

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний
університет
Кафедра “Матеріалознавство та ливарне виробництво”
Скрипник О.В., Конончук С.В

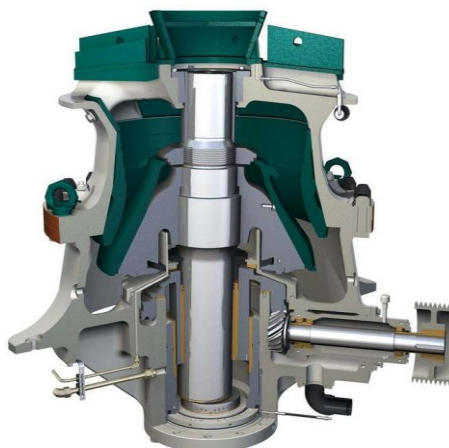


МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу
"Обладнання ливарного виробництва"
для студентів-ливарників спеціальностей 131 "Прикладна
механіка", 133 "Галузеве машинобудування"

Частина 1

"Розміщення, розвантажування та підготовка матеріалів в ливарному
цеху"



Кропивницький 2020

Обладнання ливарного виробництва. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Обладнання ливарного виробництва" для студентів-ливарників спеціальностей 131 "Прикладна механіка", 133 "Галузеве машинобудування". Частина 1 "Розміщення, розвантажування та підготовка матеріалів в ливарному цеху" / Укл.: О. В. Скрипник, С.В. Конончук – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 68 с.

Укладачі: О. В. Скрипник – канд. техн. наук, доцент

С.В. Конончук – канд. техн. наук, доцент

Рецензент: В. М. Кропівний – канд. техн. наук, професор

© Скрипник О.В.

© Тиражування РВЛ ЦНТУ

Зміст

	Стор.
ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1. Системи пневматичного транспорту сипких матеріалів.....	6
Лабораторна робота №2. Шокові дробарки.....	19
2.1. Шокова дробарка з простим рухом шоки.....	25
2.2. Шокова дробарка із складним рухом шоки.....	28
Лабораторна робота №3. Конусні дробарки.....	34
Лабораторна робота №4. Валкові дробарки.....	41
Лабораторна робота №5. Молоткові дробарки.....	49
Лабораторна робота №6. Роторні дробарки.....	57
Література.....	65

ВСТУП

Курс **"Обладнання ливарного виробництва"** складається із шести змістових модулів: модуль 1 "Розміщення, розвантажування та підготовка матеріалів в ливарному цеху" – 6 тижнів; модуль 2 "Гомогенізація, охолодження і регенерація відпрацьованих формувальних сумішей. Виготовлення свіжих формувальних і стержневих сумішей" – 6 тижнів; модуль 3 "Устаткування і методи виробництва ливарних форм і стержнів" – 6 тижнів; модуль 4, "Вибивка відливків" – 5 тижнів; модуль 5 "Очистка відливків" – 6 тижнів; модуль 6 "Автоматичні ливарні лінії" – 6 тижнів.

Частина перша методичних вказівок охоплює питання змістовного модуля 1.

Проведення лабораторної роботи, оформлення і захист звіту

Лабораторні роботи проводяться під керівництвом викладача. В основу кожної лабораторної роботи покладено принцип максимальної самостійності студентів.

Початку роботи передують бесіда, у якій студенти одержують інструктаж з техніки безпеки і розписуються у відповідному журналі. Перед виконанням чергової роботи викладач перевіряє підготовку студентів до занять, повідомляє деякі теоретичні відомості, які відносяться до даної роботи. Варіант завдання на лабораторну роботу визначається номером, під яким студент записаний у журналі академічної підгрупи. При виконанні лабораторної роботи студенти заносять результати досліджень у відповідні таблиці, виконують їх обробку і аналіз. По закінченню роботи складається звіт. Оформлений звіт захищається студентом перед початком наступної роботи. Студенти, які пропустили лабораторну роботу, виконують її наприкінці семестру поза розкладом, за спеціальним графіком.

Звіт включає наступне

- назва лабораторної роботи та мета її виконання;
- теоретичні відомості (коротко викласти принцип дії та будову машини або установки, її переваги та недоліки);

- конструкторсько–технологічний розрахунок машини або установки з використання ЕОМ;
- навести (якщо необхідно) зведені таблиці, графіки, діаграми, схеми конструктивних рішень;
- проаналізувати отримані результати і зробити висновки, обґрунтувати прийняті рішення.

Порядок проведення поточного, модульного і семестрового контролю

При вивченні курсу **"Обладнання ливарного виробництва"** використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, модульний, підсумковий.

Вхідний контроль проводиться на початку вивчення дисципліни і передбачає оцінку знань студентів на початку вивчення курсу.

Модульний контроль передбачає перевірку рівня засвоєння визначеної системи елементів знань та вмінь студента з того чи іншого змістового модуля. Модульний контроль проводиться під час лекцій, лабораторних занять або в позааудиторний час. Студент допускається до складання модульного контролю **за умови** повного виконання завдань, передбачених робочою навчальною програмою. Проведення поточного і модульного контролю з використанням модульно-рейтингової системи проводиться у **тестовій** формі.

Результати перевірки тестових контрольних завдань (в балах) доводяться до відома студентів після проведеного модульного контролю.

Розподіл вагових балів за 1 модулем

№ модуля	Назва модуля	Максимальна кількість балів					Мінімальна кількість балів для зарахування модуля
		ЛР	ПЗ	Самостійна робота	Тест	Всього	
7 семестр							
1.	Розміщення, розвантажування та підготовка матеріалів в ливарному цеху	4	2	8	16	30	18

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

СИСТЕМИ ПНЕВМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: – ознайомитися з конструкцією установок для пневматичного транспорту сипких матеріалів, визначити потужності їх приводів, а також величини сил, які діють в елементах механізмів установок для здрібнення матеріалів.

Теоретичні відомості

Переміщення сипких матеріалів в трубопроводі відбувається різними способами:

- шляхом переносу твердих частинок матеріалу обтікаючим їх повітрям або газом (або шляхом видавлювання повітрям скупчень матеріалу);
- шляхом придання матеріалу плинності за рахунок аерації (насичення повітрям).

По способу створення повітряного потоку і умовам тиску його в трубопроводах пневмотранспортні установки підрозділяються на всмоктуючі, нагнітальні і комбіновані – всмоктуючо–нагнітальні. В нагнітальних системах тиск робочого середовища в транспортному трубопроводі більший атмосферного, у всмоктувальних, навпаки, менше атмосферного. Відмінність систем пневмотранспортних установок одна від одної може полягати в різному розташуванні окремих елементів.

По максимальній величині надлишкового тиску або розрідження пневматичні транспортні установки підрозділяються на низьконапірні, середньонапірні і високонапірні.

Залежно від ступеня розрідження в кінці пневмотранспортної системи всмоктувальні установки підрозділяють на установки з низьким (до 0,01 МПа), середнім (до 0,03 МПа) і високим (до 0,09 МПа) залишковим тиском. Однак практично всмоктувальні установки працюють при залишковому тиску, що не

перевищує 0,05 МПа [1]. Підвищення залишкового тиску зменшує густину робочого потоку, знижує його здатність до переносу матеріалу і збільшує витрату повітря.

Із цієї причини у всмоктувальних установках транспортування двофазного потоку при високих концентраціях матеріалу можливо лише при малій довжині траси (не більше 80 – 100 м). Для переміщення двофазного потоку при середній і високій концентрації матеріалу на значні відстані (більш 100 м) рекомендується застосовувати нагнітальні установки.

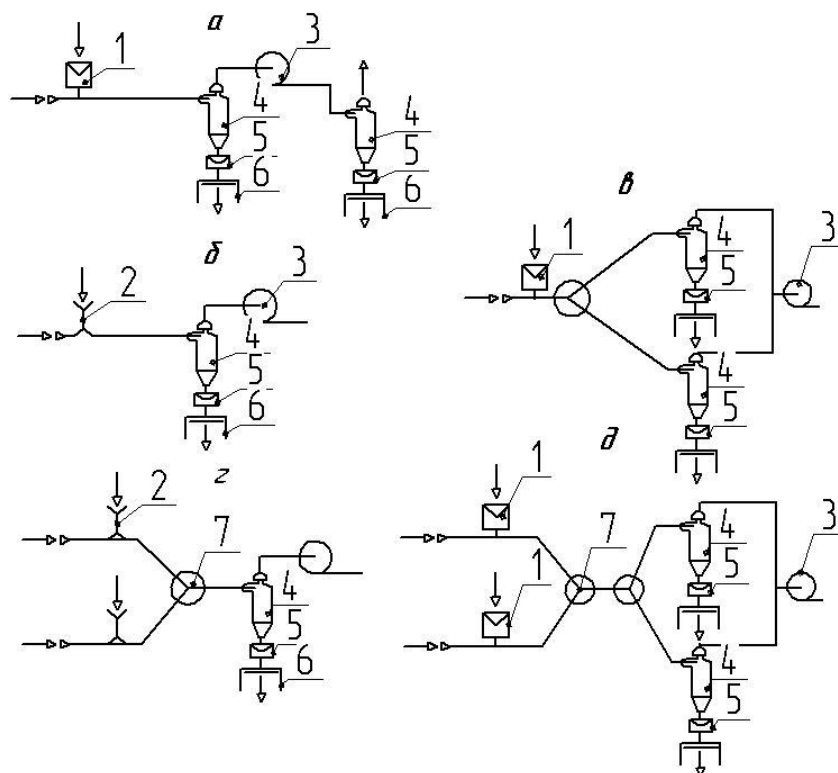
Нагнітальні установки розрізняють по величині тиску на початку пневмотранспортної мережі: низького (до 0,11 МПа), середнього (до 0,2 МПа) і високого (до 0,9 МПа) тиску [2]. Необхідно відмітити, що початковий тиск у нагнітальних установках або розрідження в установках всмоктувального типу розраховуються з урахуванням втрат тиску в пневмотранспортній установці, які у свою чергу залежать не тільки від концентрації твердої фази двофазного потоку, дальності транспортування, продуктивності установки, але й від принципу роботи пневмомережі (тобто способу переміщення твердої фази по трубопроводах).

Границі тиску характеризуються потужністю повітродувних машин, які використовуються у системах пневматичного транспорту. Найбільш широке застосування в практиці одержали: для низьконапірних систем – вентилятори, для середьонапірних – повітродувки, для високонапірних – компресори.

По компонованню системи пневматичного транспорту підрозділяються на відкриття й кільцеві. У відкритих систем транспортуюче середовище після виконання своїх функцій випускається в атмосферу. У кільцевих системах воно безупинно циркулює по трубопроводах, виконуючи на певних ділянках транспортні функції. У більшості випадків застосовують кільцеві системи, де основна кількість робочого середовища циркулює в закритій системі, виконуючи транспортні функції, а невелика частина його засмоктується і випускається із системи разом з переміщуваним матеріалом. Пневмотранспортні установки всмоктувального типу прості у виготовленні й монтажі, можуть забирати

матеріал одночасно з декількох місць і мають високі експлуатаційні якості. Транспортує робоче середовище в такій установці засмоктується разом з матеріалом, і по шляху транспортування відбувається їхнє змішування. Далі двофазний потік переміщається по транспортних трубопроводах у видільний пристрій (споживачеві), де матеріал відділяється від транспортуючого робочого середовища, яке надходить далі в повітродувну машину де стискується і викидається в атмосферу. На рисунку 1.1 а, показана принципова схема пневмотранспортної установки всмоктувального типу.

Відділення матеріалу можна здійснювати двоступінчастим очищенням робочого середовища від твердої фази залежно від початкового забруднення. Оскільки у видільному пристрої є розрідження, то живильник (можливе застосування шнекового живильника) повинен забезпечити герметичність, щоб запобігти проникненню повітря в циклон.



1 – живильник; 2 – завантажувальна вирва; 3 – повітродувна машина;

4 – віддільник; 5 – живильник бункера; 6 – бункер; 7 – перемикач

Рисунок 1.1. Принципові схеми всмоктувальних пневмотранспортних установок

Крім описаної вище схеми пневмотранспортної установки всмоктувальної дії, яка забезпечує одне місце забору, можливі схеми для подачі матеріалу в різні місця з встановленням різного роду перемикачів на транспортних трубопроводах (рисунк. 1.1 в,). Особливо виправдовують себе такі установки, які забезпечують подачу транспортуємого матеріалу з декількох місць в одне.

Від місць забору матеріалу транспортні трубопроводи прокладаються до загального трубопроводу, причому транспортувати двофазний потік можна як по одному, так і по двом і більш трубопроводам одночасно залежно від технологічних вимог до установки, яка експлуатується (рисунк 1.1 г). Такий тип транспортування, тобто забір матеріалу з одного або декількох місць (розвантаження матеріала в одному або декількох місцях), можна здійснювати за допомогою перемикачів.

До переваг пневмотранспортних установок всмоктувальної дії необхідно віднести те, що їх завантажувальні пристрої відрізняються простотою конструкції, не вимагають герметизації, оскільки трубопроводи завжди перебувають під розрідженням [3].

Для переміщення матеріалу, який транспортується, на більші відстані іноді застосовуються змішані (комбіновані) системи пневмотранспортних установок, які складаються із двох послідовно працюючих систем. Перша, яка організує транспортування матеріалу до місць його перевантаження, як правило, представляє з себе всмоктувальну систему, подальше його переміщення здійснюється нагнітальною системою.

У загальному випадку пневмотранспортні установки залежно від функцій, які вони виконують, можна підрозділити на дві групи:

- цехові установки, розташовувані усередині виробничих приміщень, які вловлюють і видаляють сипкі матеріали від технологічного устаткування, а потім транспортують його усередині цеху або за його межі. Для цієї мети переважно використовують всмоктувальні і всмоктувально–нагнітальні установки низького тиску;
- установки, які виконують тільки транспортні функції, тобто, ті які

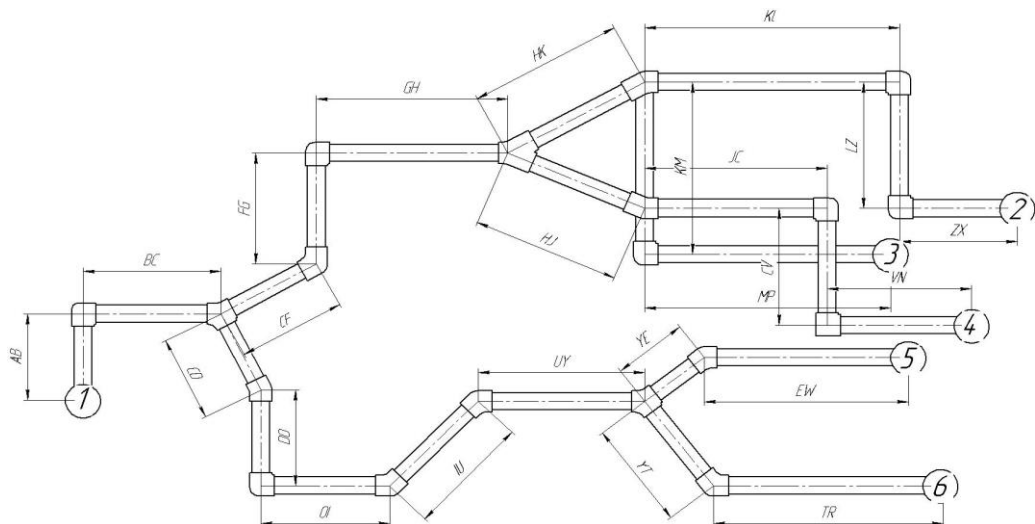
переміщують двофазний потік усередині цеху відповідно до технологічного процесу по території підприємства, а також за його межами. Ці установки залежно від виду переміщуваного матеріалу, його концентрації, відстані транспортування можуть бути всмоктувальними, нагнітальними і всмоктувально-нагнітальними.

