придатний для вторинного дроблення, розпушування продуктів хімічних виробництв. Консольно-стрижньові насадки 4 характеризуються наявністю стрижнів, жорстко закріплених в дисках, розташованих концентрично і таких що обертаються назустріч один одному. Застосовується в дезінтеграторах для дроблення сірки, графіту, азбесту, відходів гумотехнічних виробів і інших матеріалів. Ножові ротори 5 характеризуються наявністю декількох жорстко закріплених ножів і використовується в дезінтеграторах по переробці полімерних матеріалів і відходів пластмас, шин і гумотехнічних виробів.

На рис. 1.2. показана типова конструкція ножового подрібнювача.

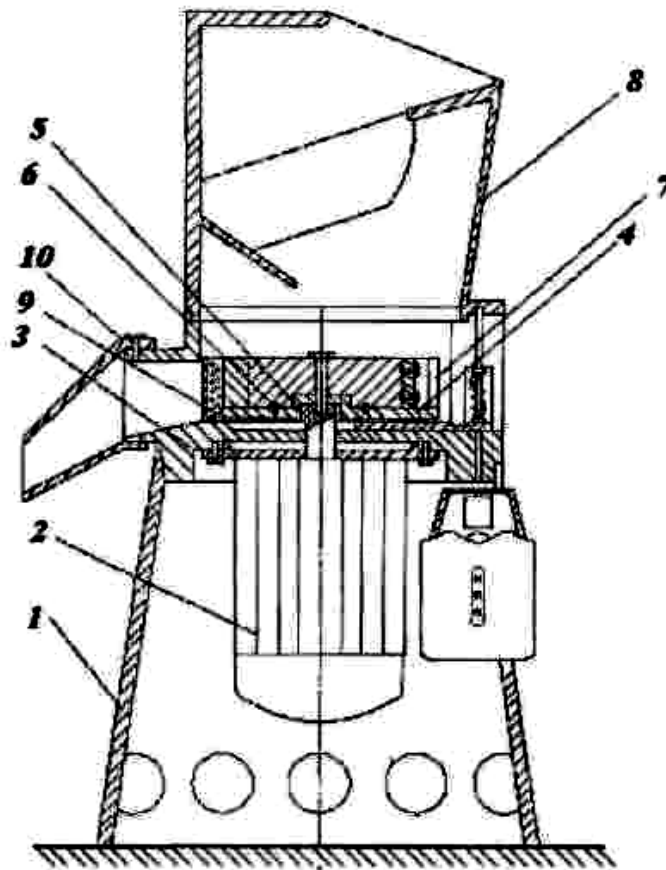


Рисунок 1.2. Ножовий подрібнювач:

- 1 – станина; 2 – фланцевий електродвигун; 3 – корпус; 4 – диск;
 5 – ротор; 6 – шпильки; 7 – ножі; 8 – завантажувальна воронка;
 9 – змінні калібруючі ґрати; 10 – лоток

Полімерні матеріали, що підлягають дробленню, із завантажувального бункера 8 поступають в камеру подрібнення і захоплюються ротором, що обертається, 5. Подрібнення відбувається між

двома ножами 7, встановленими на роторі, що обертається, 5 і нерухомому корпусі 3. Якість подрібнення матеріалів визначається величиною зазору між ножами. Регулювання зазору проводиться шляхом радіального переміщення ножів на роторі. Ступінь подрібнення характеризується величиною отворів калібрувальних ґрат 9. При перевантаженнях (наприклад, заклинюванні ножів при попаданні металевих предметів), шпильки 6, зрізаються, і диск вільно обертатиметься щодо ротора, тим самим, оберігаючи електродвигун від перевантажень.

Перспективний напрям в конструюванні подрібнювачів барабанного типу – розробка віброобертальних млинів. Таке устаткування виключає недоліки властиві барабанним кульовим і вібраційним млинам: низька ефективність процесу подрібнення, наявність застійних зон, значна металоємність і обмеження за швидкістю обертання барабана. Конструктивна схема віброобертального млина показана на рис. 1.3.

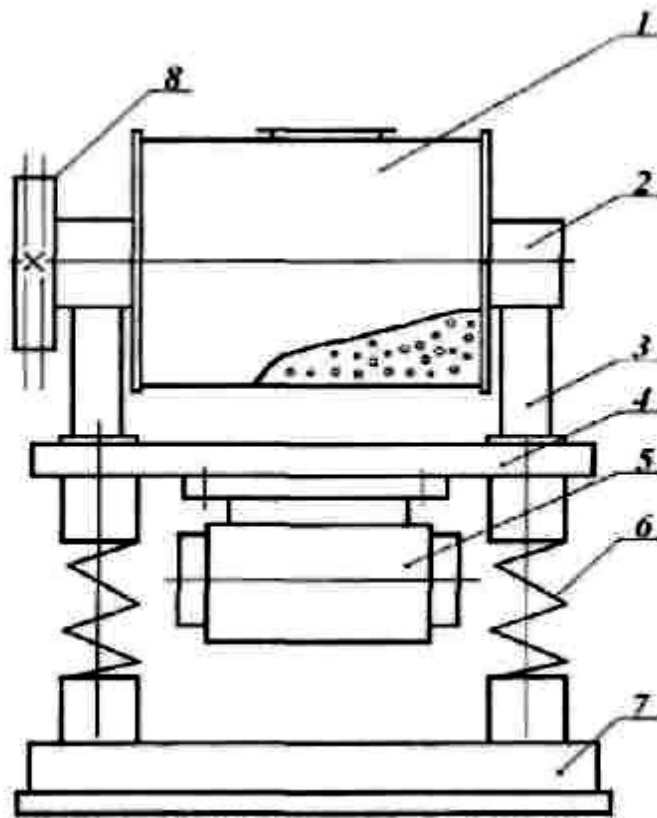


Рисунок 1.3. Конструктивна схема віброобертального млина:
 1 – барабан; 2 – вузол підшипника; 3 – стійка; 4 – віброплита;
 5 – вібратор; 6 – пружина; 7 – плита; 8 – клинопасова передача

