

Л.Й.Дворкін, О.В.Безусяк, О.М.Бордюженко

ПОДРІБНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ



**Л.Й. Дворкін, О.В. Безусяк,
О.М. Бордюженко**

ПОДРІБНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

За редакцією д.т.н., професора Л.Й. Дворкіна



УДК 666.9.022(075.8)

Д 24

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування
(Протокол №5 від 29.05.2026 р.)*

Рецензенти:

С.О. Кровяков, доктор технічних наук, професор, Одеська
державна академія будівництва та архітектури;

Ю.В. Науменко, доктор технічних наук, професор,
Національний університет водного господарства та
природокористування, Рівне

Дворкін Л.Й., Безусяк О.В., Бордюженко О.М.

Д 24

Подрібнення та класифікація в технології будівельних
матеріалів і виробів : навч. посіб. / Л.Й. Дворкін, О.В. Безусяк,
О.М. Бордюженко; за ред. д.т.н., проф. Л.Й. Дворкіна. – Київ :
Видавничий дім «Кондор», 2026. – 178 с.

ISBN 978-617-8831-38-7

Навчальний посібник спрямований на вивчення процесів
подрібнення і класифікації матеріалів у технології будівельних
матеріалів і виробів. Містить відомості про основне і допоміжне
обладнання для подрібнення, класифікації, транспортування,
дозування і складування матеріалів, а також пиловловлювальні
установки. Для кращого засвоєння матеріалу наведено
ілюстрації та контрольні питання.

Для студентів будівельних спеціальностей.

УДК 666.9.022(075.8)

ISBN 978-617-8831-38-7

© Дворкін Л.Й., Безусяк О.В.,
Бордюженко О.М., 2026

© Видавничий дім «Кондор», 2026

ЗМІСТ

Передмова	6
1. ПОДРІБНЕННЯ – БАЗОВИЙ ПРОЦЕС ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	7
1.1. Основні теоретичні положення	7
1.2. Технологічні схеми подрібнення	10
2. ТРАДИЦІЙНІ АПАРАТИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	16
2.1. Апарати для дроблення	16
<i>Щоківі дробарки</i>	16
<i>Конусні дробарки</i>	20
<i>Роторні дробарки</i>	25
<i>Молоткові дробарки</i>	28
<i>Валкові дробарки</i>	30
<i>Бігуни</i>	34
2.2. Апарати для помелу матеріалів	38
<i>Барабанні млини</i>	38
<i>Млини «Гідрофол»</i>	44
<i>Багатокамерні млини</i>	45
<i>Стержневі млини</i>	47
<i>Молоткові млини</i>	47
<i>Дезінтегратори</i>	49
<i>Вібраційні млини</i>	51
<i>Струминні млини</i>	53
3. СУЧАСНІ АПАРАТИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	58
3.1. Сучасні типи дробарок для подрібнення будівельних матеріалів	58
<i>Відцентрово-ударні дробарки</i>	58
<i>Гіраційні дробарки</i>	61
<i>Валкові дробарки нового типу</i>	62
<i>Миючі дробарки</i>	69
3.2. Мобільні та модульні дробильні установки	70
<i>Мобільні модульні щоківі дробарки</i>	71
<i>Мобільні модульні конусні дробарки</i>	72
<i>Мобільні модульні установки</i>	73