По величині масової концентрації двофазного потоку пневмотранспортні установки діляться на установки низкою ($\mu < 0,5$), середньої ($0,5 < \mu < 4$) і високої концентрації ($\mu > 4$) [1].

Завдання для розрахунку

Визначити габаритні розміри пневмотранспортної установки, потужність приводів повітродувов, а також величини основних параметрів, які визначають її типорозмір.

Параметри пневмотранспортної установки – продуктивність установки Q ; вид траси (рис. 1.2), довжина елементів траси (табл. 1.2); властивості та характеристики матеріалу – сухий, вологий, зернистість і т.д., розмір вихідних кусків матеріалу d_k , густина матеріалу ρ_m , коефіцієнт, що враховує крупність часток α , наведені в табл. 1.1.



1 – захлопка; 2 – проста задвижка; 3 – задвижка Лудло; 4 – задвижка з симетричним звуженням; 5, 6 – захлопка

Рисунок 1.2. Загальний вигляд траси пневмотранспортної установки

Порядок виконання роботи

Насамперед, необхідно визначити приведену довжину траси, яка представляє собою суму еквівалентних і геометричних довжин. Еквівалентною довжиною місцевого опору в транспортуючому трубопроводі – називається така довжина прямолінійної горизонтальної ділянки, у якій величина втрати напору повітря відповідає місцевому опору в трубопроводі (наприклад, у коліні, відводі, перемикачі і т.д.).

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку пневмотранспортної установки

Варіант	Твердий матеріал	Q, т/год	d _к , мм	ρ _т , кг/м ³	$\frac{R_k}{d_m}$	Матеріал
1	Апатит	10	80	2800	4	порошкоподібний
2	Антрацит	12	20	1600	4	неоднорідний мілкокусовий
3	Бетон	14	40	2300	6	неоднорідний крупнокусовий
4	Гіпс	16	10	2690	6	однорідний зерновий сухий
5	Граніт	18	10	3300	10	неоднорідний мілкокусовий
6	Вапняк високої густини	11	30	3000	10	порошкоподібний
7	Вапняк низької густини	13	5	2800	10	однорідний зерновий сухий
8	Вапняк пористий	15	3	2600	12	однорідний зерновий сухий
9	Колчедан	17	1	5200	12	однорідний зерновий сухий
10	Мергель	19	8	2800	12	однорідний зерновий вологий

Таблиця 1.2 – Довжина елементів траси пневмотранспортної установки

Варіант	AB, м	BC, м	CD, м	DO, м	OL, м	LU, м	UY, м	UE, м	UT, м	EW, м	TR, м	CF, м	FG, м	GH, м	HK, м	HJ, м	JC, м	CV, м	VN, м	KL, м	LZ, м	ZX, м	KM, м
1	5	10	15	2	5	7	11	2	9	1	10	2	8	3	9	5	10	2	1	8	4	7	6
2	4	11	7	5	10	8	10	1	3	2	9	5	2	5	7	4	9	4	3	7	5	3	8
3	3	9	8	3	6	3	9	3	5	3	8	6	5	4	3	3	8	6	5	6	6	5	9
4	2	7	10	6	3	5	8	4	6	4	7	3	3	1	1	2	7	8	7	9	1	8	10
5	6	8	12	8	7	2	6	6	10	5	6	4	6	2	10	1	6	10	9	5	2	6	5
6	7	5	13	7	9	4	7	5	2	6	5	1	4	10	5	7	1	3	10	2	3	10	4
7	8	6	5	10	8	9	5	9	8	7	4	7	1	7	2	6	2	5	8	1	10	2	7
8	10	3	6	9	4	6	2	8	7	8	3	10	7	9	4	8	3	7	6	10	9	1	3
9	9	1	9	11	2	11	3	7	4	9	2	9	10	8	8	10	4	9	4	3	7	4	2
10	11	4	11	4	5	2	4	2	1	10	1	8	9	6	6	9	5	1	2	4	8	9	1

Для практичного використання її наближене значення обчислюється по формулі:

$$L_{np} = \sum l_z + \sum l_v + \sum l_{ek\kappa} + \sum l_{ekn}, \quad (1.1)$$

де L_{np} – приведена довжина трубопроводу, м;

$\sum l_z, \sum l_v$ – сумарна довжина горизонтальних і вертикальних ділянок траси, м;

$\sum l_{ek\kappa}, \sum l_{ekn}$ – сумарна еквівалентна довжина колін і перемикачів трубопроводу, м.

Еквівалентну довжину $\sum l_{ek\kappa}$ для колін з кутом повороту 90° визначають по табл. 1.3. Менше значення вибирають для малоабразивних вантажів (вугільний пил і ін.) при невеликих швидкостях транспортування. Еквівалентна довжина двоходових перемикачів $\sum l_{ekn}$, при переміщенні порошкоподібних матеріалів приймається рівною 8 м, а для свіжої формувальної суміші і піску – 15 м [4]. Якщо матеріал транспортується через перемикачі трубопроводів, то останні не повинні створювати додаткових місцевих опорів.

Таблиця 1.3 – Значення еквівалентної довжини повороту $\sum l_{ek\kappa}$ з коефіцієнта α для різних матеріалів

Матеріал	α	$\sum l_{ek\kappa}$ (м) при співвідношенні R_κ/d_m рівному			
		4	6	10	12
Порошкоподібний	10–16	4–8	5–10	6–10	8–10
Однорідний зерновий: сухий вологий (до 5%)	17–20	–	8–10	18–16	16–20
	12–15	–	–	16–20	12–16
Неоднорідний: мілкокусовий крупнокусовий	17–22	–	–	28–35	28–45
	22–25	–	–	60–80	70–90

Примітка: R_κ – радіус коліна; d_m – діаметр трубопроводу.

Для руху матеріалу по трубопроводу необхідна достатня величина швидкості транспортуючого повітря v_n . Ефективність захвату матеріалу потоком

повітря в трубопроводі визначається фізико-хімічними властивостями матеріалу і швидкістю його витання v_k , яка обчислюється за емпіричною формулою (м/с):

$$v_{um} = k \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_n}} d_k, \quad (1.2)$$

де $k = 6 \dots 17 \text{ с}^{-1}$ [1] – коефіцієнт, що залежить від форми, розміру й характеру поверхні частки (менше значення k приймається для пилоподібних неабразивних матеріалів);

ρ_m – густина вантажу, який транспортується, кг/м^3 ;

ρ_n – густина повітря, кг/м^3 (при атмосферному тиску $\rho_n = 1,29$, для нагнітальних установок $\rho_n = 1,6 - 2,0$, для всмоктувальних $\rho_n = 0,80 - 0,95$);

d_k – розмір шматків матеріалу, м.

Робочу швидкість повітря в трубопроводі розраховують за виразом $v_n = v_{um}(1,1 \dots 2,0)$ або, (м/с):

$$v_n = \alpha \sqrt{\rho_m} + B L_{np}^2, \quad (1.3)$$

де α – коефіцієнт, що враховує крупність часток (див. табл. 1.3);

$B = (2 - 5) 10^{-5}$ [2] – коефіцієнт, що залежить від вологості матеріалу (менше значення приймається для сухих матеріалів, більше – для вологих);

L_{np} – приведена довжина трубопроводу, м.

Витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_n = \frac{Q}{3,6 \rho_n \mu}, \quad (1.4)$$

де Q – продуктивність установки, т/год;

μ – насиченість потоку повітря частками матеріалу, який транспортується.

Розраховуємо величину μ :

$$\mu = \frac{G_m}{G_{нов}}, \quad (1.5)$$

де G_m – кількість матеріалу, що транспортується, кг;

$G_{нов}$ – кількість повітря, що транспортує матеріал, кг.

У всмоктувальних установках насиченість потоку повітря частками зазвичай перебуває в межах $\mu = 0,05 \dots 25$ кг/кг, а в нагнітальних – $\mu = 10 \dots 150$ кг/кг і більше [5].

Внутрішній діаметр трубопроводу, м:

$$d_m = \sqrt{\frac{4 Q_n}{\pi v_n}} \text{ або } d_m = 1,13 \sqrt{\frac{Q_n}{v_n}}, \quad (1.6)$$

де $v_{нов}$ – швидкість повітря в трубопроводі м/год.

Після визначення d_m по табл. 1.4 підбирають трубу із внутрішнім діаметром d'_m , рівним (або найближчим більшим) розрахованому. Товщина стінок труб вибирається залежно від абразивності матеріалу, що транспортується. Для формувальних матеріалів і сумішей слід вибирати труби з товщиною стінки 5...8 мм.

Таблиця 1.4 – Внутрішні діаметри труб

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінок, мм					
	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0
45	36	35	–	–	–	–
50	41	40	39	–	–	–
54	45	44	43	42	40	38
57	48	47	46	45	43	41
60	51	50	49	48	46	44
68	59	58	57	56	54	52
73	64	63	62	61	59	57
76	67	66	65	64	62	60
83	74	73	72	71	69	67
89	80	79	78	77	75	73
95	86	85	84	83	81	79

По обраному діаметру уточнюємо необхідну витрату повітря при тій же швидкості, м³/с:

$$Q'_n = \frac{\pi (d'_m)^2}{4} v_n \quad (1.7)$$

Тиск повітря в початковій точці трубопроводу нагнітальних установок, Па:

$$p_{ноч} = \sqrt{1 + \frac{\beta \mu L_{np} v_n^2}{d_m}} \pm \frac{h \mu \rho_n}{10^4}, \quad (1.8)$$

де β – коефіцієнт опору руху повітря;

h – сума довжин вертикальних ділянок траси.

Знак "плюс" у формулі відповідає руху вантажу вгору, а "мінус" – униз. Коефіцієнт β для нагнітальних трубопроводів залежить від параметрів трубопроводу, концентрації суміші і визначається за графіком (рис. 1.2).

Для всмоктувальних установок значення β приймають постійним і воно становить $\beta = 1,5 \cdot 10^{-7}$ [3].

Тиск повітря в кінцевій точці трубопроводу, Па:

$$p_{\kappa} = \sqrt{1 - \frac{\beta \mu L_{np} v_n^2}{d_m}} \pm \frac{h \mu \gamma_n}{10^4} \quad (1.9)$$

Для мінерального пилу коефіцієнт $k = 1$, а для стружок $k = 1,4$ [2].

Розрахунковий опір мережі визначається за формулою, Па:

$$r_p = h_f + h_i, \quad (1.11)$$

де h_f – повна втрата напору в трубопроводі, Па;

h_i – втрата напору, яка враховує локальні сили інерції, Па.

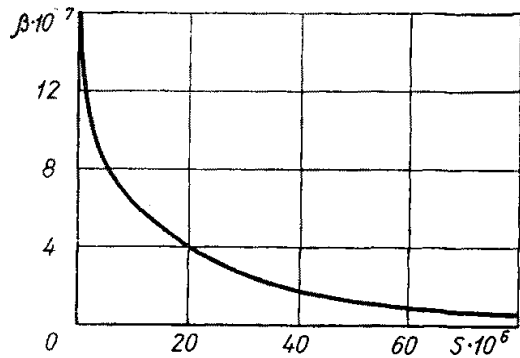


Рисунок 1.2. Залежність коефіцієнта

β від величини $S = \mu L_{np} v_{нов}^2 / d_m$

Знак "плюс" приймають при русі вантажу вниз, а "мінус" – вгору.

Тиск, створюваний вентилятором, Па:

$$H = 1,1 r_p (1 + k \mu), \quad (1.10)$$

де r_p – розрахунковий опір мережі, Па.

Для мінерального пилу коефіцієнт $k = 1$, а для стружок $k = 1,4$ [2].

Повна втрата напору в трубопроводі, Па:

$$h_f = (\xi_l + \sum \xi_j) \frac{v_{нов}^2}{2g}, \quad (1.12)$$

де ξ_l – коефіцієнт опору по довжині ділянки трубопроводу;

ξ_j – місцевий коефіцієнт опору в трубопроводі.

Коефіцієнт опору по довжині трубопроводу:

$$\xi_l = \frac{\lambda l}{d'_m}, \quad (1.13)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

l – довжина ділянки трубопроводу, м.

Для шорстких труб (квадратична область) коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулою Прандтля:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg \frac{\Delta}{3,7} \right)^2}, \quad (1.14)$$

де Δ – еквівалентна шорсткість, мм.

Числові значення еквівалентної шорсткості приведені в табл. 1.5, а значення місцевого коефіцієнту опору в трубопроводі наведені в табл. 1.6.

Втрата напору, яка враховує локальні сили інерції, Па:

$$h_i = \frac{\alpha_0 L}{g} \frac{dv_{нов}}{dt} \quad (1.15)$$

Таблиця 1.5 – Еквівалентна шорсткість труб

Характеристика поверхні труб	Δ , мм
Цільнотянуті труби	
Із латуні	0,0015 – 0,0100
Нові стальні	0,020 – 0,100
Стальні, які знаходяться в експлуатації	1,20 – 1,50
Цільнозварні сталеві труби	
Нові або старі в гарному стані	0,04 – 0,10
Які були в експлуатації	$\approx 0,10 - 0,15$
З подвійною поперечною клепкою, сильно корозійні	2,0
Чавунні труби	
Нові	0,25 – 1,00
Які були в експлуатації, сильно корозійні	1,0 – 1,5

При розрахунках нехтуємо втратою напору, яка враховує сили інерції (пов'язано з тим, що занадто складно розраховувати величини сили інерції в вузлах де виникають місцеві втрати).