Установка складається з барабана 1, його підшипникових вузлів 2, які жорстко встановлені на стійках 3 і що спираються на віброплиту 4, яка вмонтовується на чотирьох циліндрових пружинах 6. Вібратор 5 кріпиться до нижньої поверхні плити 4. Обертання барабана здійснюється від електродвигуна, через редуктор (варіатор) (на рис. 1.3 – умовно не показано) і клинопасову передачу 8.

Швидкість обертання барабана визначається по емпіричній формулі:

$$n = \frac{8(5\varphi + 2)}{(2R_{\phi})^{0,5}}, \quad (1.1)$$

де R_{ϕ} – радіус барабана, м; $\varphi = (0,35 \div 0,45)$ – коефіцієнт заповнення барабана тілами, що мелють.

Маса кулькового завантаження:

$$G_{III} = \pi R_{\phi} L_{\phi} \varphi \rho_{III}, \quad (1.2)$$

де L_{ϕ} – довжина барабана, м; ρ_{III} – насипна щільність тіл, що мелють, м.

Діаметр розмельних тіл:

$$d_{III} = \sqrt[3]{\frac{3q \cdot 10^{-2}}{\pi \rho_0}} \quad (1.3)$$

де $q = \frac{cE_0}{8[R_{\phi}^2(n/30)^2 - 2R_{\phi}^4(n/30)^6 + R_{\phi}^6(n/30)^{10}]}$; $c = 0,57$ – коефіцієнт при сухому подрібненні і $c = 5,5$ – при мокрому подрібненні; E_0 – енергія початку руйнування частинок.

Потужність необхідна для обертання барабана:

$$N_1 = \frac{1,1M \rho_{III} R_{\phi}^{2,5} L_{\phi}}{6 \cdot 10^{-4}} \quad (1.4)$$

де $M = 0,5$ – емпіричний коефіцієнт роботи маси тіл, що мелють.

Споживана потужність електродвигуна вібратора:

$$N_2 = \frac{N_3}{\eta}, \quad (1.5)$$

де $N_3 = \frac{\omega^3 K Q M_B^2 G_1}{10^7 [G_2 + Q^2 (G_1^2 + G_2^2)]}$; ω – частота коливань барабана, с; M_B –

момент вібратора, Н·м; G_1 – маса завантаження, кг; G_2 – маса вузлів подрібнювача, що коливаються (без завантаження), кг; $Q = (0,4 \div 0,5)$ – експериментальний коефіцієнт; $K = 1$ – коефіцієнт, що характеризує передачу потужності від барабана до завантаження.

Середня амплітуда коливань барабана:

$$A_{cp} = \frac{M_B}{G_2} \sqrt{\frac{1 + Q^2}{1 + Q^2(1 + \mu^2)}}, \quad (1.6)$$

де $\mu = G_1/G_2$ – коефіцієнт співвідношення мас завантаження до маси тіл вузлів млина, що коливаються. Оптимальне значення $\mu = 1,8$.

Сумарна потужність віброобертального подрібнювача:

$$N_c = N_1 + N_2, \quad (1.7)$$

тобто потужність, що витрачається на обертання барабана і його вібрацію.

Повніший опис конструкцій для різання і подрібнення інгредієнтів різних сумішей викладений в довідковій літературі.

Визначення основних параметрів ножового подрібнювача. Для складання технічної характеристики студент повинен визначити: потужність приводу і продуктивність ножового подрібнювача, при дробленні відходів термопластів використовуючи приведені нижче залежності і методи, викладені в літературі і лекційному курсі. При цьому задаються наступні параметри: напрям і швидкість обертання ротора, величина завантаження відходів полімеру, час подрібнення, величина зазору між ножами, сумарна площа отворів сита.

Продуктивність ножових подрібнювачів визначається по формулі:

$$G_H = 3600VS\varphi\gamma, \quad (1.8)$$

де V – швидкість руху крихти через перетин отворів сита, м/с; S – сумарна площа отворів сита, м²; $\varphi = (0,5 \div 0,8)$ – коефіцієнт повноти заповнення отворів сита крихтою; γ – насипна щільність крихти, кг/м³.

$$V = \frac{Q_V}{3600S\varphi}$$

де Q_V – об'ємна продуктивність подрібнювача, м³/год.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} k, \quad (1.9)$$

де d – діаметр отворів змінних калібруючих ґрат, м; k – число отворів в змінних калібруючих ґратах.