3.3. Апарати для помелу будівельних матеріалів	81
<i>Вертикальні валкові млини</i>	81
<i>Валкові преси високого тиску</i>	83
<i>Планетарні млини</i>	87
<i>Колоїдні млини</i>	90
4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОДРІБНЕНИХ МАТЕРІАЛІВ	95
4.1. Традиційні апарати для просіювання матеріалів	95
<i>Основні теоретичні положення</i>	95
<i>Нерухомі грохоти</i>	99
<i>Рухомі грохоти</i>	100
4.2. Нові апарати для просіювання матеріалів	105
<i>Високочастотні вібраційні грохоти</i>	105
<i>Ультразвукові сита</i>	109
<i>Тумблерні грохоти</i>	111
<i>Відцентрові сита</i>	113
<i>Грохоти з прямим збудженням ситової поверхні</i>	115
<i>Промивні грохоти</i>	117
<i>Інтелектуальні грохоти</i>	121
4.3. Повітряні сепаратори та гідравлічні класифікатори	125
<i>Повітряні сепаратори</i>	125
<i>Гідравлічні класифікатори</i>	131
5. ТРАНСПОРТУВАННЯ, ДОЗУВАННЯ, ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	140
5.1. Транспортування будівельних матеріалів	140
<i>Транспортери</i>	141
<i>Пневматичні транспортери</i>	149
<i>Ковшові елеватори</i>	151
5.2. Живильники	154
<i>Стрічкові живильники</i>	155
<i>Пластинчасті живильники</i>	155
<i>Гвинтові (шнекові) живильники</i>	156
<i>Хитні живильники</i>	157
<i>Вібраційні живильники</i>	157
<i>Барабанні живильники</i>	158
<i>Дискові (тарілчасті) живильники</i>	159
<i>Ланцюгові живильники</i>	160

5.3. Апарати пиловловлювання	161
<i>Циклони</i>	161
<i>Рукавні фільтри</i>	164
<i>Електрофільтри</i>	167
5.4. Складування будівельних матеріалів	169
<i>Бункери</i>	169
<i>Затвори</i>	171
<i>Цементні силоси</i>	172
Рекомендована література	175

Передмова

Підготовка бакалаврів і магістрів за освітньою програмою «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» передбачає оволодіння ними відповідних знань, щодо процесів і апаратів, які застосовуються на підприємствах галузі. На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії на базі досягнень наукового матеріалознавства здійснюється вдосконалення існуючого і створення нового обладнання, що має підвищені технічні показники.

В даному посібнику основне місце відведено необхідній інформації, яка стосується процесів подрібнення і класифікації матеріалів на будівельних підприємствах і обладнанню для реалізації цих процесів. Поряд з основним обладнанням розглянуто також додаткове, яке дозволяє транспортування матеріалів в межах технологічних ліній, їх дозування і складування. Розглянуто також діюче пиловловлювальне обладнання.

Особлива увага в посібнику відведена новому обладнанню, яке впроваджується на підприємствах, його перевагам і технічним показникам.

Для кращого освоєння навчальних матеріалів в посібнику приведена достатня кількість ілюстрацій.

Для самоконтролю повноти набутих знань студентам пропонуються по кожній темі контрольні питання.

Автори вдячні рецензентам посібника за аналіз змісту посібника і зауваження, які враховані при його підготовці до видання.

1. ПОДРІБНЕННЯ – БАЗОВИЙ ПРОЦЕС ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Основні теоретичні положення

Подрібнення відноситься до базових процесів технології будівельних матеріалів та виробів. Від якісного подрібнення залежить якість готової продукції, швидкість і ефективність інших технологічних процесів (сушіння, змішування, випал).

Теорія подрібнення матеріалів почала розвиватися інтенсивно з другої половини XIX століття після класичних досліджень зв'язку подрібнюваності матеріалів з особливостями їх складу та структури.

Австрійський вчений Фредерік Ріттінгер у 1867 році в підручнику «Підручник мистецтва обробки» приводить наукові дослідження у яких обґрунтовує пропорційність енергії необхідної для подрібнення збільшенню поверхні частинок (закон Ріттінгера). Він виражається формулою

$$A = K_n \Delta F, \quad (1.1)$$

де A – енергія затрачена на подрібнення шматка матеріалу; K_n – питома робота, яка витрачається на одиницю нової поверхні з площею ΔF .

Для грубого подрібнення великих шматків Пітер Нік розробив закон Ніка, згідно якому енергія подрібнення пропорційна зменшенню лінійного розміру частинок, а Філіп Бонд запропонував закон Бонда, який враховує середній розмір частинок та енерговитрати на подрібнення.