Потужність двигуна повітрорудки:

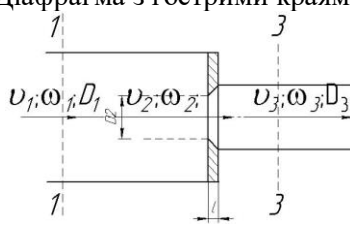
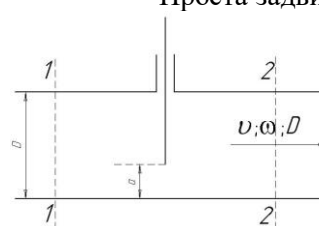
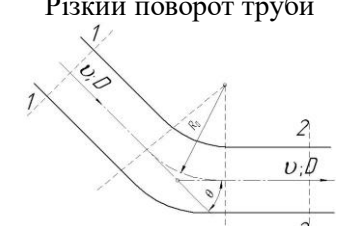
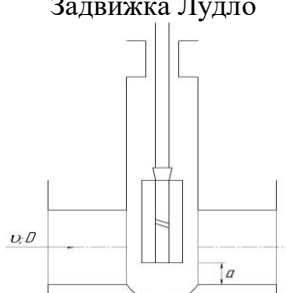
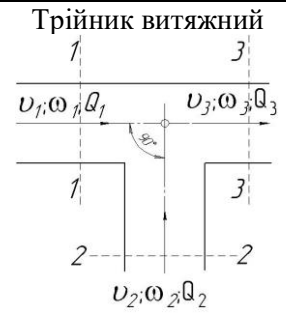
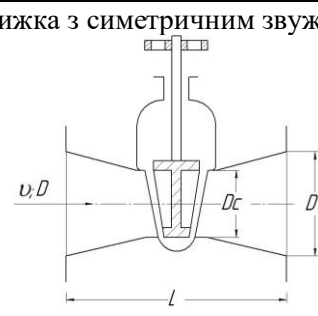
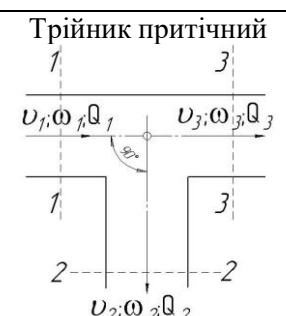
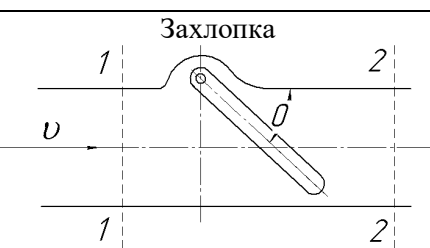
$$N_o = \frac{A Q'_{нов}}{60 \cdot 102 \cdot \eta}, \quad (1.16)$$

де A – теоретична робота повітрорудки, віднесена до 1 м^3 засмоктуваного повітря;
 $\eta = 0,55 \dots 0,70$ [6] – коефіцієнт корисної дії вентилятора.

Розраховуємо величину A :

$$A = 23030 \lg p_1 \quad (1.17)$$

Таблиця 1.6 – Числові значення місцевого коефіцієнту опору в трубопроводі

Вид місцевого опору	ξ_j	Вид місцевого опору	ξ_j
Діафрагма з гострими краями 	0,04	Проста задвижка 	0,06
Різкий поворот труби 	1,10	Задвижка Лудло 	0,15
Трійник витяжний 	$\xi_{2-3} = 2,30$ $\xi_{1-3} = 1,00$	Задвижка з симетричним звуженням 	0,60
Трійник притічний 	$\xi_{1-2} = 2,30$ $\xi_{1-3} = 0,70$	Захлопка 	при $D \leq 200$ 1,9

Тиск у повітродувці p_1 , Па:

$$p_1 = \alpha p_{роб} + p_{ет}, \quad (1.18)$$

де α – коефіцієнт, який враховує втрати тиску в машині ($\alpha = 1,05 \dots 1,25$);

$p_{роб}$ – робочий тиск, ата (для нагнітальних установок $p_{роб} = p_{поч}$, а для всмоктувальних $p_{роб} = 1 - p_{к}$);

$p_{вт}$ – втрати тиску в нагнітальній трубі, ата (для нагнітальних установок $p_{вт} = 0,3$, а для всмоктувальних $p_{вт} = 0,2$).

Для машин, що працюють на розрідження, величину A можна знайти з табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Залежність величини A від значення p_1

p_1 , ата	A , кгм/м ³
0,6	4700
0,7	4100
0,8	3500
0,9	2700

Після одержання значень p_1 і $Q'_{нов}$ вибирається тип повітродувки.

Контрольні запитання

1. З яких пристроїв складається пневматичний транспорт?
2. Перелічіть переваги пневмотранспорту?
3. Які завантажувальні і розвантажувальні пристрої застосовуються в системах пневмотранспорту?
4. Назвіть основні типи пневматичного транспорту?
5. Яка максимальна довжина пневмотранспорту допускається в ливарних цехах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ЩОКОВІ ДРОБАРКИ

Мета роботи: – ознайомитися з конструкцією щоккових дробарок, визначити потужності їх приводів, а також величини сил, які діють в елементах механізмів установок для здрібнення матеріалів.

Теоретичні відомості

Механічний процес руйнування або змільчення шматків матеріалу називається здрібнюванням і проводиться за допомогою здрібнювальних машин – дробарок.

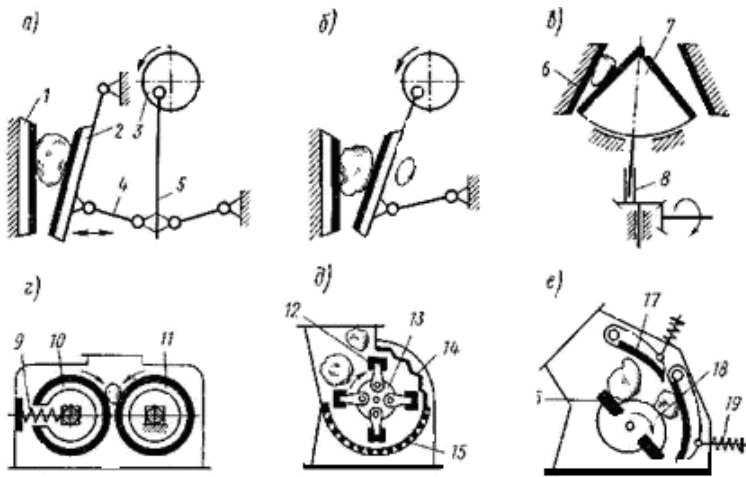
Здрібнювання здійснюється методами роздавлювання (стискування), розколювання і стирання. У дробильних машинах застосовують різні комбінації цих способів з урахуванням фізико–механічних властивостей породи, яка здрібнюється і крупності дроблення. Великі шматки звичайно здрібнюють методом стискування; шматки середньої величини, а також дрібні методом удару або стискування з ударом. Проводяться дослідницькі роботи із застосування для здрібнення вібрації, ультразвукових коливань, а також підривного і електрогідравлічного ефектів.

Матеріал, який надходить у дробарку, називають вихідним матеріалом або продуктом живлення. Подрібнений матеріал, який виходить із дробарки, називається продуктом дроблення або готовим продуктом.

Розрізняють велике, середнє, дрібне і тонке здрібнення. Великим здрібненням називається здрібнювання на шматки розміром 70 – 300 мм; середнім здрібнюванням – на шматки 20 – 70 мм; дрібним – на шматки 1 – 20 мм і тонким – до розмірів у частках міліметра [7].

Здрібнення ведеться в кілька прийомів (стадій) з поступовим зменшенням розмірів шматків. Розрізняють здрібнення одностадійне, двостадійне і т.д.

Відповідно до цього дробильні машини умовно підрозділяють на дробарки великого (первинного) здрібнення, середнього (вторинного) і дрібного здрібнення. Залежно від призначення й фізико–механічних властивостей порід які здрібнюються дробарки підрозділяються на щоківі (щелепні), конусні, валкові, молоткові і роторні (рис.2.1). Для тонкого здрібнювання застосовують різного типу млини (кульові, вібраційні), бігуни.



а, і б – щоківі; в – конусні; г – валкові; д –
молоткові; е – роторні

Рисунок 2.1. Схеми дробильних машин

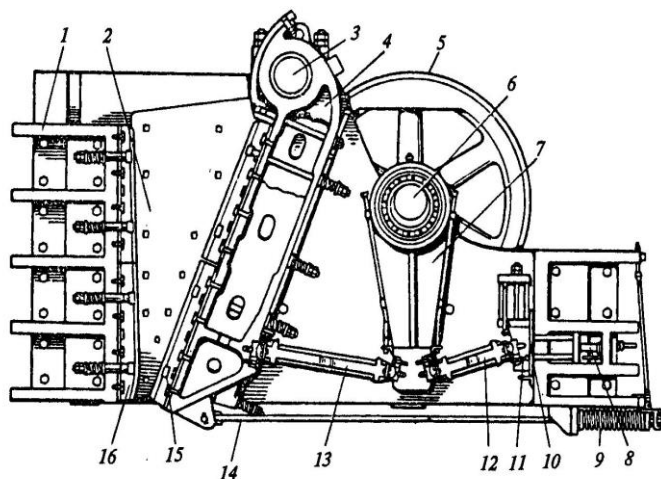
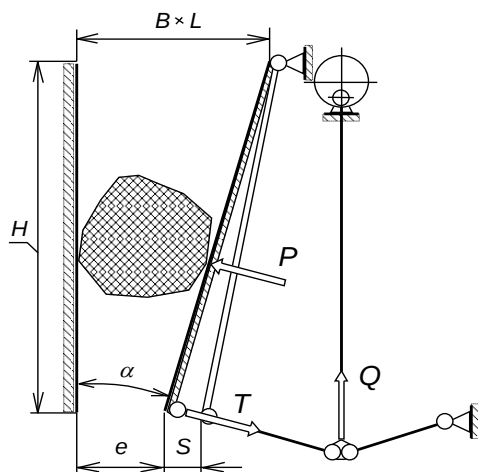
Основними параметрами дробарок є: для щоківих – ширина B и довжина L завантажувального отвору; для конусних дробарок середнього і дрібного здрібнення – діаметр основи рухомого конуса; для валкових – діаметр D і довжина L валків; для роторних і молоткових — діаметр D і довжина L ротора.

Процес здрібнення матеріалу в щоківих дробарках здійснюється між двома здрібнювальними плитами, які прикріплені до нерухомої і рухомої щік дробарки. Руйнування матеріалу відбувається при періодичному натисканні на нього рухомої щіки [8].

Щоківі дробарки за принципом дії ділять на дробарки із простим, складним і комбінованим рухом рухомої щіки. Перші здрібнюють матеріал в основному методом стискування і частково за рахунок вигину; їх застосовують головним чином для первинного, великого здрібнення. Дробарки зі складним рухом щіки здрібнюють матеріал методом стискування в комбінації зі стиранням і сколюванням; їх застосовують переважно для середнього і дрібного здрібнювання.

Щоківі дробарка із простим рухом щіки та схема здрібнення в ній показана на рис. 2.2.

Робочим органом дробарки є нерухома і рухома плити, які здрібнюють, закріплені відповідно на стінці станини і рухомій щіці, змонтованій на осі. Плити для здрібнення в нижній частині мають криволінійну форму й утворюють зону з паралельними поверхнями, яка забезпечує видачу більш рівномірною за розміром частинок матеріалу.



1 – станина; 2 – бокові клини; 3 – вісь рухомої щоки; 4 – рухома щока; 5 – маховик з кривошипом; 6 – вісь шатуна; 7 - шатун; 8 – розпирний клин; 9 – пружина; 10 – станина дробарки; 11 – упор; 12 – розпирна плита; 13 – нажимна плита; 14 – тяга; 15, 16 – броньові плити;

Рисунок 2.2 Схема здрібнення твердого матеріалу в щоківій дробарці та її загальний вид

Рухома щока і передня стінка станини утворюють камеру здрібнення. Відстань між здрібнюючими плитами в нижній частині камери здрібнювання називається вихідною (розвантажувальною) щілиною; ширина її регулюється спеціальним регулюючим механізмом у всіх дробарках, крім великих, де цього не потрібно робити за умовами дроблення. Коливання рухомої щоки здійснюється за допомогою шарнірно–важільного механізму, який складається з ексцентрикового валу, шатуна і двох розпирних плит. По кінцях ексцентрикового валу змонтовані маховики, один з яких служить привідним шківом. Бічні стінки станини дробарки футеруються в робочій зоні сталевими плитами у вигляді клинів. Підтримка елементів системи в положенні, необхідному для забезпечення заданої кінематики руху всіх елементів дробарки, забезпечується тягою і пружиною.

При холостому ході щоки частина енергії витрачається на подолання шкідливих опорів, а надлишкова частина поглинається маховиками, тобто перетворюється в кінетичну енергію. При робочому ході маховики віддають цю

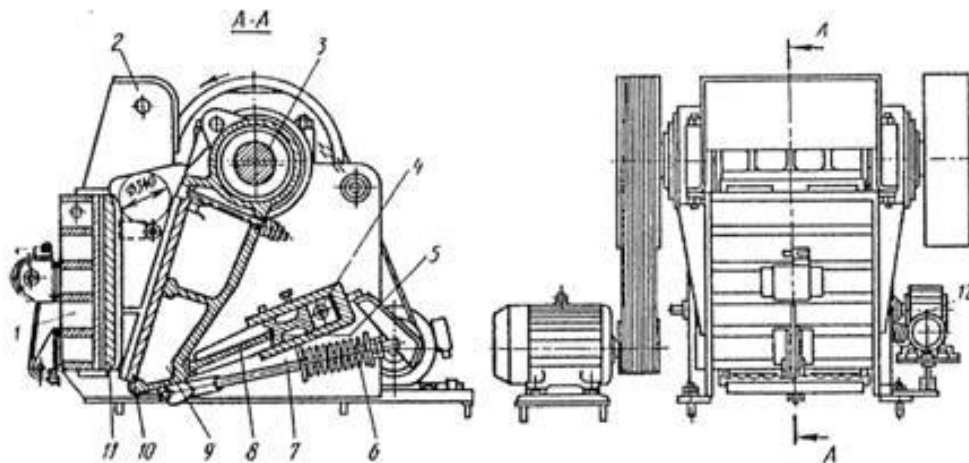
накопичену енергію, допомагаючи двигуну долати опір матеріалу процесу здрібнення.

Дробарки із простим рухом щоки мають невелику вертикальну складову ходу стискування, тому здрібнюючі плити в них служать в 4 – 5 раз довше, чим у дробарок зі складним рухом, де величина цього ходу значно більша [9]. У цьому полягає перевага кінематичної схеми дробарок із простим рухом щоки. Іншою перевагою цих дробарок є забезпечення великого виграшу в силі у верхній частині завантажувального отвору, що дуже важливо при здрібнюванні шматків матеріалу більших розмірів і високої міцності.

Недоліком такого типу дробарок є мала величина ходу стискування у верхній частині завантажувального отвору, притому що хід стискування повинен бути тим більше, чим крупніше шматок матеріалу, який здрібнюється. У дробарках із простим рухом щоки зусилля, яке діє по розпірних плитах, приблизно в 15 раз більше, ніж зусилля по шатуну. Внаслідок цього створюються не вигідні умови надійного захвату і здрібнювання матеріалу у верхній частині завантажувального отвору.

Щокова дробарка з одноважільним механізмом і складним рухом щоки показана на рис. 2.3.

Дробарка складається зі станини, ексцентрикового вала із клинопасовим шківом, маховика, рухомої щоки; нерухомої щоки, розпірної плити, бічних клинів, вузла регулювання ширини розвантажувальної щілини і тяги з відтяжною пружиною. Рухома щока виконує складні рухи щодо осі підвісу. При цьому кожна точка щоки описує траєкторію по овалу; у верхній частині щоки ці овали за формою наближаються до кола, а в нижній вони мають форму сильно витягнутих еліпсів. Такий рух щоки прискорює просування матеріалу вниз у бік розвантаження і тим самим сприяє підвищенню продуктивності дробарки на 20 – 30 % у порівнянні із дробарками із простим рухом.