Потужність на валу електродвигуна подрібнювача:

$$N_\partial = \frac{PV_p z}{1000\eta} \quad (1.10)$$

де $P = \tau_{зр} F$ – сила зрізу матеріалу одним ножом ротора, Н; $\tau_{зр}$ – напруга зрізу матеріалу, Н/м²; $F = \delta l$ – площа зрізу, м²; δ – товщина зрізу, м; l – довжина ножа, м; $V_p = \pi R n / 30$ – швидкість обертання ротора, м/с; R – радіус дії сили зрізу (визначається шляхом геометричного вимірювання), м; n – число обертів двигуна, об/хв; z – кількість ножів; η – ККД приводу подрібнювача.

1.4. Опис експериментальної установки

Устаткування і матеріали: Ножовий подрібнювач рис. 1.2, технологічні відходи упаковки з термопластичних полімерних матеріалів.

1.5. Методика проведення дослідження

1. Встановлюємо задану величину зазору між ножами ножового подрібнювача.

2. Встановлюємо змінні калібруючі ґрати із заданим діаметром отворів $d = 5$ мм.

3. Відходи полімерного матеріалу в заданій кількості завантажуюмо у воронку ножового подрібнювача.

4. Включаємо електродвигун подрібнювача.

5. В процесі подрібнення визначаємо потужність, що витрачається на процес.

6. За допомогою спеціального мірника, секундоміра і вагів визначаємо об'ємну Q_v і вагову G продуктивність, а також насипну щільність γ .

7. Визначуваний гранулометричний склад подрібненого полімерного матеріалу за допомогою штангенциркуля або мікрометра.

8. Встановлюємо змінні калібруючі ґрати з іншим діаметром отворів.

9. Виконуємо дії з п. 3 – 8 для змінних калібруючих ґрат із заданими діаметрами отворів ($d = 3$ мм; 2 мм; 1 мм).

10. Кількість експериментів, що проводяться, повинна бути не менше трьох для кожних калібруючих ґрат.

11. Отримані результати експериментальних даних заносяться в таблиці.

1.6. Обробка результатів дослідження

1. Ознайомитися з конструкцією ножового подрібнювача. Скласти кінематичну схему, описати принцип дії, призначення, особливості роботи.

2. Ознайомитися з технологічним процесом подрібнення відходів термопластичних полімерних матеріалів, отримати експериментальні зразки при різних режимах роботи ножового подрібнювача (при варіюванні частоти обертання ротора, величини зазору між ножами, діаметру отворів в змінних калібруючих ґратах).

3. Визначити гранулометричний склад отриманого подрібненого полімерного матеріалу.

4. Визначити основні параметри ножового подрібнювача: продуктивність і потужність приводу – експериментально і розрахунковим шляхом по відповідних залежностях.

5. Скласти технічну характеристику ножового подрібнювача. Технічна характеристика повинна включати відповідно до номенклатурного довідника наступні позиції: тип і призначення ножового подрібнювача; продуктивність; кількість ножів; розмір ножів: довжину, діаметр; робочу поверхню; частоту обертання ротора; максимальний зазор між ножами; механізм регулювання зазору між ножами; тип і характеристику приводу, в т.ч. тип електродвигуна, його потужність, швидкість обертання вихідного валу і тип, характеристику передачі; габаритні розміри; вагу.

6. Скласти звіт за наступною схемою:

6.1. Привести короткі відомості по типах і конструкціях устаткування для подрібнення, їх конструктивні особливості, призначення, параметричні розрахунки (схеми, ескізи, розрахункові формули). Розділ виконується в процесі підготовки до лабораторної роботи.

6.2. Привести виміряні і розраховані параметри ножового подрібнювача.

6.3. Привести технічну характеристику, таблицю результатів і виводи по проведеній роботі.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Дайте класифікацію устаткування для подрібнення відходів термопластів?
2. Опишіть конструкцію ножових подрібнювачів для переробки відходів полімерів?
3. Як здійснюється регулювання зазору між ножами?
4. Які конструкції аварійних пристроїв ви знаєте?
5. Опишіть технологію виготовлення ножів подрібнювача?
6. Які параметри подрібнювача варіюються в процесі переробки відходів термопластичних полімерних матеріалів?
7. Які параметри впливають на продуктивність ножового подрібнювача?

Лабораторна робота 2

ВІБРАЦІЙНИЙ КОНУСНИЙ МЛИН-ДРОБАРКА

2.1. Практична значущість лабораторної роботи

Використання подрібнених матеріалів дозволяє значно інтенсифікувати такі процеси, як розчинення, екстрагування, випалення, хімічна взаємодія. Інтенсифікація перерахованих процесів обумовлена збільшенням поверхні фазового контакту взаємодіючих мас. Тому використання подрібнюючих машин у промисловості завжди актуально.

2.2. Мета лабораторної роботи

1. Вивчення конструкції млина-дробарки.
2. Дослідження ефективності роботи млина-дробарки.
3. Визначення енерговитрат на здійснення процесу подрібнення.

2.3. Основні теоретичні положення

Процес зменшення розмірів пружно-крихкого тіла від вихідної величини до потрібної шляхом дії зовнішніх сил називається *подрібненням* або *помелом*, а машини для цих цілей, *дробарками* або *млинами*.

У дробильній машині, залежно від її призначення і принципу дії, можуть використовуватися наступні види навантажень: розчавлювання, удар, розколювання, злам, стирання.

В більшості випадків навантаження діють одночасно, наприклад розчавлювання і стирання. Необхідність в різних видах навантажень, принципах дії і конструкціях машин викликається різноманіттям властивостей і розмірів подрібнюваних матеріалів, а також вимогами до величини вихідного і готового продуктів.