Видатний український вчений перший директор Київського політехнічного інституту В.Л.Кирпичов виконав наукові дослідження, які стали фундаментом сучасної прикладної механіки та опору матеріалів. За гіпотезою В.Л.Кирпичова при подрібненні шматки твердого матеріалу спочатку підлягають об'ємним деформаціям, а потім руйнуються по ослаблених місцях (дефекти, тріщини) з утворенням більш мілких зерен. При цьому енергія яка необхідна при руйнуванні шматків матеріалу пропорційна об'ємам цих тіл. За В.Л.Кирпичовим

$$A = K_v \Delta V, \quad (1.2)$$

де K_v – питома робота, яка затрачується на руйнування об'єму твердого тіла; ΔV – зміна об'єму руйнованого зразка.

Дослідження показали, що ця формула придатна для крупного і середнього подрібнення.

П.О.Ребіндер об'єднав приведені вище гіпотези. За П.О.Ребіндером повна робота на подрібнення шматка матеріалу дорівнює сумі робіт, які йдуть при руйнуванні для отримання як нового об'єму так і нової поверхні матеріалу

$$A = K_v \Delta V + K_n \Delta F, \quad (1.3)$$

Академік П.О.Ребіндер у 1928 році відкрив ефект адсорбційного зниження міцності твердих тіл, що отримав в науковій літературі назву «Ефекту Ребіндера». Це відкриття поклало початок нової галузі знання – фізико-хімічної механіки. Ним було введено в науку поняття поверхневої активності, як термодинамічної характеристики поверхнево-активних речовин (ПАР).

На сучасному стані розвитку технології ПАР широко застосовують для підвищення ефективності технологічних процесів в том числі і процесів подрібнення (інтенсифікатори помелу).

Сучасні дослідження в напрямку розвитку технології подрібнення включають моделювання процесів, оптимізацію витрат, керування гранулометричним складом і розробку високоефективних дробарок і млинів.

Подрібнення матеріалів є одним з високоенергоємних технологічних процесів. Наприклад біля 70-75% від загальних витрат електроенергії при виробництві однієї тони цементу витрачається на подрібнення сировинних матеріалів і клінкеру. Для зменшення енергоспоживання при подрібнюванні матеріалів застосовують комплекс технологічних заходів до яких відносяться:

- попередня підготовка матеріалу, що включає сортування та грохочення з видаленням фракцій, які не потрібно дробити і сторонніх домішок;

- оптимізація ступеня подрібнення за рахунок багатостадійного дроблення, контроль гранулометричного складу продукту;
- використання ефективного обладнання;
- застосування замкнених схем подрібнення, що включають класифікацію матеріалів після дробильного апарату,
- повертання крупних частинок на повторне подрібнення;
- оптимізація режиму роботи обладнання за рахунок правильного завантаження, оптимальної швидкості обертання;
- підбір розміру і кількості мелючих тіл, регулярного технологічного обслуговування;
- використання нових технологій.

Під *лінійним ступенем подрібнення* « i_d » розуміють відношення середніх значень діаметрів вихідного і кінцевого продуктів. В табл. 1.1 приведені види подрібнення і характерні для них значення ступеню подрібнення.

Таблиця 1.1

Види подрібнення матеріалу

Подрібнення	Фракція зерен, м		Лінійна ступінь подрібнення
	до подрібнення	після подрібнення	
Крупне	1,5–0,3	0,3–0,1	2–6
Середнє	0,3–0,1	0,05–0,01	5–10
Дрібне	0,05–0,01	0,01–0,003	0–50
Помел грубий	$1 \cdot 10^{-2}$ – $3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-4}$	5–100
Тонкий	$3 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-5}$	≈ 100
Надтонкий	$1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-7}$	>100

Опір матеріалів подрібненню може оцінюватись *коефіцієнтом розмелюваності*. Якщо прийняти коефіцієнт розмелюваності цементного клінкера за одиницю, то для вапняку він становить 1,2...1,8, гранульованого доменного шлаку – 0,8...1,1, опоки – 1,3...1,4, трасу – 0,5...0,6, кварцового піску – 0,6...0,7.