1 – передня стінка; 2 – захисний кожух; 3 – привідний вал; 4 – Задня балка; 5 – регулюючий пристрій; 6 – пружина; 7 – тяга; 8 – розпірна плита; 9 – рухома плита; 10, 11 – здрібнювальні плити;

Рисунок 2.3. Щокова дробарка з одноважільним механізмом і складним рухом щоки

Дробарки зі складним рухом щоки конструктивно простіше дробарок із простим рухом щоки; крім того, вони мають менші габарити і менш металоємні.

На даний момент існують різні конструкції дробарок із двома рухливими щоками, кожна з яких має складний рух. Ці дробарки поєднують переваги звичайних дробарок зі складним рухом щоки (компактність і високу продуктивність) з основною перевагою дробарок із простим рухом (малим ступенем зношування здрібнюючи плит).

В дробарках такої конструкції передбачено збільшення глибини, камери дроблення, заміну прямолінійних здрібнюючи плит, плитами криволінійними з без болтовим їхнім кріпленням, регулювання і підтримка в заданих межах розвантажувальної щілини, застосування на головному ексцентриковому валу підшипників кочення замість підшипників ковзання, збільшення числа коливань щоки і підвищення твердості станин, а також удосконалення привода дробарок.

Ступінь здрібнювання в щоккових дробарок із шарнірно–важільним механізмом руху рухомої щоки знаходиться в межах від 4:1 до 7:1 [10]. Питома продуктивність сучасних щоккових дробарок знаходиться в межах 1,5 – 2,2 мг/год на 1 г ваги машини і питома витрата потужності 0,45 – 1,5 к. с. на 1 м³/год

годинної продуктивності при здрібненні первинними дробарками м'яких порід і 1,0 – 2,5 к. с. на 1 м³/год при дробленні твердих порід [11].

2.1. Шокова дробарка з простим рухом щоки

Завдання для розрахунку

Визначити необхідну кількість шокових дробарок із простим рухом щоки для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також величини сил, які діють в елементах механізму дробарки.

Параметри дробарки – хід щоки S ; кут захоплення α ; коефіцієнт корисної дії привода η ; ексцентриситет ексцентрикового вала e_b ; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – середній розмір вихідних кусків d_{mv} ; подрібнених – d_{mk} ; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу μ_{mk} ; густина матеріалу ρ_m ; границя міцності при стискуванні σ_{mv}^+ ; модуль пружності при розтягуванні E_m наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку шокової дробарки із простим рухом щоки

Варіант	Твердий матеріал	G , т/год	d_{mv} , мм	ρ_m , кг/м ³	σ_{mv}^+	$E_m \cdot 10^{-4}$	d_{mk}	S	e_b	μ_{mk}	α , °	η
					МПа							
1	Апатит	100	300	2800	80	3,0	100	25	35	0,20	15	0,85
2	Антрацит	120	350	1600	25	0,7	140	27	30	0,25	16	0,84
3	Бетон	140	400	2300	300	2,0	160	28	25	0,30	17	0,83
4	Гіпс	160	450	2690	70	3,0	180	30	20	0,35	18	0,82
5	Граніт	180	500	3300	350	7,0	200	32	15	0,40	19	0,81
6	Вапняк високої густини	110	550	3000	250	6,0	220	33	35	0,45	20	0,80
7	Вапняк низької густини	130	600	2800	150	4,0	110	35	30	0,50	21	0,79
8	Вапняк пористий	150	650	2600	50	2,0	130	26	25	0,55	22	0,78
9	Колчедан	170	700	5200	125	3,5	150	29	20	0,60	23	0,77
10	Мергель	190	750	2800	100	4,0	170	31	15	0,65	24	0,76

Порядок розрахунку

Розміри вхідного отвору, обираються залежно від середнього розміру вихідних кусків з інтервалів для ширини $B = (1,15 \dots 1,20) d_{m\theta}$ і довжини $L = [m + (1,15 \dots 1,20)] d_{m\theta}$, де m – ціле число (звичайно $m = 1$).

Ширина щілини, м:

$$e = d_{mk} - \frac{S}{2} \quad (2.1)$$

Висота рухомої щоки, м:

$$H = \frac{(B - e)}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2.2)$$

Степінь подрібнення:

$$i = \frac{d_{m\theta}}{d_{mk}} \quad (2.3)$$

Частота обертання ексцентрикового валу (кількість подвійних качань щоки), с^{-1} :

$$n \leq 1,107 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{S}} \quad (2.4)$$

Продуктивність однієї дробарки:

– масова, кг/с

$$G_{\partial m} = \frac{n \mu_{mk} \rho_m L d_{mk} S}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2.5)$$

– об'ємна, $\text{м}^3/\text{с}$

$$G_{\partial v} = \frac{G_{\partial m}}{\mu_{mk} \rho_m} \quad (2.6)$$

Необхідна кількість дробарок, шт:

$$n_{\partial} = \varepsilon \left(\frac{G}{3,6 G_{\partial m}} + 0,5 \right), \quad (2.7)$$

де ε – функція округлення дробового числа до цілого.

Потужність приводу дробарки, кВт:

$$N_{\partial} = 0,0005 \frac{G_{\partial m} (\sigma_{m\phi}^+)^2}{E_m \rho_m \eta} \lg i \quad (2.8)$$

Тип електродвигуна і його технічні характеристики вибираємо із довідкової літератури.

Потужність приводів усіх дробарок, кВт:

$$N = n_{\partial} N_{\partial} \quad (2.9)$$

Максимальне зусилля дроблення, кН:

$$P_{\max} = 3,42 \frac{N \eta \cos \alpha}{S n} \quad (2.10)$$

Максимальне зусилля в розпірній плиті, кН:

$$T_{\max} = 0,64 P_{\max} \quad (2.11)$$

Максимальне зусилля в шатуні, кН:

$$Q_{\text{пвх}} = \frac{N_{\delta} \eta}{n e} \quad (2.12)$$

Маховий момент маховика, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$:

$$M_{\text{м}} = \frac{500 N_{\delta} \eta}{\pi^2 n^2 \delta}, \quad (2.13)$$

де $\delta = 0,01 - 0,03$ – ступінь нерівномірності ходу.

Середній діаметр обода маховика $D_{\text{м}}$ обирається рівним $0,92 \dots 3,20$ м [8].

Повна маса маховика, кг :

$$m_{\text{м}} = k_{\text{м}} \frac{M_{\text{м}}}{D_{\text{м}}^2}, \quad (2.14)$$

де $k_{\text{м}} = 1,2$ [11] – коефіцієнт, що враховує масу маточини і спиць маховика.

Контрольні запитання

1. В яких межах знаходиться ступінь подрібнення для щоккових дробарок?
2. Перелічіть, як поділяються щоккові дробарки за принципом дії?
3. Назвіть недоліки щоккових дробарок з простим рухом щоки?
4. Як визначається маса основних деталей та збірних одиниць у щоккових дробарках?
5. Назвіть основні параметри щоккових дробарок, які визначають їх типорозмір?

2.2. Щоккова дробарка із складним рухом щоки

Завдання для розрахунку

Визначити необхідну кількість щоккових дробарок із складним рухом щоки для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також величини основних параметрів, які визначають її типорозмір.

Параметри дробарки – хід щоки S ; кут захоплення α ; коефіцієнт корисної дії привода η ; ексцентриситет ексцентрикового вала e_e ; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – розмір вихідних кусків d_{mv} ; подрібнених – d_{mk} ; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу μ_{mk} ; густина матеріалу ρ_m ; границя міцності при стискуванні σ_{mv}^+ ; модуль пружності при розтягуванні E_m наведені в табл. 2.2.

Порядок розрахунку

Основними параметрами щоккової дробарки, які визначають її типорозмір – розмір прийомного отвору і розмір вихідної щілини ($B \times L \times b$).

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку щоккової дробарки із складним рухом щоки

Варіант	Твердий матеріал	G, т/год	d _{mv} , мм	ρ _m , кг/м ³	σ ⁺ _{mv}	E _T ·10 ⁻⁴	d _{mk}	S	e _B	μ _{mk}	α, °	η
					МПа							
1	Апатит	100	300	2800	80	3,0	100	25	35	0,20	15	0,85
2	Антрацит	120	350	1600	25	0,7	140	27	30	0,25	16	0,84
3	Бетон	140	400	2300	300	2,0	160	28	25	0,30	17	0,83
4	Гіпс	160	450	2690	70	3,0	180	30	20	0,35	18	0,82
5	Граніт	180	500	3300	350	7,0	200	32	15	0,40	19	0,81
6	Вапняк високої густини	110	550	3000	250	6,0	220	33	35	0,45	20	0,80
7	Вапняк низької густини	130	600	2800	150	4,0	110	35	30	0,50	21	0,79
8	Вапняк пористий	150	650	2600	50	2,0	130	26	25	0,55	22	0,78
9	Колчедан	170	700	5200	125	3,5	150	29	20	0,60	23	0,77
10	Мергель	190	750	2800	100	4,0	170	31	15	0,65	24	0,76

Ширина прийомного отвору повинна забезпечити вільний прийом шматків максимальної крупності, мм:

$$B = \frac{d_{m\epsilon}}{0,85}, \quad (2.15)$$

де $d_{m\epsilon}$ – максимальний розмір вихідного матеріалу.

Довжина камери дроблення L є залежним від B , мм:

$$L = (1,2 \dots 2,3) B \quad (2.16)$$

Ширина b вихідної щілини при використанні стандартних здрібнювальних плит пов'язана з максимальною крупністю шматків у готовому продукті залежністю, мм:

$$b = \frac{d_{m\epsilon}}{K_{\epsilon\kappa}}, \quad (2.17)$$

де $K_{\epsilon\kappa} = 3,0 \dots 4,5$ – коефіцієнт відносної крупності продукту дроблення в щоккових дробарках.

Розмір вихідної щілини становить $b = 20 \dots 80$ мм для дробарок дрібного дроблення, $b = 40 \dots 120$ мм – для середнього дроблення й $b = 100 \dots 250$ мм – для великого [8].

Розміри основних елементів механізму щоккової дробарки визначаються конструктивно. Висота камери дроблення, мм:

$$H = \frac{B - b}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.18)$$

де α – кут захоплення.

Інші розміри щоккової дробарки (рис. 2.4) обчислимо по співвідношеннях, які наведені у табл. 2.3.

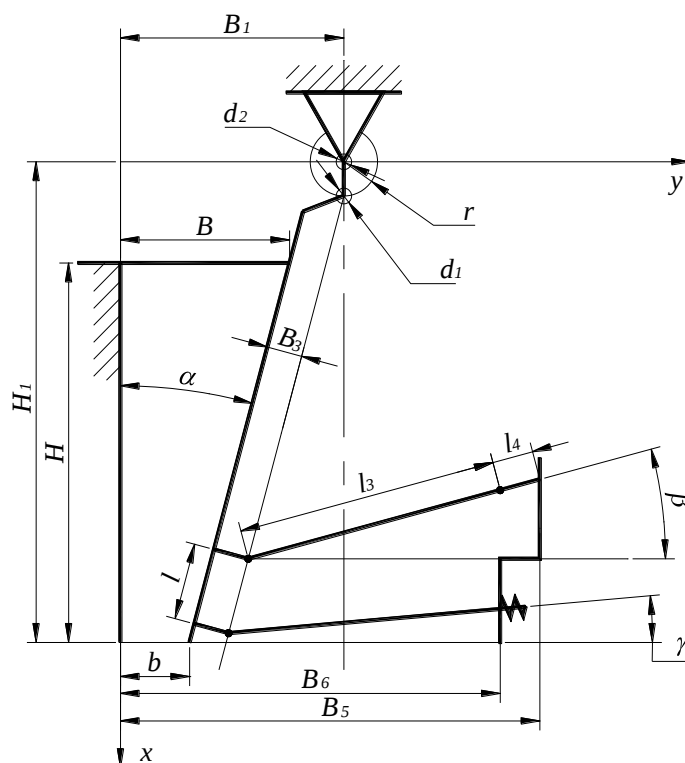


Рисунок 2.4 Схема механізму щоквої дробарки

Таблиця 2.3 – Розміри основних елементів щоквої дробарки

№	Параметри	Залежність	№	Параметри	Залежність
1	B_1	$(1,7 - 2,1) B$	8	l_3	$(0,8 - 1,4) B$
2	B_3	$(0,6 - 0,9) B$	9	l_4	$(0,6 - 1,0) B$
3	B_5	$(2,5 - 5,0) B$	10	d_1	$(0,4 - 0,7) B$
4	B_6	$(2,0 - 3,0) B$	11	d_2	$(0,35 - 0,65) B$
5	H_1	$(2,2 - 3,5) B$	12	α	$15^\circ - 24^\circ$
6	l	$(0,16 - 0,32) B$	13	β	$20^\circ - 25^\circ$
7	r	$(0,03 - 0,05) B$	14	γ	$5^\circ - 12^\circ$

Оптимальні значення ходу стискування для щоквих дробарок з різною кінематикою визначені експериментально. Для дробарок зі складним рухом хід рухомої щокви вгорі, мм:

$$S_a = (0,06 \dots 0,03) B \quad (2.19)$$

Хід рухомої щокви вниз, мм:

$$S_n = 7 + 0,10 b \quad (2.20)$$

Величина середнього ходу рухомої щоки дробарки, мм:

$$S_{cp} = \frac{S_{\epsilon} + S_n}{2} \quad (2.21)$$

Число обертів ексцентрикового валу дробарки визначається по формулі, об/с:

$$n = 0,5 K_{\delta} K_{cm} \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \alpha}{2 S_n}}, \quad (2.22)$$

де $K_{\delta} = 0,8$ [8] – коефіцієнт динамічності, для проектуємої дробарки;

$K_{cm} = 0,90 \dots 0,95$ [11] – коефіцієнт, який враховує утруднене падіння здрібнюємого матеріалу з камери дробарки;

S_n – хід рухомої щоки вниз камери дроблення, м.

Оптимальне число обертів валу повинне відповідати максимальній продуктивності дробарки.

Продуктивність щоківих дробарок визначається по формулі, м³/с:

$$G_{\partial m} = \frac{K_{\kappa} S_{cp} L b n (B + b)}{2 D_{cv} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.23)$$

де $K_{\kappa} = 1$ [9] – коефіцієнт кінематики, для дробарок зі складним рухом щоки;

S_{cp} – середній хід рухомої щоки, м;

L – довжина прийомного отвору, м;

b – ширина вихідної щілини, м;

n – частота обертів ексцентрикового валу дробарки, об/с;

B – ширина прийомного отвору, м;

$D_{св}$ – середньозважений розмір шматків у вихідному матеріалі, м;

Для дробарок, що працюють на рядовому матеріалі для здрібнення, переважно із шириною приймального отвору 900 мм і більше середньозважений розмір шматків $D_{св}$ визначається з виразу, мм:

$$D_{св} = 0,31 B \quad (2.24)$$

Середньозважений розмір дробленого продукту дорівнює:

$$d_{св} = 0,8 b \quad (2.25)$$

Необхідна кількість дробарок, шт:

$$n_{\partial} = \varepsilon \left(\frac{G}{3,6G_{\partial m}} + 0,5 \right), \quad (2.26)$$

де ε – функція округлення дробового числа до цілого.