За принципом дії і конструкції розрізняють наступні види дробарок: щічні, конусні, валкові, ударної дії (молоткасті і роторні). Вибір типу дробарки здійснюється з обов'язковим обліком фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу: міцності, крихкості, абразивності, величини шматків, а також необхідній величині шматків готового продукту. Процес подрібнення характеризується відношенням розміру шматків вихідного матеріалу до розміру шматків готового продукту. Дане відношення називають *мірою подрібнення*, і воно є найважливішим якісним показником як самого процесу, так і дробарки окремо.

Існують різні оцінки міри подрібнення. Наприклад, її можна виразити як відношення розміру максимального шматка у вихідному матеріалі до розміру шматка в готовому продукті

$$i = d_n / d_k \quad (2.1)$$

або як відношення середнього розміру (розмір круглого отвору, крізь який проходить 50 % всіх зерен по масі)

$$i = d_{n(cp)} / d_{k(cp)} \quad (2.2)$$

Конусні дробарки використовують у всіх стадіях дроблення при переробці найрізноманітніших матеріалів як по величині подрібненого матеріалу, так і за різноманітністю фізико-механічних властивостей. У цих машинах матеріал руйнується в камері, утвореній зовнішнім нерухомим і внутрішнім рухомим усіченим конусами. По технологічному призначенню їх ділять на дробарки: крупного подрібнення (ККД), що забезпечують міру подрібнення $i = 5 \dots 8$; середнього (КСД) і дрібного (КМД) подрібнення (міра подрібнення $i = 20 \dots 50$). У хімічній промисловості, в основному, використовують дробарки КСД і КМД.

За конструктивною ознакою – способом спирання валу конуса – розрізняють дробарки з підвішеним валом, опорним товкачем і з консольним валом. Останню конструкцію використовують в машинах КСД і КМД.

Продуктивність конусних дробарок (при порівнянних параметрах) вища, ніж в щічних. Це пояснюється тим, що в щічних дробарках площа вихідного отвору при переміщенні щоки змінюється, а в конусних вона постійна, і змінюється лише положення рухливого конуса в камері подрібнення. Перекочування конуса, що дробить, також сприяє кращому заповненню камери подрібнення і захвату шматків

2.4. Опис експериментальної установки

Вібраційний конусний млин-дробарка (ВКМД) призначений для подрібнення крихких матеріалів різної міцності і твердості.

Основними складовими частинами млина-дробарки є (рис. 2.1): станина 1, опора 2, циліндровий корпус 3, конус 4, чаша 5, ведений 6 и ведучий 7 дебаланси та електродвигун 17.

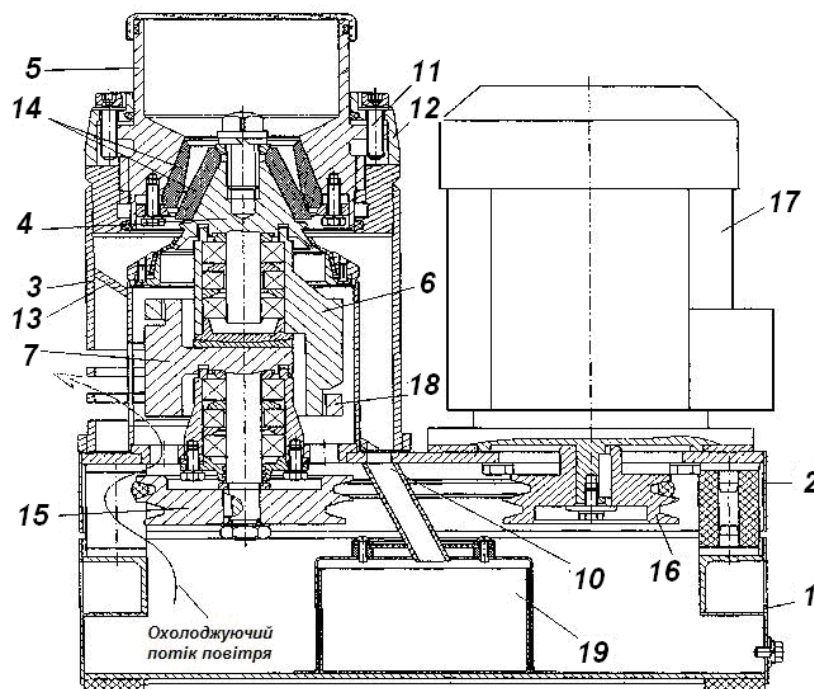


Рисунок 2.1. Вібраційний конусний млин-дробарка (ВКМД 6)

Корпус 3 являє собою два співісно розташованих циліндра: зовнішній і внутрішній. Вони пов'язані між собою нижнім фланцем і похилою поверхнею 13, по якій подрібнений матеріал переміщається до розвантажувального отвору 10 в нижньому фланці корпусу. У порожнині, утвореній внутрішнім циліндром і опорою, розташовані ведучий 7 і ведений 6 дебаланси.

Чаша 5 нижньою зовнішньою частиною угвинчена в упор різьблення зовнішнього корпусу 3. Верхня частина чаші виготовлена у вигляді приймальної воронки, а нижня внутрішня – у вигляді конуса. З чашею 5 стопорними гвинтами сполучена напорна кришка 12, при повороті якої чаша вигвинчується (угвинчується) по різьбленню корпусу, внаслідок чого змінюється відстань між конусною частиною чаші 5 і конусом 4.