1.2. Технологічні схеми подрібнення

Матеріали подрібнюють за допомогою стискання, удару, стирання, згину, розколювання, різання та вибуху (рис. 1.1) В залежності від механічних властивостей та початкових розмірів матеріалу для подрібнення приймають вказані методи окремо або в комбінації.

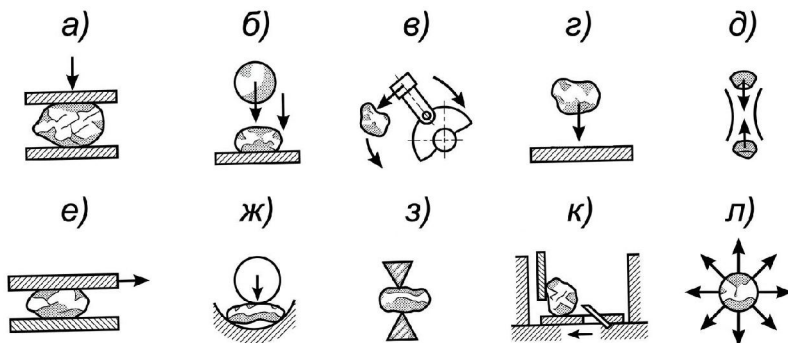


Рис. 1.1. Схеми способів подрібнення матеріалу:

а – стискання; б – стиснений удар; в – удар робочим органом дробарки;
г – вільний удар об плиту; д – вільний удар між
зернами; е – стирання; ж – згин (злом); з – розколювання;
к – різання; л – вибух

Однією із основних характеристик є ступінь подрібнення матеріалу. Розрізняють лінійний $i_n = D_1/D_2$ і об'ємний $i_o = V_1/V_2$ ступені подрібнення. де D_1 – середній діаметр зерен фракції до подрібнення; D_2 – середній діаметр зерен фракції після подрібнення; V_1 – об'єм середнього діаметру зерен фракції до подрібнення; V_2 – об'єм середнього діаметру зерен фракції після подрібнення.

Розділення матеріалу за розміром на фракції виконується на спеціальних машинах: грохотах чи сепараторах.

Залежно від наявності грохотів і сепараторів, взаємозв'язку їх з дробаркою або млином розрізняють подрібнення з відкритим і замкнутим циклом. При відкритому циклі матеріал через дробарку проходить один раз (рис. 1.2 а).

При наявності дрібнішого, за необхідний розмір, матеріалу, його відділяють (рис. 1.2 б). Відкритий цикл застосовують при крупному і середньому подрібненні, коли вимоги до максимального розміру зерен нормуються не строго. При замкнутому циклі зерна, які мають розмір більший за допустимий, знову направляють в дробарку або млин для повторного подрібнення (рис. 1.2 в, г). Подрібнення по замкнутому циклу застосовують при високих вимогах до розміру зерен. Воно ефективне при тонкому і надтонкому помелі.

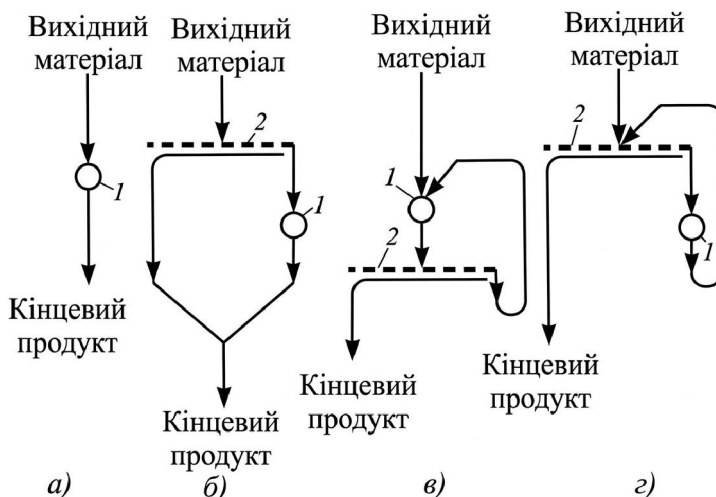


Рис. 1.2. Схеми подрібнення матеріалу:

- 1 – дробарка (млин); 2 – грохот (сепаратор); а – відкритий цикл; б – відкритий цикл з попереднім просіюванням матеріалу; в – замкнутий цикл; г – замкнутий цикл з попереднім і перевірочним просіюванням матеріалу

Подрібнення сировинних матеріалів здійснюють на установках, встановлених зазвичай на кар'єрах, які включають устаткування для подрібнення і просіювання вихідної сировини з метою отримання продуктів певної крупності.

Оптимальний ступінь подрібнення встановлюється з урахуванням виду агрегатів, які використовуються для наступного помелу сировинної суміші та їх продуктивності. При цьому, сумарна вартість подрібнення та помелу повинна бути мінімальною. Як правило, доцільним є тонке подрібнення сировинних матеріалів.

При переході, наприклад, кульового млина, який використовується для отримання сировинного борошна, на живлення матеріалом із крупністю 10 мм замість 25 мм, його продуктивність підвищується на 25%.

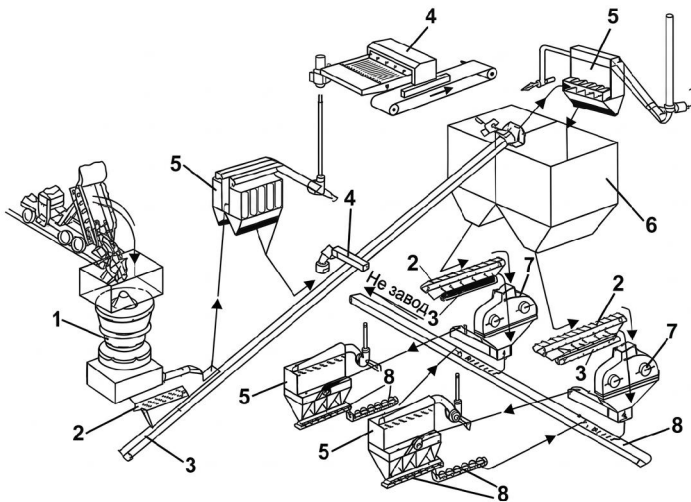


Рис. 1.3. Технологічна схема дробіння твердих вапняків

- 1 – конусна дробарка; 2 – пластинчасті живильники;
3 – стрічкові конвеєри; 4 – металовідокремлювач; 5 – рукавні фільтри; 6 – бункер; 7 – молоткові дробарки; 8 – шнеки

Подрібнювальні установки в цементному виробництві зазвичай повинні забезпечувати ступінь (коефіцієнт) подрібнення, до 100 і більше. Різні типи дробарок дають можливість отримати певний ступінь подрібнення: щоківі – 4...6, конусні – 3...8, молоткові – 20...40 і більше.

Вибір типу помельного устаткування здійснюють залежно від максимальної крупності вихідного матеріалу, його міцності, необхідного ступеню подрібнення та продуктивності.

Подрібнення, матеріалів виконують в одну або декілька стадій. Переважного розповсюдження набуло стадійне подрібнення, (рис. 1.3), при якому матеріал роздрібнюють, у 2...3 прийоми на дробарках різних типів. На кожній стадії отримують продукт з необхідними розмірами кусків, які відсіюють на грохоті. Дробарки на останніх стадіях працюють, як правило, у замкнутому циклі з віброгрохотом, при цьому матеріал крупніший заданого розміру повертається в дробарку для повторного подрібнення.