Потужність приводу дробарки визначається по формулі, кВт:

$$N_{\partial} = \frac{K_{np} \cdot (\sigma_{ТВ}^+)^2 \cdot \pi \cdot L \cdot n}{0,01224 \cdot E_m \cdot \eta} \cdot (D_{св}^2 - d_{св}^2), \quad (2.27)$$

де $K_{np} = 0,92$ [11] – коефіцієнт пропорційності, що враховує зміни міцності матеріалу зі зміною його розмірів;

$\sigma_{ТВ}^+$ – тимчасовий опір стискуванню здрібнюємого матеріалу, МПа;

L – довжина прийомного отвору дробарки, м;

n – частота обертання ексцентрикового вала, c^{-1} ;

E_m – модуль пружності матеріалу, МПа;

$D_{св}, d_{св}$ – середньозважений розмір відповідно вихідного матеріалу і продукту

дроблення, м;

$\eta = 0,80 \dots 0,90$ [6] – механічний ККД приводу.

Тип електродвигуна і його технічні характеристики вибираємо із довідкової літератури.

Потужність приводів усіх дробарок, кВт:

$$N = n_d N_o \quad (2.28)$$

Контрольні запитання

1. В яких межах приймають кут захоплення щоківних дробарок?
2. Як впливає використання об'ємного гідроприводу на ефективність роботи щоківних дробарок?
3. Назвіть переваги щоківних дробарок із складним рухом щоків?
4. Опишіть траєкторію руху точок рухомої щоків у щоківних дробарок із простим та складним рухом щоків?
5. Які конструктивні рішення використовуються для підвищення ефективності роботи щоківних дробарок?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

КОНУСНІ ДРОБАРКИ

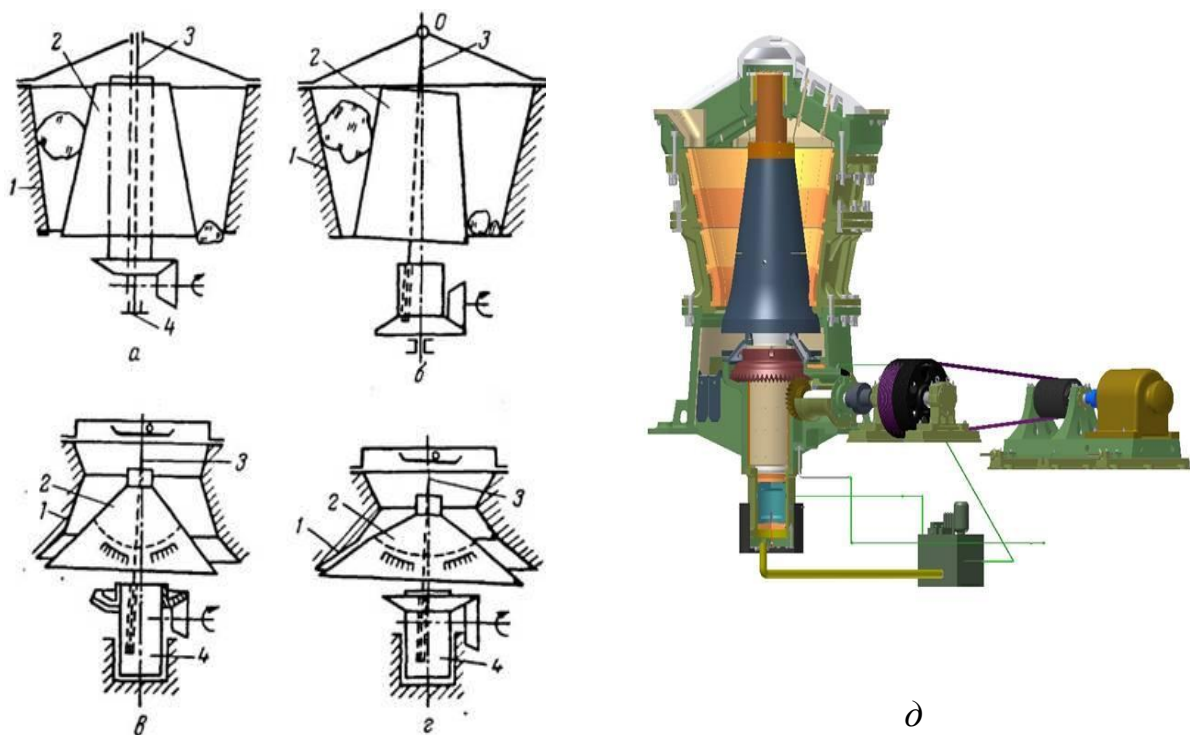
Мета роботи: – визначити величини основних параметрів конусної дробарки, а також зусилля, які виникають при подрібненні, і потужність її приводу.

Теоретичні відомості

У конусних дробарках здрибнення матеріалу відбувається в просторі, обмеженому поверхнями усічених конусів (зовнішнього нерухомого і внутрішнього рухомого) рис. 3.1.

Обертання рухомого конуса здійснюється за допомогою спеціального ексцентрикового підшипника, у якому встановлений хвостовик вала рухомого конуса під кутом $2 - 4^\circ$ до геометричної осі дробарки [12]. Ексцентрик обертається від привода дробарки. Утворюючі конусів при цьому періодично зближаються і віддаляються один від одного. При зближенні конусів відбувається дроблення шматків матеріалу за рахунок роздавлювання, частково за рахунок вигину і стирання. При віддаленні конусів роздроблений матеріал опускається під дією власної ваги. Процес дроблення й розвантаження готового продукту відбувається безупинно.

Конусні дробарки залежно від призначення й характеру процесу дроблення підрозділяють на дробарки із крутим конусом (з малим кутом конусності), які використовують для великого й середнього дроблення, і дробарки з пологим конусом для середнього й дрібного дроблення [13].



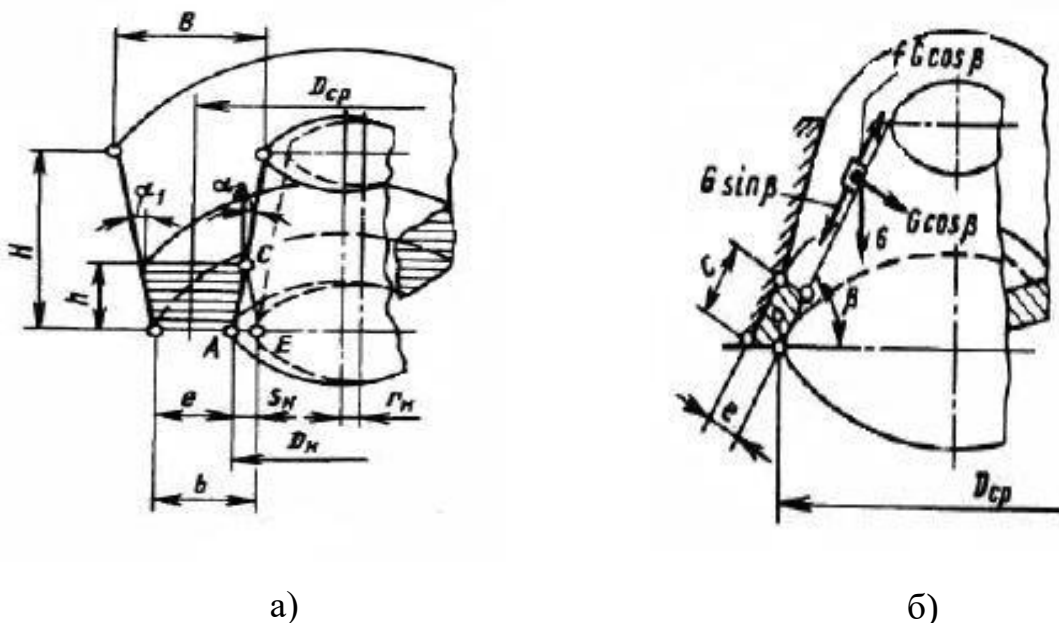
а, б – для великого дроблення; в – середнього дроблення; г – дрібного дроблення; д – конусна дробарка в розрізі; 1 – зовнішній конус; 2 – внутрішній конус; 3 – вісь; 4 – стакан.

Рисунок 3.1 Схеми основних конусних дробарок і загальний вид конусної дробарки для великого дроблення

Основна конструктивна відмінність між ними полягає в тому, що в дробарок першої групи зовнішній нерухомий конус розширюється догори (рис. 3.2 а), завдяки чому забезпечується можливість захвату дробаркою великих шматків матеріалу. У дробарок другої групи зовнішній нерухомий конус звужується догори, тому що в них відсутня необхідність у великому завантажувальному отворі (рис. 3.2 б),.

Вивантаження дробленого продукту відбувається по відвідному лотку, або безпосередньо вниз. За цією ознакою його називають відповідно бічним або центральним розвантаженням.

Процес дроблення в конусних дробарках у порівнянні із шокowymi протікає більш спокійно; вони менше споживають енергії і видають більш рівномірний по крупності куски матеріалу. Їхні недоліки – більша висота, яка ускладнює завантаження матеріалу; більша вага і відносно складна конструкція.



а – дробарка із крутим конусом; б – дробарка з пологим конусом

Рисунок 3.2 Схема дроблення твердого матеріалу в конусній дробарці

Ступінь здрібнювання в дробарок із крутим конусом становить від 6:1 до 20:1. Питома продуктивність становить приблизно від 1 до 3 м³/год на 1 т ваги машини [12].

У дробарок з пологим конусом ступінь здрібнювання досягає 12:1; питома продуктивність – у межах 2 – 5 мг/год на 1 г ваги машини [11].

Завдання для розрахунку

Параметри дробарки – нахил формоутворюючої рухомого конуса до горизонталі у фазі зближення α ; довжина паралельної зони l_n ; ширина завантажувальної щілини на закритій стороні (в фазі зближення профілів) b_1 ; діаметр основи рухомого конуса D ; ексцентрисет валу на рівні основи рухомого конуса r ; коефіцієнт, який характеризує ступінь здрібнення в залежності від конструктивних особливостей дробарки K_i ; приведені продуктивності (на 1 мм завантажувальної щілини b_1) q_1, q_2 ; постійна об'ємної продуктивності p ; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – густина матеріалу ρ_m ; розмір вихідних кусків d_{mv} ; коефіцієнт твердості матеріалу K_{mm} наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку конусної дробарки

Варіант	Твердий матеріал	α°	d_{mv} , мм	ρ_m , кг/м ³	l_n , мм	b_1 , мм	D , мм	r , мм	K_i	K_{mm}	q_1, q_2 , м ³ /(мм год)	p , м ³ /год
1	Апатит	39°	80	2800	50	12	600	13,1	0,32	0,95	0,3	20
2	Антрацит		40	1600	80	3	600	13,1	0,32	1,10	0,3	20
3	Бетон		120	2300	70	15	900	16,7	0,26	0,97	0,4	50
4	Гіпс		60	2690	120	5	900	16,7	0,26	1,20	0,4	50
5	Граніт		150	3300	110	20	1200	20,4	0,147	0,95	0,8	65
6	Вапняк високої густини		100	3000	150	10	1200	20,4	0,147	1,00	0,8	65
7	Вапняк низької густини		215	2800	130	25	1750	25,6	0,14	1,20	3,4	80
8	Вапняк пористий		160	2600	180	15	1750	25,6	0,14	1,20	3,4	80
9	Колчедан		300	5200	150	30	2200	32,2	0,14	0,93	6,8	80
10	Мергель		250	2800	250	15	2200	32,2	0,14	0,93	6,8	80

Порядок розрахунку

Мінімальна допустима теоретична частота обертання ексцентрика, об/хв:

$$n_{\min} \geq 132 \sqrt{\frac{\sin \alpha - f \cos \alpha}{l_n}}, \quad (3.1)$$

де α – кут нахилу формоутворюючої рухомого конуса до горизонталі у фазі зближення, град;

$f \approx 0,3$ [6] – коефіцієнт тертя матеріалу по сталі;

l_n – довжина паралельної зони, м.

Коефіцієнт закрупнення:

$$K_{zn} = \frac{d_{me}}{b_1}, \quad (3.2)$$

де d_{me} – розмір вихідних кусків матеріалу, мм;

b_1 – ширина завантажувальної щілини на закритій стороні (в фазі зближення профілів), мм;

Число хитань рухомого конуса, хитань/хв:

– для дробарок з $D \geq 1200$ мм

$$n = 350 - 50 D, \quad (3.3)$$

– для дробарок з $D < 1200$ мм

$$n = 390 - 70 D, \quad (3.4)$$

де D – діаметр основи рухомого конуса, м.

Хід рухомого конуса в площині завантажувальної щілини, мм:

$$S \approx 0,035 L_0 \beta \approx 2r, \quad (3.5)$$

де L_0 – повна довжина утворюючої рухомого конуса, мм;

$\beta \approx 2^\circ$ [13] – кут між віссю рухомого конуса і вертикальною віссю дробарки;

r – ексцентриситет валу на рівні основи рухомого конуса, мм.

Ширина завантажувальної щілини на відкритій стороні, мм:

$$A = b_1 + S, \quad (3.6)$$

де S – хід рухомого конуса в площині завантажувальної щілини, мм;

Максимальний розмір вихідних кусків при дробленні, мм:

$$d_{m \max} = K_i (2r + A), \quad (3.7)$$

де K_i – коефіцієнт, який характеризує степінь здрібнення в залежності від конструктивних особливостей дробарки.

Продуктивність дробарки у відкритому циклі, т/год:

– для завантажувальної щілини $b \leq 25$ мм

$$Q = K_{mm} q_1 b_1 \rho_m = 0,009 K_{mm} D^2 n b_1 \rho_m, \quad (3.8)$$

– для завантажувальної щілини $b > 25$ мм

$$Q = (q_2 b_1 + p) \rho_m = (D^2 n b_1 + p) \rho_m, \quad (3.9)$$

де K_{mm} – коефіцієнт твердості матеріалу;

q_1, q_2 – приведені продуктивності (на 1 мм завантажувальної щілини b_1),
м³/(мм · год);

ρ_m – густина матеріалу, т/м³;

p – постійна об’ємної продуктивності, м³/год;

Продуктивність дробарки у закритому циклі, т/год

$$Q_3 = 0,5 Q \quad (3.10)$$

Зусилля дроблення, тс:

- повне (рівнодіюча)

$$R = 46 F \approx 42 D^2 \quad (3.11)$$

- горизонтальна складова

$$R_z = R \sin \alpha \approx 34 F \approx 31 D^2 \quad (3.12)$$

- вертикальна складова

$$R_g = R \cos \alpha \approx 31 F \approx 28 D^2, \quad (3.13)$$

де F – бокова поверхня рухомого конуса, м².