У вибраному положенні чаша фіксується стопорними гвинтами 11. Нижня конусна частина чаші і конус захищені від зносу футеруваннями 14, виготовленими з марганцевистої сталі.

На вертикальному валу конуса 4 змонтований ведений дебаланс 6, встановлений п'ятою через сферичну опору-підп'ятник 8 на ведучому дебалансі 7 (рис. 2.2).

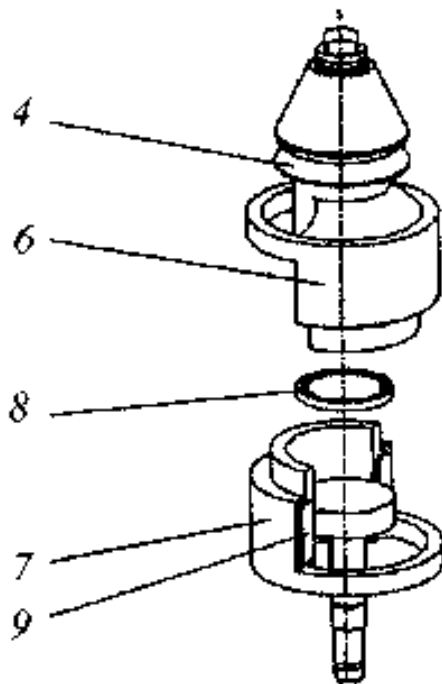


Рисунок 2.2. Вузол вібраційного конусного млина-дробарки

На нижньому кінці валу ведучого дебаланса 7 закріплений ведений двоканавковий шків 15, сполучений клиновим ременем з ведучим шківом 16 електродвигуна 17. При роботі дробарки з розташуванням ременя в нижніх пазах шківів частота обертання дебалансів збільшується на 25 % в порівнянні з розташуванням ременя у верхніх пазах. Обертання дебалансу 7 передається від електродвигуна через клинопасову передачу. Від ведучого дебаланса 7 до веденого 6 обертання передається через гумові

демпфери 9 (рис. 2.2). Для обмеження амплітуди коливань веденого дебаланса 6, який визначає кут нахилу конуса, що дробить, 4, служать кільця 18.

Розвантаження продукту здійснюється через розвантажувальний отвір 10 корпусів в лоток 19.

Вимір відстані між чашею і конусом проводиться за допомогою рисок на корпусі і кришці.

Принцип дії дробарки полягає в наступному.

Камера подрібнення (рис. 2.3), утворена поверхнями футерувань конуса і чаші, має дві зони подрібнення: верхню клиновидну і нижню паралельну.

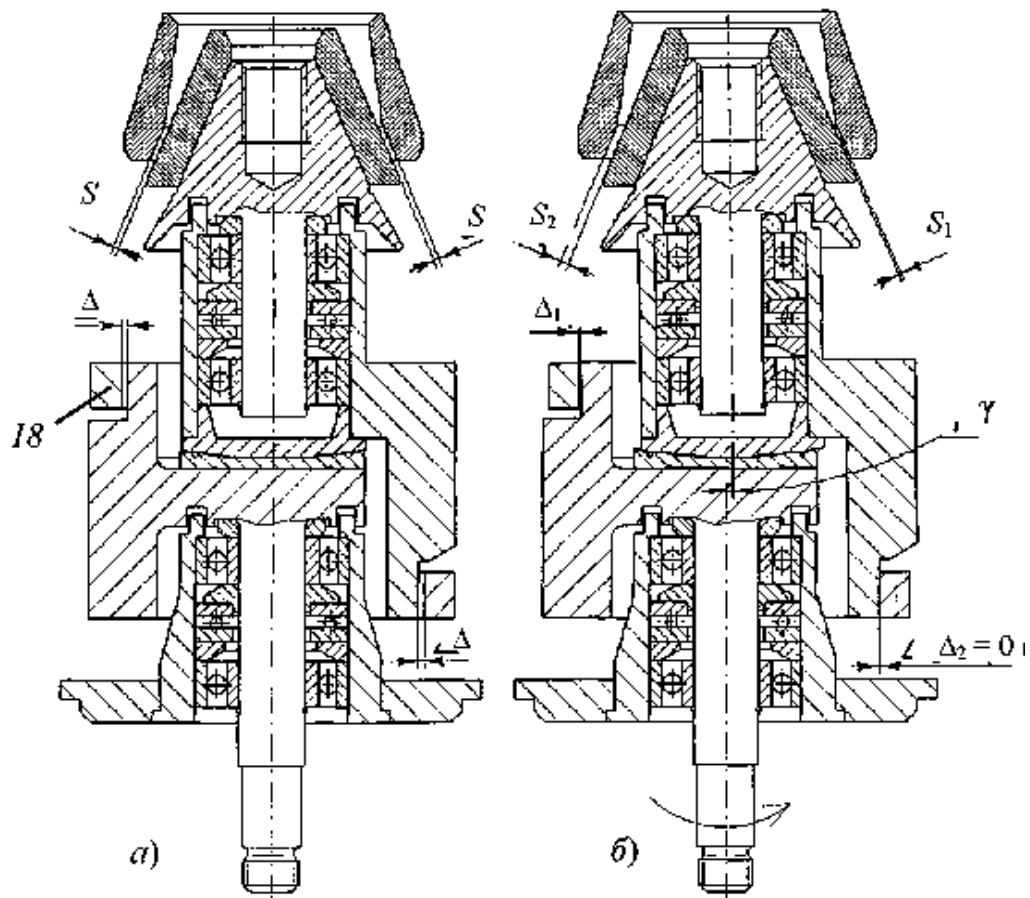


Рисунок 2.3. Кінематична схема ВКМД 6

До включення дробарки величина розвантажувальної щілини рівна S , при цьому осі дебалансів збігаються, а відстань між дебалансами і обмежувальними кільцями 18 максимальна і рівна Δ (рис. 2.3, а).