Подрібнення м'яких пластичних матеріалів виконується за один прийом без попереднього та проміжного розділення. Залежно від фізико-механічних властивостей сировинних матеріалів для їх подрібнення застосовують дробарки з перервним і безперервним натисканням подрібнюючих поверхонь (щоківі, конусні та валкові) (рис. 1.4), а також ударної дії (молоткові й конусні і молоткові дробарках: роторні). Щоківі та конусні дробарки застосовують зазвичай для первинного подрібнення матеріалів з міцністю 50...100 МПа і більше. Вони дають можливість отримати продукт із розміром кусків до 30...40 мм.

На другій стадії подрібнення переважно використовують молоткові та роторні дробарки. До молоткових дробарок відносяться дробарки ударної дії із шарнірно закріпленими на роторі ударними елементами – молотками. Молоткові дробарки відрізняються найбільш високим ступенем подрібнення, а також порівняно малою масою. Споживна потужність, маса та розміри молоткових дробарок на одиницю продуктивності в 2...5 разів менше, ніж у щоківих і конусних дробарок.

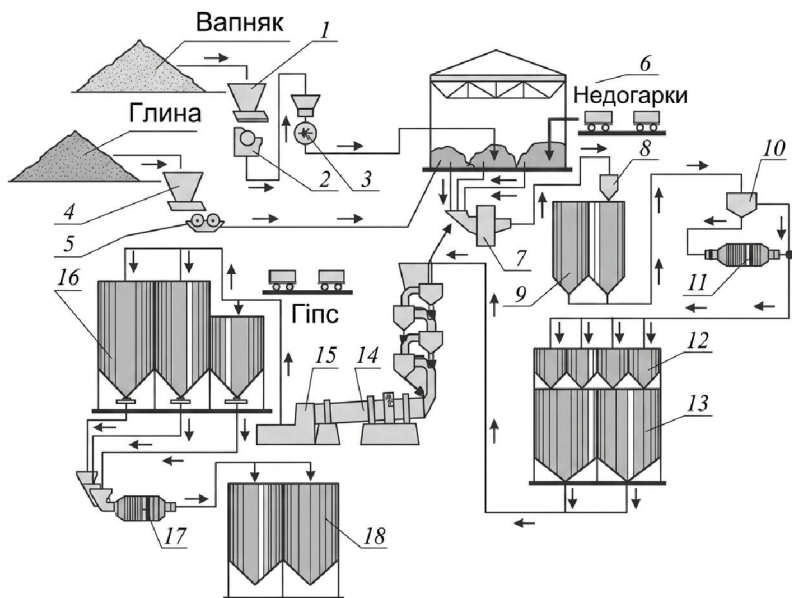


Рис. 1.4. Технологічна схема отримання цементу сухим способом:

- 1 – бункер вапняку; 2 – щокова дробарка; 3 – молоткова дробарка;
- 4 – бункер глини; 5 – валкова дробарка; 6 – об'єднувальний склад сировини;
- 7 – млин «Аерофол»; 8 – циклон-осаджувач; 9 – проміжний силос;
- 10 – сепаратор; 11 – млин; 12 – гомогенізаційний силос;
- 13 – запасний силос; 14 – піч з циклонними теплообмінниками;
- 15 – холодильник; 16 – склад клінкеру і добавок;
- 17 – млин; 18 – цементний силос

Отримання сировинної суміші (рис. 1.4) включає подрібнення сировинних матеріалів, їх сушіння та сумісний помел. Отримане сировинне борошно направляється на гомогенізацію й корегування хімічного складу з доведенням його до необхідного. У тих випадках, коли борошно випалюють в обертових печах з конвеєрними кальцинаторами, а також у шахтних печах (у цементній промисловості такі агрегати застосовують в обмеженій кількості) сировинне борошно до випалу піддають гранулюванню.