Мінімальне зусилля притискання пружини, тс:

$$T_{\min} = 3 G_g \approx 93 F \approx 84 D^2 \quad (3.14)$$

Потужність електродвигуна, кВт:

- споживаєма

$$N_c \approx 0,021 D^2 n \approx 50 D^2 \quad (3.15)$$

— встановленого двигуна

$$N_d = 3 N_c \quad (3.16)$$

Тип електродвигуна і його технічні характеристики вибираємо із довідкової літератури [18].

Контрольні запитання

1. Як відбувається процес подрібнення матеріалу в конусних дробарках?
2. На які типи підрозділяють конусні дробарки в залежності від призначення і характеру процесу дроблення?
3. Перелічіть переваги конусних дробарок?
4. Кут захоплення в конусних дробарках складає?
5. Від чого залежить продуктивність конусних дробарок?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВАЛКОВІ ДРОБАРКИ

Мета роботи: — визначити необхідну кількість дробарок для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також величини сил, які діють на валки з боку матеріалу.

Теоретичні відомості

Дробарка валкова — збагачувальне дробильне устаткування, оснащене валками із закріпленими на них зубчастими сегментами, що мають форму багатогранника, жорстко насадженого на вал. Валкові дробарки широко застосовуються для тонкого, середнього і дрібного здрібнювання різних матеріалів (глинисті матеріали, шамот, кварц, шпат, та ін.) рис.4.1.

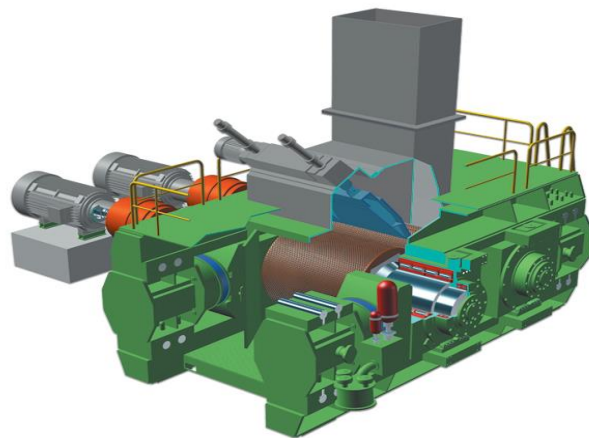
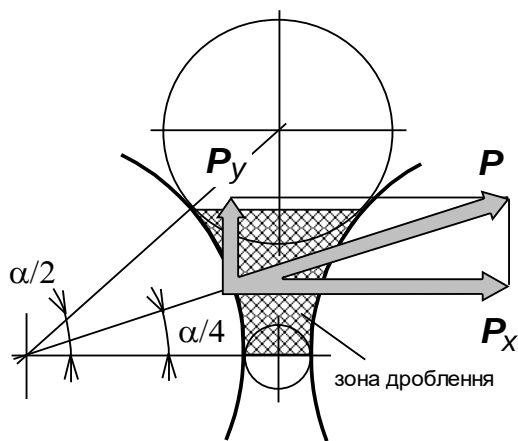


Рисунок 4.1. Схема дроблення твердого матеріалу в валковій дробарці та її загальний вид в розрізі

Принцип дії цих дробарок полягає в здрібнюванні матеріалу в основному роздавлюванням, частково – стиранням, ударом або вигином між двома паралельними циліндричними валками, що обертаються назустріч один одному з однаковою швидкістю.

Для крихких і м'яких матеріалів (наприклад вугілля, сіль) застосовують зубчасті валкові дробарки. Вони захоплюють шматки, які тільки в 1,5 – 4 рази менше діаметра валка [14].

Дробарки із гладкими й рифленими валками звичайно застосовують для дроблення матеріалів середньої міцності (до $\sigma_{cm} = 150$ МПа); дробарки із зубчастими валками – для здрібнювання кам'яного вугілля й подібних матеріалів малої міцності (до $\sigma_{cm} = 80$ МПа) [15]. Крупність продукту дроблення валкової дробарки залежить як від розміру вихідної щілини між валками, так і від типу поверхні робочих органів. У світовій практиці валкові дробарки використовують, як правило, на заключних стадіях дроблення (середнє й дрібне дроблення).

Істотним недоліком валкових дробарок є інтенсивне й нерівномірне зношування робочих поверхонь валків (бандажів) при обробці міцних і абразивних гірських порід. Бандаж зношується в основному в середній частині валка, що не дає можливості підтримувати стабільний розмір вихідної щілини по всій її довжині. Крім того, валкові дробарки мають порівняно невисоку питому продуктивність.

Проте аналіз закордонного досвіду показує велике поширення валкових дробарок різних конструкцій для дроблення найрізноманітніших матеріалів, особливо в складі пересувних дробильно–сортувальних установок. Це пояснюється тим, що валкові дробарки найбільш пристосовані для переробки розповсюджених матеріалів, схильних до налипання або таких які мають в своєму складі липкі включення. Під час роботи дробарок налиплий на поверхню валків матеріал зрізується очисними скребками і при необхідності видаляється вбік. Застосування дробарок інших типів на переробці таких матеріалів або взагалі неможливо, або викликає часті простої, пов'язані із тривалою й трудомісткою роботою з очищення камери дроблення. Можливість переробляти матеріали, схильні до налипання на робочих органах, вигідно відрізняє валкові дробарки від інших типів дробильного устаткування.

Валкові машини для здрібнювання й переробки матеріалів підрозділяються на наступні групи:

- 1) валкові дробарки із зубчастими, рифленими й гладкими валками;
- 2) вальці для переробки глиняних мас;
- 3) дірчасті вальці;
- 4) валкові агрегати для тонкого здрібнювання (розпушування) матеріалу – бігуни.

Валкові дробарки у свою чергу класифікуються в такий спосіб. По призначенню й форм робочої поверхні [14]:

- для тонкого, дрібного й середнього дроблення матеріалів – із гладкою поверхнею валків, з поздовжніми напівкруглими вилученнями на одному з валків;
- для великого дроблення глинистих матеріалів із зубчастими валками;
- для середнього й дрібного дроблення глинистих матеріалів і видалення каменів – з одним гладким і іншим рифленим валками й з валками, що мають гвинтову поверхню.

По методу установки підшипників валків:

- с однієї парою рухливих і однієї парою нерухливих підшипників;
- с нерухомо встановленими підшипниками;
- с рухливо встановленими підшипниками у двох валків.

По кількості валків у дробарках:

- одним;
- двома;
- чотирма.

По конструкції привода:

- редукторним приводом і карданными валами;
- шестерним приводом;
- пасовою передачею;
- редукторним приводом і пасовою передачею.

Уявлення про принцип дії і будову валкових дробарок дають кінематичні схеми, показані на рис.4.2

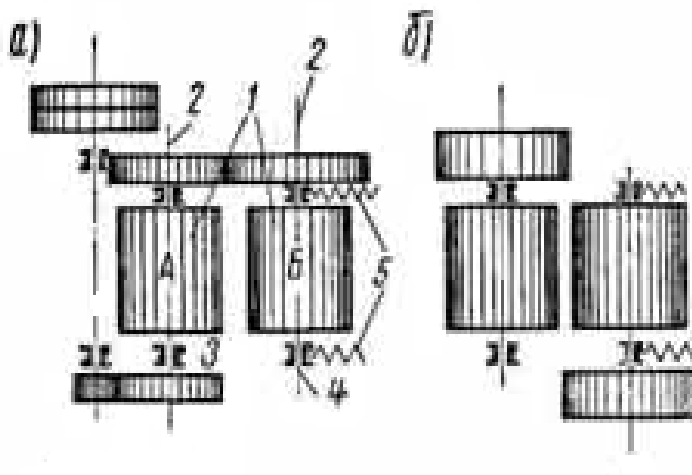


Рисунок 4.2. Кінематичні схеми валкових дробарок

Дробарка складається із двох валків 1 (рис. 4.2, а), що обертаються назустріч один одному й закріплених на валах 2, що опираються на підшипники. Одна пара підшипників 3 закріплена на рамі нерухомо, а друга 4 може пересуватися уздовж рами. При цьому корпуса цієї пари підшипників постійно притиснуті до упорів пружинами 5.

Між упорами й корпусами підшипників ставляться змінні сталеві прокладки, що регулюють величину зазору між валками.

Валки приводяться в дію електродвигуном (або трансмісією) через пасову передачу. При наявності зубчастої передачі (див. рис. 4.2 а) зубці другої пари робляться подовженими по висоті, для того щоб можна було забезпечити зачеплення при відході рухливого валка.

На рис. 4.2 б представлена схема дробарки із самостійним приводом кожного з валків.

Для переробки глиняної маси призначені також дірчасті вальці. Вихідна маса подається в приймальний бункер і зтягується між двома валками, що обертаються назустріч один іншому, де глиняна маса розминається, розтирається завдяки різній окружній швидкості валків і продавлюється крізь отвори усередині валків. Далі вона попадає на конвеєр, який її відводить. При цьому наявні в глиняній масі тверді включення дробляться, тому що сила попереднього натягу пружин тихохідного валка розрахована на такі зусилля.

Завдання для розрахунку

Параметри дробарки – масова витрата твердого матеріалу G ; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – середній розмір вихідних кусків $d_{тв}$; середній розмір подрібнених кусків $d_{тк}$; коефіцієнт тертя подрібнюваного матеріалу по валку f ; модуль пружності подрібнюваного матеріалу при розтягненні E_t ; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{тк}$; густина матеріалу ρ_t ; коефіцієнт корисної дії привода η ; границя міцності подрібнюваного матеріалу при стиску $\sigma_{тв}^+$ наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку валкової дробарки

Варіант	Твердий матеріал	G, т/год	d _{тв} , мм	ρ _т , кг/м ³	σ ⁺ _{тв} E _т ·10 ⁻⁴		d _{тк} , мм	f	μ _{тк}	η
					МПа					
1	Апатит	10	20	2800	80	3,0	5,0	0,30	0,20	0,85
2	Антрацит	12	22	1600	25	0,7	5,5	0,29	0,25	0,84
3	Бетон	14	24	2300	300	2,0	6,0	0,28	0,30	0,83
4	Гіпс	16	26	2690	70	3,0	6,5	0,27	0,35	0,82
5	Граніт	18	28	3300	350	7,0	7,0	0,26	0,40	0,81
6	Вапняк високої густини	20	30	3000	250	6,0	7,5	0,25	0,45	0,80
7	Вапняк низької густини	7	16	2800	150	4,0	4,0	0,24	0,50	0,79
8	Вапняк пористий	9	18	2600	50	2,0	4,5	0,23	0,55	0,78
9	Колчедан	11	21	5200	125	3,5	5,7	0,22	0,60	0,77
10	Мергель	13	23	2800	100	4,0	6,3	0,21	0,65	0,76

Порядок розрахунку

Мінімальний діаметр валків дробарки D' при дробленні твердих матеріалів, м:

$$D' = (20 \dots 25) d_{мс} \quad (4.1)$$

Дійсне значення діаметра валків D отримують округленням D' до найближчого більшого з ряду, м: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5 [9].

Довжина валка L , м:

$$L = (0,4 \dots 1,0) D \quad (4.2)$$

Величина зазора між валками, мм:

$$e = d_{мк} \quad (4.3)$$

Степінь подрібнення:

$$i = \frac{d_{мс}}{d_{мк}} \quad (4.4)$$

Теоретична частота обертання валка, c^{-1} :

$$n_{теор} = 10,267 \sqrt{\frac{f}{\rho_m d_{мс} D}} \quad (4.5)$$

Робоча частота обертання валка, c^{-1} :

$$n = (0,4 \dots 0,7) n_{теор} \quad (4.6)$$

Колова швидкість валків, м/с:

$$w = \pi D n \quad (4.7)$$

Якщо $w > 6$ м/с, робочу частоту обертання зменшують до величини, с^{-1} :

$$n = \frac{6}{\pi D} \quad (4.8)$$

Продуктивність однієї дробарки:

— масова, кг/с

$$G_{\partial m} = \pi D L e \mu_{mk} \rho_m n \quad (4.9)$$

— об'ємна, $\text{м}^3/\text{с}$

$$G_{\partial v} = \frac{G_{\partial m}}{\mu_{mk} \rho_m} \quad (4.10)$$

Необхідна кількість дробарок, шт:

$$n_{\partial} = \varepsilon \left(\frac{G}{3,6 G_{\partial m}} + 0,5 \right), \quad (4.11)$$

де ε – функція округлення дробового числа до цілого.

Потужність привода дробарки, кВт:

$$N_{\partial} = 0,005 \frac{G_{\partial m} (\sigma_{m\partial}^+)^2}{E_m \rho_m \eta} \lg i \quad (4.12)$$

Потужність приводів усіх дробарок, кВт:

$$N = n_o N_o \quad (4.13)$$

Кут захоплення:

$$\alpha = 2 \arccos \left(\frac{D + e}{D + d_{me}} \right) \quad (4.14)$$

Середнє зусилля, яке діє на валок з боку матеріалу (розпірне зусилля між валками), кН:

$$P = 3,625 \cdot 10^{-5} D L \sigma_{me}^+ \quad (4.15)$$

Значення складових розпирного зусилля, кН:

— горизонтальної

$$P_x = P \cos \left(\frac{\alpha}{4} \right) \quad (4.16)$$

— вертикальної

$$P_y = P \sin \left(\frac{\alpha}{4} \right) \quad (4.17)$$

Контрольні запитання

1. З якою метою використовують валкові дробарки в ливарних цехах?
2. На які типи підрозділяють валкові дробарки в залежності від призначення і характеру процесу здрібнювання?
3. Вкажіть недоліки валкових дробарок?
4. Чому дорівнює максимальна колова швидкість обертання валків в валкових дробарках?
5. Назвіть переваги конструкції валкової дробарки з трьома валками?

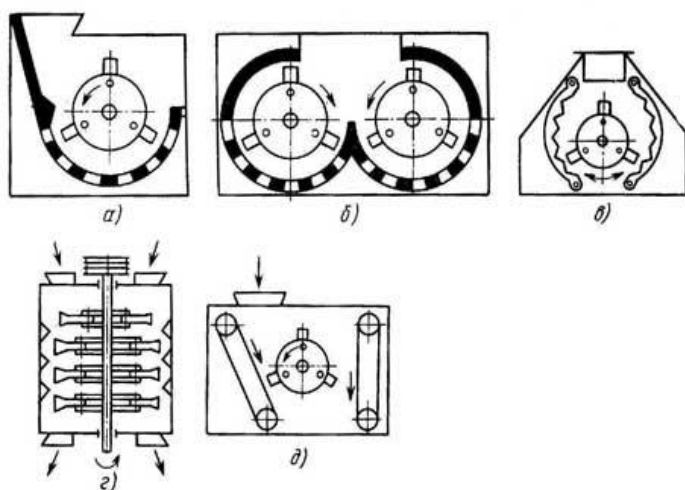
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

МОЛОТКОВІ ДРОБАРКИ

Мета роботи: – визначити необхідну кількість дробарок для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також геометричні розміри молотків і величини сил, які на них діють.