Ведучий дебаланс, що обертається від електродвигуна через клинопасову передачу, через гумові демпфери, передає обертання на ведений дебаланс. Він обертається синхронно з ведучим дебалансом, при цьому конус з внутрішнім футеруванням здійснює планетарну обкатку по зовнішньому футеруванню. В результаті відстань між футеруваннями зменшується з одного боку конуса до величини S_1 , а з протилежною –

збільшується до S_2 (при цьому $S_1 + S_2 = 2S$). Величина зазору Δ_1 залежить від товщини шару подрібнюваного матеріалу S_1 і може бути рівною $0 \dots 2\Delta$ (рис. 2.3, б).

Матеріал, що подається в приймальну воронку, поступає в камеру подрібнення. Частки матеріалу заклинюються між футеруваннями і піддаються стискуванню і деформаціям зсуву під впливом конуса, що дробить, або самоподрібнюються. В результаті відбувається попереднє подрібнення матеріалу. Далі частки матеріалу поступають в паралельну зону камери подрібнення, в якій подрібнюються до необхідної величини.

Переміщення матеріалу в камері подрібнення і розвантаження продукту здійснюється безперервно під впливом вібрації.

2.5. Методика проведення дослідження

1. Відрегулювати відстань між футеруваннями і встановити задану швидкість обертання конуса. Регулювання відстані між футеруваннями здійснюється при вимкненій дробарці в наступній послідовності:

- розкрутити трохи стопорні гвинти *11* (рис. 2.1);
- закрутити до упору чашу *5* за ручки кришки, при цьому риски кришки, що знаходиться навпроти риски корпусу, є початком відліку;
- викручуйте чашу до досягнення необхідної відстані між футеруваннями: поворот чаші на одну риску кришки змінює відстань між футеруваннями на 0,25 мм, а повний оберт чаші – на 6 мм;
- затягніть стопорні гвинти.

2. Провести виміри геометричних параметрів млина-дробарки. Результати вимірів занести в табл. 2.1.

3. Включити привод дробарки і провести вимір частоти обертання конуса, що дробить. Результати вимірів занести в табл. 2.2.

4. Провести вимір витрати електроенергії по приладах на холостому ході. Результати вимірювань занести в таблицю. 2.3.

5. Приготувати три порції вихідного матеріалу заданої маси і провести його ситовий аналіз. Результати занести в табл. 2.2.

6. Включити привод дробарки і провести процес подрібнення вихідного матеріалу. Одночасно виміряти витрати електроенергії по приладах за час подрібнення заданої порції вихідного матеріалу (на робочому ході). Результати вимірів занести в табл. 2.3.

7. Провести ситовий аналіз подрібненого матеріалу. Дані занести в табл. 2.2.

8. Змінити режим роботи дробарки (частоту обертання конуса, що дробить) і провести повторне випробування дробарки пп. 3 – 7.

Увага! Виміри часу подрібнення починаються з моменту надходження в камеру подрібнення часток подрібнюваного матеріалу і закінчуються з попаданням в лоток останніх часток продукту.

2.6. Обробка результатів дослідження

1. Розрахувати розмір часток вихідного і подрібненого матеріалу по формулі

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}$$

де x_i – вагова доля i -ої фракції; d_i – середній ситовий розмір i -ої фракції (тобто середнє значення між розмірами прохідного і непрохідного сит).

2. Розрахувати ступінь подрібнення. Результати розрахунків по пп. 1-2 занести в табл. 2.2.

3. Розрахувати теоретичну продуктивність дробарки, м³/с

$$Q_D = k_p \pi D_i c \cdot e \cdot n$$

де $k_p = 0,7$ – коефіцієнт розпушування матеріалу в камері подрібнення; D_i – діаметр основи рухомого конуса м; c – довжина паралельної зони камери подрібнення, м; e – ширина вихідної щілини, м; n – частота обертання конуса, що дробить, об/с.

4. Розрахувати дійсну продуктивність дробарки.

5. Розрахувати теоретичну потужність, що витрачається на подрібнення матеріалу по формулі, кВт

$$N_T = 12,6 D_n^2 n$$

де n – частота обертання конусу, 1/с.

6. Розрахувати дійсну потужність, що витрачається на подрібнення матеріалу, кВт

$$N_D = N_{px} - N_{xx}$$

де N_{px} , N_{xx} – потужність, що витрачається, відповідно, на робочому і холостому ходах, кВт. Ці величини слід розраховувати по формулах, кВт

$$N_{px} = I_{px} + U_{px}$$

$$N_{xx} = I_{xx} + U_{xx}$$

де I_{px} , I_{xx} – сила струму на робочому і холостому ходах, відповідно, А; U_{px} , U_{xx} – напруга, В.