Контрольні питання

1. Які є види подрібнення і які розміри зерен їм відповідають?
2. У яких межах коливається ступінь подрібнення?
3. В чому полягає закон Ріттінгера?
4. Формула В.Л.Кирпичова.
5. Формула П.О.Ребіндера.
6. В чому полягає «Ефект Ребіндера»?
7. За якими напрямками можливе зниження енергоспоживання при подрібненні?
8. Які значення коефіцієнта розмелюваності різних матеріалів по відношенню до розмелюваності цементного клінкера?
9. Які особливості відкритого і закритого способів подрібнення?
10. Які основні стадії входять в технологічні схеми подрібнення?

2. ТРАДИЦІЙНІ АПАРАТИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Апарати для дроблення

Для дроблення матеріалів застосовують щоківі, конусні, роторні, молоткові і валкові дробарки та бігуни.

Щоківі дробарки. Принцип дії щоккових дробарок полягає у подрібненні матеріалу між двома плитами (щокми) – нерухомою і рухомою. Такі дробарки широко застосовують для первинного дроблення гірських порід і будівельних матеріалів.

Щоківі дробарки за характером руху рухомої щоки розділяються на дробарки з *простим* (рис. 2.1) і *складним* (рис. 2.2) рухом.

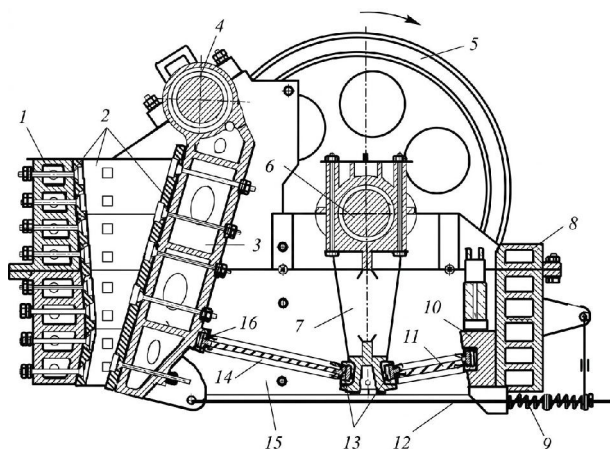


Рис. 2.1. Кінематична схема щоккової дробарки з простим рухом щоки типу ЩДП:

- 1 – нерухома щока; 2 – змінні футерувальні дробильні плити;
- 3 – рухома щока; 4 – вісь; 5 – маховик; 6 – ексцентриковий вал;
- 7 – шатун; 8 – задня стінка; 9 – пружина; 10 – упорна деталь;
- 11, 14 – розпірні плити; 12 – тяга; 13, 16 – вкладиші; 15 – бокові стінки

Дробарки з *простим рухом щоки* застосовують для крупного та середнього подрібнення високоміцних матеріалів на первинній стадії подрібнення.

Привід дробарок складається з електродвигуна та пасової передачі з масивним шківом-маховиком 5. Робочі поверхні дробильних плит 2 і бокові стінки корпусу дробарок 15 утворюють камеру подрібнення. Футерувальні дробильні плити влаштовують так, щоб виступи вертикального рифлення нерухомої щоки 1 співпадали з впадинами вертикального рифлення рухомої щоки 3. Режим роботи дробарок змінюють регулюванням вихідної щілини.

При обертанні ексцентрикового валу 6 рухома щока за один оберт наближаючись до нерухомої щоки здійснює робочий хід (відбувається подрібнення матеріалу) і холостий хід при віддаленні рухомої щоки (продукт подрібнення вивантажується через вихідну щілину). При цьому видами руйнування матеріалу є роздавлювання, розколювання та злом. Технічна характеристика щоківих дробарок з простим рухом щоки приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Технічна характеристика щоківих дробарок з простим рухом щоки

Показник	ЩДП 9×12	ЩДП 12×15	ЩДП 15×21
Розмір приймального отвору (ширина×довжина), мм	900×1200	1200×1500	1500×2100
Найбільша крупність вихідного матеріалу, мм	750	1000	1300
Кут захвату, град. не більше	20	20	20
Номінальна вихідна щілина, мм	130	150	180
Діапазон зміни вихідної щілини, %	±35	±40	±45
Продуктивність при номінальній щілині, м ³ /год.	180	310	600
Потужність електродвигуна, кВт	100	160	250
Маса дробарки без електродвигуна, т	75	145	260

Дробарки з *складним рухом щоки* (рис. 2.2) застосовують для середнього та мілкого подрібнення матеріалів середньої міцності. Вони мають меншу масу та простішу конструкцію.