Теоретичні відомості

Принцип дії молоткових дробарок полягає в тому, що матеріал, який завантажується в дробарку, розбивається швидко обертаючимися молотками або билами і по досягненню певного розміру провалюється через колосникові решітки (рис 5.1).



а – однороторна; б – двороторна одноступінчастого дроблення; в – реверсивна; г – з вертикальним валом; д – з очисним полотном

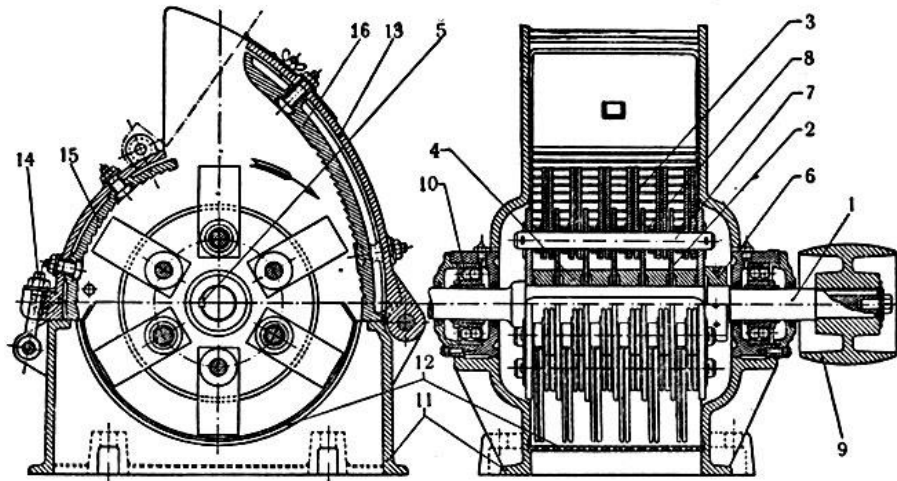
Рисунок 5.1. Схеми молоткових дробарок

Молоткова однороторна дробарка (рис. 5.1 а) має молотки, шарнірно прикріплені до обертового ротора (вал з дисками і молотками). Розмір і форму молотків підбирають залежно від крупності матеріалу, який завантажується, і його структури. Для великого дроблення застосовують невелике число важких молотків, для дрібного – велика кількість легких молотків. Залежно від розмірів дробарки, необхідної тонкості помолу і властивостей здрібнюємого

матеріалу, колова швидкість молотків ротора коливається від 25 до 55 м/с [15].

Молоткові дробарки із шарнірно підвішеними молотками застосовують як для первинного дроблення рядового матеріалу до крупності 25 – 35 мм, так і для вторинного дроблення його до крупності 10 мм; при цьому дробляться в них

винятково крихкі і м'які матеріали (шлаки, крейда, вапно). Продуктивність молоткових дробарок коливається від 3 до 500 т/год. Ступінь здрібнювання i досягає 12 – 15 [16]. Крупність здрібнюваного матеріалу змінюється за рахунок збільшення або зменшення зазорів між колосниковими решітками і ротором, а також між колосниками решіток.



1 – вал; 2 – диски; 3 – молотки; 4 – розпірні втулки; 5 – шпонка; 6 – гайка; 7 – пальці; 8 – кільця; 9 – привідний шків; 10 – підшипники; 11 – корпус дробарки; 12 – решітка; 13 – кришки; 14 – відкидний болт; 15, 16 – мала і велика деки

Рисунок 5.2. Молоткова однороторна дробарка

Найбільший розмір кусків матеріалу, який завантажуються в дробарку – від 100 до 300 мм. При степені здрібнювання $i = 8 - 12$ питома витрата потужності становить від 0,75 до 2 кет (від 1,4 до 2,7 к. с.) на 1 т/год [15].

Завдання для розрахунку

Параметри дробарки – масова витрата твердого матеріалу G ; – радіус траєкторії руху ударного елемента R ; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – середній розмір вихідних кусків d_{mv} ; середній розмір подрібнених кусків d_{mk} ; густина матеріалу ρ_m ; – межа міцності матеріалу при розтягуванні σ_p наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку молоткової дробарки

Варіант	Твердий матеріал	G, т/год	R, мм	d _{те} , мм	d _{тк} , мм	ρ _т , кг/м ³	σ _р МПа
1	Апатит	12	600	150	25	2800	64...120
2	Антрацит	20	800	220	13	1600	8...15
3	Бетон	34	1000	300	45	2300	40...60
4	Гіпс	70	1300	300	10	2690	2..20
5	Граніт	52	1000	300	45	3300	24...116
6	Вапняк високої густини	15	600	150	25	3000	40
7	Вапняк низької густини	12	600	150	25	2800	30
8	Вапняк пористий	20	800	250	13	2600	20
9	Колчедан	80	1000	80	5	5200	22
10	Мергель	100	1450	80	3	2800	34

Порядок розрахунку

Для молоткових дробарок основним критерієм для розрахунків є критична лінійна швидкість ротора, при якій можливе руйнування матеріалу заданої крупності, м/с:

$$V_{кр} = 0,0175 \times \sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_p}{\rho_m d_{те}}\right)^2}, \quad (5.1)$$

де σ_p – межа міцності матеріалу при розтягуванні, МПа;

ρ_m – об'ємна маса матеріалу, який дробиться, кг/м³;

$d_{те}$ – початковий розмір шматка матеріалу, м.

Виходячи з рекомендацій літератури [16], приймають діаметр ротора по кінцях обертових молотків, м:

$$D = (2...3)d_{те} + 550, \quad (5.2)$$

Знайшовши необхідну швидкість удару робочого органа по матеріалу і, задавшись діаметром дробарки D мм, визначаємо необхідну кутову швидкість обертання ротора дробарки, рад/с:

$$\omega = \frac{V_{кр}}{R}, \quad (5.3)$$

де R – радіус траєкторії руху ударного елемента, м;

Частота обертання ротора пов'язана з кутовою швидкістю наступною залежністю, об/хв:

$$n = \frac{30 \omega}{\pi} \quad (5.4)$$

Довжина ротора дробарки визначається із залежності, м:

$$L = (0,8 \dots 1,2) D \quad (5.5)$$

Ступінь здрібнювання дробарки:

$$i = \frac{d_{мс}}{d_{мк}}, \quad (5.6)$$

де $d_{мк}$ – кінцевий розмір шматка матеріалу, м.

Визначимо продуктивність дробарки, м³/год:

$$G_{\partial м} = \frac{k D^2 L n^2}{3600 (i - 1)}, \quad (5.7)$$

де $k = 4,0 \dots 6,2$ [16] – емпіричний коефіцієнт.

Необхідна кількість дробарок, шт:

$$n_{\partial} = \varepsilon \left(\frac{G}{3,6 G_{\partial m}} + 0,5 \right), \quad (5.8)$$

де ε – функція округлення дробового числа до цілого.

Потужність електродвигуна визначається по формулі, кВт:

$$N_{\partial} = 0,125 L D n, \quad (5.9)$$

Потужність приводів усіх дробарок, кВт:

$$N = n_{\partial} N_{\partial} \quad (5.10)$$

Тип електродвигуна і його технічні характеристики обираємо із довідкової літератури.

Для того щоб на вал підшипника дробарки не передавалися ударні імпульси від молотків, квадрат радіуса інерції молотка r_c щодо його точки підвісу до диска повинен дорівнювати відстані l_c від центра ваги молотка до осі підвісу, помноженій на відстань l від тієї ж осі підвісу до кінця молотка [17], тобто:

$$r_c^2 = l_c l \quad (5.11)$$

де l_c – відстань від центра ваги молотка до осі підвісу, м;

l – довжина молотка від осі до кінця бойка, м.

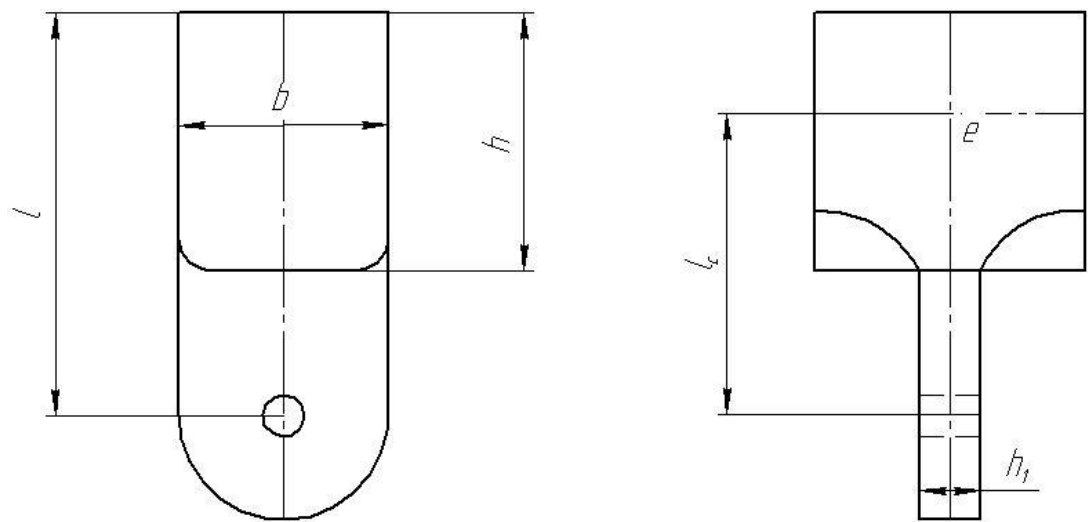


Рисунок 5.3 Конструкція молотка

Довжину молотка від осі до кінця бойка приймають 0,4 – 0,5 радіуси ротора, або 0,2 – 0,25 його діаметри, отже, м:

$$l = 0,25 D \quad (5.12)$$

$$b = h = 0,5 l \quad (5.13)$$

$$b_1 = 0,1 l \quad (5.14)$$

Відстань від центра ваги молотка до осі підвісу, м:

$$l_c = \frac{l^2 + b^2}{6 l} \quad (5.15)$$

Квадрат радіуса інерції молотка щодо його центра ваги, м²:

$$r_{um}^2 = \frac{l^2 + b^2}{12} \quad (5.16)$$

Квадрат радіуса інерції молотка щодо його осі підвісу, м²:

$$r_0^2 = r_{um}^2 + l_c^2, \quad (5.17)$$

Відстань від кінця молотка до осі його підвісу, м:

$$l_{0n} = l_c + 0,5 l \quad (5.18)$$

Конструктивне призначення відстані від осі підвісу молотка до осі ротора – запобігання порушення стійкості роботи молоткової дробарки. Ця відстань повинна бути більше відстані від кінця молотка до осі його підвісу, м:

$$l_0 > l_{0n} \text{ або } l_0 = l_{0n} + (3 \dots 6) 10^{-3} \quad (5.19)$$

Радіус найбільш віддаленої точки молотка від осі ротора, м:

$$R_{y\partial} = l_0 + l_{0n} \quad (5.20)$$

Маса шматка матеріалу, кг:

$$M = \rho_m d_{m\partial}^3 \quad (5.21)$$

Маса молотка, кг:

$$G_m = l b b_l \rho_m \quad (5.22)$$

де ρ_m – густина сталі (для Ст 5 $\rho_m = 7850 \text{ кг/м}^3$).

Радіус окружності розташування центрів ваги молотків, м:

$$R_c = l_0 + l_c \quad (5.23)$$

Відцентрова сила інерції молотків, H :

$$F = G_m \omega^2 R_c, \quad (5.24)$$

Діаметр осі підвісу молотка, м:

$$d_{0n} = 1,36 \sqrt[3]{\frac{F b_1}{[\sigma]_n}} \quad (5.25)$$

де $[\sigma]_n = 100$ МПа [6] – допускаєма напруга при вигині.

Товщина диска, м:

$$\delta_o \geq \frac{F}{d_{0n} [\sigma_{зм}]} \quad (5.26)$$

Для диска, виготовленого зі сталі марки Ст 5 напруга при зминанні $[\sigma_{зм}] = 175$ МПа [6].

Мінімальний розмір перемички між отворами під осі підвісу і зовнішньою поверхнею диска, м:

$$h_{\min} = \frac{0,5 F}{\delta_o [\sigma]_{зр}}, \quad (5.27)$$

де $[\sigma]_{зр}$ – допускаєма напруга при зрізі, МПа.

Для диска, виготовленого зі сталі марки Ст 5 напруга при зрізі визначається за формулою, МПа:

$$[\sigma]_{зр} = (0,2 \dots 0,3) [\sigma_m] \quad (5.28)$$

де $[\sigma_m] = 290$ МПа [18] – межі плинності для сталі марки Ст 5.

Зовнішній радіус диска, м:

$$R = l_0 + 0,5 d_{0n} + h_{\min} \quad (5.29)$$

Діаметр вала в небезпечному перерізі шківів, м:

$$d_{0c} = 0,052 \sqrt{\frac{N_{\phi}}{\omega}}, \quad (5.30)$$

де N_{ϕ} – потужність електродвигуна, кВт;

ω – частота обертання ротора, с^{-1} .

Контрольні запитання

1. Для дрібнення яких матеріалів використовують молоткові дробарки?
2. Назвіть основні конструктивні параметри молоткових дробарок?
3. В яких межах змінюється колова швидкість ротора в молоткових дробарках?
4. Чим конструктивно відрізняються молоткові дробарки, які самоочищуються?
5. Від чого залежить крупність здрібнювання в молоткових дробарках?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

РОТОРНІ ДРОБАРКИ

Мета роботи: – визначити необхідну кількість дробарок для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також геометричні параметри основних її вузлів.

Теоретичні відомості

Роторні дробарки призначені для ударного дроблення різних матеріалів за допомогою бил, жорстко закріплених на роторі, який обертається навколо горизонтальної осі. Їх використовують для здрібнення: доменних шлаків, у тому

числі шлаків, які містять металеві включення; сировини і клінкера при виробництві цементу; вапняку, гіпсу, мармуру, цегельного бою, шамоту; скляного бою; селективного і розпушування азбестового волокна; порід перед їх пневмо– і гідротранспортуванням; коксівного вугілля; різних руд і ін.

Роторні дробарки застосовують як на першій, так і на наступних стадіях (аж до тонкого) здрібнення.

Ці дробарки відрізняється високими техніко–економічними показниками – великою ступеню здрібнення, значною продуктивністю, меншими питомими витратами електроенергії, відносно меншою питомою масою і розміром, простотою конструкції і зручністю обслуговування у порівнянні з щоковими і конусними дробарками, а також специфічними перевагами роторних дробарок – високою вибірковістю дроблення, високим відсотком виходу продукту кубоподібної форм і меншою чутливістю до попадання нездрібнюємих предметів [15].