7. Розрахувати питому витрату енергії, кВт·год/т

$$N_{y\partial} = N_D / Q_D$$

8. Оцінити ефективність роботи дробарки, т/кВт·год

$$E = Q_D / N_D$$

Результати розрахунків за пп. 3 – 8 записати в табл. 2.3.

9. Проаналізувати отримані результати і зробити висновки.

Таблиця 2.1. Геометричні параметри дробарки

| Найменування параметра | Значення параметра |
|--|--------------------|
| Діаметр основи рухомого конусу D_n , м | |
| Ширина вихідної щілини e , м | |
| Довжина паралельної зони камери подрібнення $c = D_n / 12$ | |
| Частота обертання конусу, що дробить n , об/хв | |
| Діаметри шківів D_1 та D_2 , м | |

Таблиця 2.2. Результати дослідження процесу подрібнення

| Час подрібнення, τ , с | Середній діаметр часток вихідного матеріалу, d_n , мм | Середній діаметр часток продукту, d_k , мм | Ступінь подрібнення i | Маса подрібнюваного матеріалу, m , кг |
|-----------------------------|---|--|-------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Таблиця 2.3. Аналіз роботи млина-дробарки

| Продуктивність | | Сила струму, мА | | Потужність, що споживається дробаркою, кВт | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|--|----------------------|--------------|--------------------|
| Дійсна Q_d , кг/год | Розрахункова Q_T , кг/год | Холостий хід I_{xx} | Робочий хід I_{px} | Холостий хід N_{xx} | Робочий хід N_{px} | Дійсна N_d | Розрахункова N_T |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Запитання та завдання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте переваги, недоліки і сферу переважного застосування конусних дробарок.
2. Поясніть пристрій і принцип дії вібраційного конусного млина-дробарки.

3. Яка мета і методика випробування лабораторної дробарки.
4. Чому в конструкції конусної дробарки відсутній масивний маховик?
5. Поясніть призначення вібрацій в дробарці.
6. Сформулюйте умову визначення кута захвату конусної дробарки.
7. З якої умови визначається і на що впливає розмах коливань конуса, що дробить?
8. Які способи подрібнення реалізуються в конусних дробарках?
9. Охарактеризуйте особливості експлуатації конусних дробарок.
10. Поясніть фізичний сенс коефіцієнта розпушування і його вплив на продуктивність дробарки.
11. Сформулюйте основні вимоги безпечної експлуатації дробарки.

Лабораторна робота 3

БАРАБАННИЙ КУЛЬОВИЙ МЛИН

3.1. Практична значущість лабораторної роботи

Подрібнення є процесом механічного руйнування твердих речовин. За принципом руйнування твердого матеріалу машини для подрібнення можна розділити на три групи: роздавлюючої, ударної і ударно-стираючої дії. До першої групи відносяться щічні, валкові та конусні дробарки. До другої групи відносяться молоткасті дробарки, до третьої – барабанні млини, які поширені у промисловості.

3.2. Мета лабораторної роботи

1. Вивчення пристрою і принципу дії барабанного млина.
2. Випробування експлуатаційних характеристик млина.

3.3. Основні теоретичні положення

Барабанний млин є барабаном, що обертається, із співвідношенням довжини до діаметру від 1 до 6. Барабан заповнюється тілами-кулями (керамічними, фарфоровими, металевими), або стержнями які мелють. Ці тіла при обертанні барабана завдяки тертю об його стінки, піднімаються на деяку висоту, а потім вільно падають, подрібнюючи матеріал ударом і стиранням.

Частота падіння кулі, отже, і продуктивність барабанного млина залежать від числа обертів барабана.

Але вочевидь, збільшувати число обертів барабана можна лише до певного значення. Ця межа називається «критичною швидкістю», при якій куля починає обертатися разом із стінкою барабана, досягаючи найвищої точки.

Робоча швидкість обертання барабана нижче критичної приблизно на 25 %. У кожному конкретному випадку точне робоче число обертів барабана необхідно визначати експериментально.

Продуктивність млина розраховується на вихід часток певної величини і може бути визначена орієнтовно по емпіричній формулі, т/год

$$Q = kVD^{0,6} \quad (3.1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, залежний від величини вихідного і кінцевого матеріалу; V – об'єм барабана, м³; D – внутрішній діаметр барабана, м.

Коефіцієнт k визначається по наступній залежності

$$k = (2,3 \cdot 10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-3}) d_n / d_k \quad (3.2)$$

де d_n – розмір (діаметр) часток матеріалу до подрібнення (середній) мм;
 d_k – розмір часток після подрібнення (середній), мм.

Продуктивність млина залежить від багатьох чинників: властивостей матеріалу, його початкової і кінцевої величини (розміру); коефіцієнта заповнення барабана кулями; розміру млина і т.д.

Тому точніше продуктивність млина може бути визначена лише дослідним шляхом. Кульове завантаження барабанних млинів складає приблизно 30 % від об'єму барабана. Цей так званий коефіцієнт заповнення можна розрахувати по формулі

$$\varphi = M_{ш} / \rho_n V, \quad (3.3)$$

де $M_{ш}$ – маса куль, кг; ρ_n – насипна щільність куль, кг/м³; V – обсяг барабана, м³.