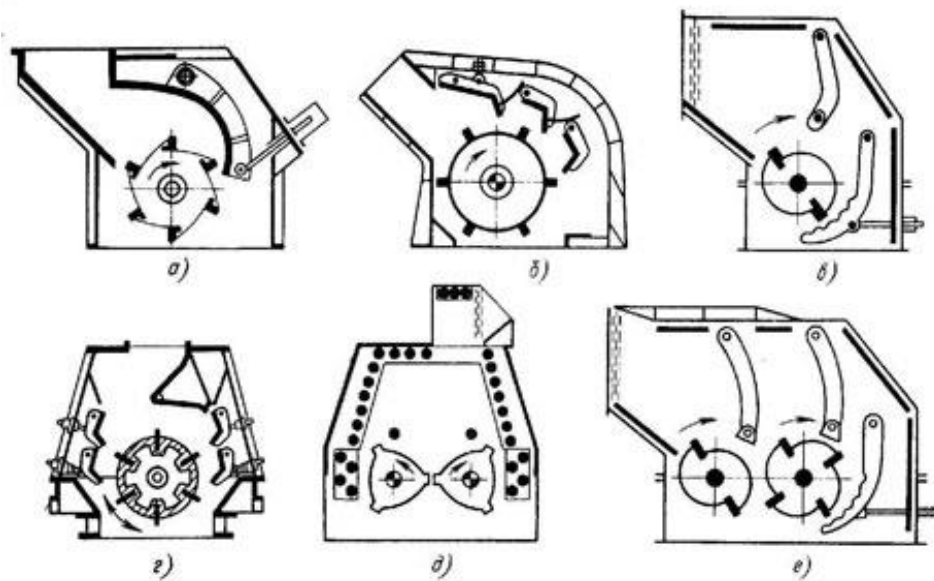
Роторні дробарки представляють з себе машини ударної дії, здрібнення в яких відбувається за допомогою швидко обертаючихся бил, жорстко закріплених на зовнішній поверхні ротора. Ротор встановлений всередині корпусу, на стінках якого закріплені приймальний лоток, відбивні плити, колосникові решітки, які служать для направлення руху потоку здрібненого матеріалу всередині корпусу і утворюючи разом з ротором камеру дроблення. Корпус має приймальний і вихідний отвори [16].

По конструктивних ознаках роторні дробарки розділяють (рис. 6.1):

- по числу роторів на однороторні і багатороторні,
- по числу ступенів здрібнення (тільки для багатороторних дробарок) на дробарки одноступінчастого і дробарки двоступінчастого дроблення;
- по характеру виконання відбивних органів на дробарки з колосниковими відбивними решітками і дробарки з відбивними плитами;
- по напрямку обертання роторів на дробарки з постійним напрямком і реверсивні дробарки зі змінним напрямком;

– по числу робочих камер на однокамерні й багатокамерні (дво-, трикамерні і т.д.).

Найбільше поширення одержали однороторні дробарки, як найбільш прості, компактні і зручні в експлуатації. Двуроторні дробарки розділяються на дробарки одноступінчастого і двоступінчастого здрібнення. Двуроторні дробарки одноступінчастого здрібнення представляють з себе сполучення двох однороторних дробарок з одним загальним прийомним отвором. Потік вихідного матеріалу в камері дроблення розподіляється між двома роторами і на кожному дробиться самостійно. Продуктивність їх при однакових розмірах роторів приблизно в 2 рази більше продуктивності однороторних дробарок. Однак верхнє положення приймального отвору ускладнює схему компоновки (живильник повинен перебувати над одним з роторів) і утрудняє проведення ремонтних робіт.



а – однороторна однокамерна з відбивною плитою; б – однороторна трикамерна з відбивними плитами; в – однороторна двокамерна з колосниковими решітками; г – реверсивна; д – двуроторна одноступінчастого дроблення; е – двуроторна двоступінчастого дроблення

Рис. 6.1. Конструктивні схеми роторних дробарок

Тому двуроторні дробарки одноступінчастого дроблення великого поширення не одержали.

Дваторторні дробарки двоступінчастого дроблення представляють з себе дві послідовно працюючі дробарки. Продукт дроблення першого ротора надходить безпосередньо на другий, ротор. Це дозволяє скоротити виробничі площі й спростити технологічну схему. Звичайно їх застосовують тоді, коли необхідно одержати продукт із більшим вмістом дрібних фракцій.

У якості вибивних органів у роторних дробарках використовують колосникові решітки, вибивні плити або бруси.

У дробарках з колосниковими вибивними решітками частина дрібних фракцій виділяється з камери в процесі дроблення. Це дозволяє зменшити перездрібнювання матеріалу і знизити питомі витрати енергії. При цьому конструкція дробарки трохи складніша і більш масивна, тому що передбачаються спеціальні об'єми для проходу відсіяного матеріалу.

Дробарки з вибивними плитами виявилися більш простими, надійними і зручними в експлуатації.

По напрямку обертання в основному застосовують дробарки з постійним напрямком обертання, у яких забезпечується певний рух здрібнюємого матеріалу і більш повно використовується робочий простір навколо ротора [19].

Роторні дробарки з реверсивним обертанням ротора ефективні в умовах підвищеного абразивного зношування бил для підтримки передньої загостреної поверхні била. Це досягається реверсуванням обертання ротора. Періодична зміна напрямків обертань ротора в міру зношування то однієї, то іншої сторони била дозволяє використовувати дробарку в найбільш сприятливих умовах роботи. При цьому показники роботи дробарки і ресурс бил підвищуються. Однак реверсивні дробарки складніше по конструкції, тому що мають два комплекти відбивних плит, кожний для свого напрямку обертання.

Під камерою здрібнення роторної дробарки розуміють простір, у якому відбувається рух і дроблення матеріалу, обмежений вихідною щілиною. Якщо в дробарці по ходу руху матеріалу конструктивно може бути встановлено кілька вихідних щілин, то вона має і відповідне число камер здрібнення. Звичайно дробарки мають до 14 камер здрібнення. Одно— і двокамерні дробарки

застосовують для великого здрібнення, а інші для середнього і дрібного здрібнення.

Завдання для розрахунку

Параметри дробарки – масова витрата твердого матеріалу G , ступінь здрібнення i , питомий енергетичний показник дробарки $W_{др}$; властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу – середній розмір вихідних кусків $d_{m\phi}$; густина матеріалу ρ_m ; швидкість удару v ; границя міцності матеріалу при стискуванні $\sigma_{m\phi}^+$ наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку роторної дробарки

Варіант	Твердий матеріал	G , т/год	$d_{m\phi}$, мм	ρ_m , кг/м ³	i	$\sigma_{m\phi}^+$, МПа	v , м/с	$W_{др}$
1	Апатит	10	200	2800	15	80	3,0	20
2	Антрацит	12	230	1600	17	25	0,7	15
3	Бетон	14	250	2300	20	300	2,0	35
4	Гіпс	16	260	2690	16	70	3,0	15
5	Граніт	18	280	3300	18	350	7,0	40
6	Вапняк високої густини	20	300	3000	19	250	6,0	20
7	Вапняк низької густини	7	180	2800	22	150	4,0	15
8	Вапняк пористий	9	190	2600	25	50	2,0	15
9	Колчедан	11	210	5200	15	125	3,5	30
10	Мергель	13	290	2800	17	100	4,0	25

Порядок розрахунку

Головними параметрами роторних дробарок є діаметр і довжина ротора.

В однороторних дробарок діаметр ротора D_p , визначається розміром найбільших шматків матеріалу, який завантажується, м:

$$D_p = (1,5 \div 3) d_{m\phi}, \quad (6.1)$$

де $d_{m\epsilon}$ – середній розмір вихідних кусків, м.

Довжина ротора дробарки L_p розраховується по формулі, м:

$$L_p = (0,5 \div 1,5) D_p \quad (6.2)$$

При цьому для дробарок великого здрібнення з метою одержання більшого моменту інерції ротора при меншій його масі необхідно щоб виконувалася умова:

$$\frac{L_p}{D_p} < 1 \quad (6.3)$$

звідки:

$$L_p = 0,8 D_p$$

Умовне число бил ротора z залежить від діаметра ротора і призначення дробарки по крупності здрібнення.

По обраному модулю ротора визначають умовне число бил, шт:

$$z = \frac{D_p}{m_z}, \quad (6.4)$$

де m_z – модуль ротора, для дробарок великого здрібнення $m_z = 300 \dots 500$ мм [20].

Визначення критичного діаметра d_{kp} шматка матеріалу, який здрібнюється, м:

$$d_{kp} = 280 \cdot 10^{-5} \frac{\sigma_{m\epsilon}^+}{\rho_m v^{1,5}}, \quad (6.5)$$

де $\sigma_{m\epsilon}^+$ – границя міцності здрібнюємого матеріалу при стискуванні, Па;

ρ_m – густина матеріалу, кг/м³;

v – швидкість удару, рівна швидкості обертання ротора, м/с.

Розмір вихідної щілини для дробарки встановлюється, м:

$$S = 0,1 D_p \quad (6.6)$$

Продуктивність дробарки розраховується по формулі, м³/год:

$$G_{\partial m} = G_0 \frac{L_p D_p^{1,5}}{v_p^{0,35} z^{0,5}} k_\beta k_D k_S k_r k_\sigma k_B, \quad (6.7)$$

де G_0 – продуктивність дробарки (базисної) при $D_p = L_p = v_p = z = 1$; $\beta = 0$; $D \rightarrow 0$;

$S = 0$; $\sigma_p \rightarrow 0$;

k_β – коефіцієнт, який враховує вплив кута встановлення відбивної плити:

$$k_\beta = 1 - 0,49 \sin \beta + 4,7 \sin^2 \beta, \quad (6.8)$$

$\beta = 20^\circ$ [19] – кут встановлення першої відбивної плити;

k_D – коефіцієнт, який враховує вплив розміру шматків матеріалу, визначається по формулі $k_D = \sigma = \frac{D_{cs}}{D_p} > 0,2$;

k_S – коефіцієнт, який враховує вплив ширини вихідної щілини;

$$k_S = 1 + 1,9 \varepsilon \quad (6.9)$$

$$\varepsilon = \frac{S}{D_p} \quad (6.10)$$

k_r – коефіцієнт, який враховує вплив закруглення передньої грані біла,
 $k_r = 0,85$ [15];

k_σ – коефіцієнт, який враховує вплив фізичних властивостей біла;

$$k_\sigma = 1 - \frac{C_\sigma}{700} \quad (6.11)$$

C_σ – критерій міцності;

$$C_\sigma = \frac{\sigma_{m\sigma}^+}{\rho_m D_p} \quad (6.12)$$

k_B – коефіцієнт, який враховує вплив зовнішньої поверхні біла, для хвилеподібної форми $k_B = 0,86$ [15].

Необхідна кількість дробарок, шт:

$$n_\partial = \varepsilon \left(\frac{G}{3,6G_{\partial m}} + 0,5 \right), \quad (6.13)$$

де ε – функція округлення дробового числа до цілого.

Потужність електродвигуна приводу дробарки розраховується по формулі, кВт:

$$N_\partial = \frac{W_{\partial p} G_{\partial m} (i-1)}{D_{св} \eta_{\partial p} \eta_n}, \quad (6.14)$$

де $W_{\partial p}$ – питомий енергетичний показник дробарки, (Вт год)/м²;

$G_{\partial m}$ – продуктивність дробарки, м³/год;

i – ступінь здрібнення;

$D_{св}$ – середньозважений діаметр вихідного продукту, м;

η_{dp} – ККД дробарки, $\eta_{dp} = 0,85$ [20];

η_n – ККД привода, $\eta_n = 0,95$ [6].

Потужність приводів усіх дробарок, кВт:

$$N = n_o N_o \quad (6.15)$$

Тип електродвигуна і його технічні характеристики обираємо із довідкової літератури.

Контрольні запитання

1. Назвіть границю міцності матеріалів, які здрібнюються в роторних дробарках?
2. На які типи підрозділяють роторні дробарки в залежності від призначення і характеру процесу дроблення?
3. Перелічіть переваги роторних дробарок?
4. Вкажіть, на що необхідно орієнтуватися при виборі числа рядів бил в роторній дробарці?
5. Від чого залежить продуктивність роторних дробарок?

Література

1. Анащенко Н. Н. Расчет оборудования литейных цехов / Анащенко Н. Н., Пепенко В. Д. – Харьков: Издательство Харьковского университета, 1963. – 147 с.
2. Сегаль И. С. Пневматический транспорт в литейном производстве / Сегаль И. С. – М.: НТИ, 1958. – 30 с.
3. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины / Спиваковский А. О., Дьячков В. К – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
4. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта / Зенков Р. Л. , Ивашков И. И., Колобов Л. Н. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

5. Гурков К. С. Погрузочные машины для сыпучих и кусковых материалов / Гурков К. С. – М.: Машиностроение, 1962. – 280 с.
6. Киркач Н. Ф. Расчет и проектирование деталей машин: Учеб. пособие для техн. вузов. – 2^е изд., перераб. и доп. / Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А. – Харьков: Вища школа, т.1 – 1987. – 134 с., т.2 – 1988. – 142 с.
7. Бауман В. А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учебник для Вузов. / Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. – М.: Машиностроение, 1975. – 324 с.
8. Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Клушанцев Б. В. – М.: Машиностроение, 1990. – 365 с.
9. Иванов В. Ф. Дробильно–сортировочное оборудование : ч. 1. Оборудование для дробления каменных материалов / Иванов В. Ф. – Красноярск: Metallurgizdat, 1966. – 280 с.
10. Руководство по проектированию механического оборудования силикатных производств: ч. 2. Дробильное оборудование / под. ред. Левченко П. В. – Свердловск: УПИ им. С. М. Кирова, 1963. – 370 с.
11. Олевский В. А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок / Олевский В. А. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 156 с.
12. Бауман В. А. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов / Бауман В. А. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.
13. Хархута Н. Я. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет / Хархута Н. Я. – М.: Машиностроение, 1976. – 472 с.
14. Быков В. И. Эксплуатация и ремонт оборудования обогатительных фабрик / Быков В. И. – М.: Недра, 1973. – 280 с.
15. Донченко А. С. Справочник механика рудообогатительных фабрик / Донченко А. С., Донченко В. А. – М.: Недра, 1975. – 559 с.
16. Артемьев К. А. Дорожные машины: В 2-х частях. Ч II. Машины для устройства дорожных покрытий. Учебник для вузов по специальности "Строительные и дорожные машины и оборудование" / Артемьев К. А., Алексеева Т. В., Белокрылов В. Г. – М.: Машиностроение, 1982. – 396 с.
17. Фейгин Л. А. Дробильные, сортировочные и транспортирующие машины / Фейгин Л. А. – М.: Высшая школа, 1977. – 240 с.
18. Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя. – т. 1, 2, 3 / Анурьев В. И. – М.: Машиностроение, 1992. – 637 с.

19. Васильев А. А. Дорожно–строительные машины. Справочник / Васильев А. А., Васильев И. А., Пруссак Б. Н., Урусов М. М. – М.: Машиностроение, 1977. – 392 с.
20. Баловнева В. И. Дорожно–строительные машины и комплексы: Учебник для вузов/ Баловнева В. И. – М.: Машиностроение, 1988. – 325 с.

[illegible]