Розмір куль, що завантажуються в барабан, залежить від розмірів часток вихідного і подрібненого матеріалу. Всі ці величини взаємно зв'язані наступним емпіричним співвідношенням, мм

$$d_{ш} = 6(\lg d_k) \sqrt{d_n}, \quad (3.4)$$

де $d_{ш}$ – діаметр кулі, мм; d_n – розмір часток матеріалу до подрібнення, мм; d_k – розмір часток після подрібнення, мм.

Середнє значення розмірів часток подрібненого матеріалу визначають на основі ситового аналізу. При цьому використовують набір сит, встановлених на вібростенді.

3.4. Опис експериментальної установки

Лабораторна установка складається із станини з приводом і керамічного барабана, що має товщину стінки 20 мм. З одного торця барабана є отвір для завантаження і вивантаження куль і матеріалу, що переробляється. Отвір закривається кришкою за допомогою струбцини. Барабан встановлений на чотирьох опорних роликах. Обертання барабана здійснюється електродвигуном за допомогою фрикційної передачі. У барабан завантажуються керамічні кулі з насипною щільністю 1530 кг/м³ або металеві кулі ($\rho_n = 5000$ кг/м³).

До складу лабораторної установки входить набір сит, встановлених на вібростенді.

3.5. Методика проведення дослідження

1. Провести виміри геометричних розмірів барабана, діаметру куль і масу куль. Занести результати в табл. 3.1.

2. Провести ситовий аналіз вихідного матеріалу і дані занести в табл. 3.2, для $\tau = 0$.

3. Завантажити в барабан матеріал для подрібнення і тіла, що мелють.

4. Включити привод млина і провести процес подрібнення матеріалу протягом заданого викладачем проміжку часу (τ , хв); при цьому визначити робочу швидкість обертання барабана.

5. Вивантажити матеріал і провести ситовий аналіз. Дані занести в табл. 3.2, для $\tau = 5$ хв.

6. Повторити цикл подрібнення, завантажив матеріал в барабан, для τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 .

Таблиця 3.1. Технічна характеристика млина

| Найменування параметра | Значення параметра | Примітка |
|--|--------------------|-------------------------------|
| D – внутрішній діаметр | | Товщина стінки барабану 20 мм |
| l – довжина барабана, м | | |
| n – робоче число обертів, об/хв | | |
| $n_{кр}$ – критичне число обертів, об/хв | | |
| $M_{ш}$ – маса куль, кг | | |
| $d_{ш}$ – діаметр кулі, мм | | |
| φ – коефіцієнт заповнення | | |
| t – час процесу, хв | | |

Таблиця 3.2. Результати ситового аналізу початкового і подрібненого матеріалу

| Фракція, мм | Вага фракції, г | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| | Час подрібнення, хв | | | | |
| | τ_0 | τ_1 | τ_2 | τ_3 | τ_4 |
| Загальна вага матеріалу, г | | | | | |
| Середній діаметр часток, мм | $d_0 =$ | $d_1 =$ | $d_2 =$ | $d_3 =$ | $d_4 =$ |
| Ступінь подрібнення $i = d_H/d_K$ | | | | | |

Таблиця 3.3. Аналіз роботи млина

| Найменування параметра | Теоретичне значення | Дослідне значення |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| Розмір часток, мм | | |
| Продуктивність, т/год | | |

3.6. Обробка результатів дослідження

1. Розрахувати критичну частоту обертання барабана по формулі (3.2). Результати розрахунку занести в табл. 3.1.

2. Розрахувати коефіцієнт заповнення барабана тілами, що мелють, по формулі (3.3) і занести його значення табл. 3.1.

3. Розрахувати експериментальне і теоретичне значення середнього діаметру часток подрібненого матеріалу і занести їх значення в табл. 3.3.

4. Розрахувати експериментальне (по кількості подрібненого матеріалу) і теоретичне значення продуктивності млина і занести їх значення в табл. 3.3.

5. Порівняти розрахункові і реальні (дослідні) значення середнього діаметру часток подрібненого матеріалу і продуктивності млина і зробити відповідні висновки.

6. Звіт по роботі також повинен містити схему лабораторної установки.

Запитання та завдання для самоперевірки

1. З якою метою подрібнюють тверді матеріали?
2. Які методи подрібнення твердих матеріалів Ви знаєте?
3. Що таке міра подрібнення?
4. Принцип дії барабанних млинів.
5. До якої межі можна збільшувати число обертів барабана?
6. Що показує коефіцієнт заповнення барабана?
7. Від яких параметрів залежить продуктивність млина?
8. За якими показниками підбираються розміри куль?
9. Як визначити середній розмір подрібненого матеріалу?
10. За допомогою якої передачі здійснюється обертання барабана?

Навчальне видання

Методичні вказівки
до лабораторних занять з дисципліни
«Машини та апарати хімічних, переробних та харчових виробництв»
Тематичний блок «Обладнання для подрібнення»

для студентів спеціальності G11 Машинобудування
(за спеціалізаціями)
усіх форм навчання

(українською мовою)

Укладачі:

МОЇСЄЄВ Віктор Федорович
МАНОЙЛО Євгенія Володимирівна
ПОНОМАРЬОВА Наталія Георгіївна
ШКОП Андрій Олександрович

Відповідальний за випуск (завідувач кафедри) Шестоपालов О. В.
Роботу рекомендував до друку (експерт РВР) Нечипоренко Д. І.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 321

Підписано до друку. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Riso-друк.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,8. Обл.-вид. арк. Наклад прим. Зам. №

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронне видання