Рухома щока 13 підвішена до ексцентрикового валу 2, в наслідок чого точки її робочої поверхні рухаються за еліптичною траєкторією з мінімальною різницею осей еліпса зверху та максимальною знизу. Подрібнення матеріалу відбувається внаслідок роздавлювання, розколювання, злому та стирання матеріалу. Складний рух рухомої щоки призводить до інтенсивного зношення дробильних плит. Технічна характеристика щоккових дробарок з складним рухом щоки приведена в табл. 2.2.

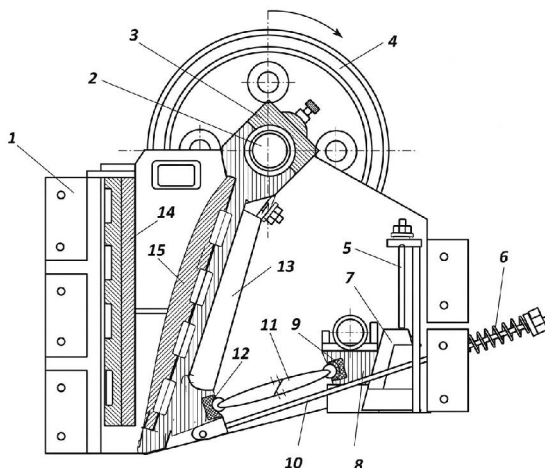


Рис. 2.2. Кінематична схема щоккової дробарки з складним рухом щоки типу ЩДС:

- 1 – нерухома щока; 2 – ексцентриковий вал; 3 – корінні підшипники;
- 4 – шків; 5 – гвинт; 6 – пружина; 7 – клин; 8 – упор;
- 9, 12 – вкладиші; 10 – тяга; 11 – розпірні плити;
- 13 – рухома щока; 14, 15 – змінні футерувальні плити

Недоліком щоккових дробарок є циклічний характер їх роботи та висока енергоємність процесу руйнування породи.

Типорозмір щоккових дробарок визначається розміром ширини B та довжини L завантажувального отвору: Величина B

характеризує максимальну крупність шматків, які завантажують у дробарку, $D_{max}=0.85B$.

Технічна продуктивність щоківих дробарок визначається за залежністю

$$P = 60Vnk_p, \quad (2.1)$$

де V – об'єм матеріалу, який випадає із дробарки за один оберт ексцентрикового валу, n – кількість обертів ексцентрикового валу за хвилину, $k_p=0,7-0,8$ – коефіцієнт розрихлення подрібненого матеріалу.

Таблиця 2.2

Технічна характеристика щоківих дробарок зі складним рухом щоки

Показник	ЩДС 1,6×2,5	ЩДС 2,5×4	ЩДС 2,5×9	ЩДС 4×9	ЩДС 6×9
Розмір приймального отвору (ширина×довжина), мм	160×150	250×400	250×900	400×900	600×900
Найбільша крупність вихідного матеріалу, мм	130	210	210	310	500
Кут захвату, град. не більше	15	16	16	18	19
Номинальна вихідна щілина, мм	30	40	40	60	100
Діапазон зміни вихідної щілини, %	±15	+40-20	±20	+30-20	+40-25
Продуктивність при номінальній щілині, м ³ /год.	3,0	7,8	18	30	62
Потужність електродвигуна, кВт	7,5	17	40	40	75
Маса дробарки без електродвигуна, т	1,37	2,56	8,0	12	20

На рис. 2.3 наведено щоккову дробарку з складним рухом N-МАК. Вона має міцну конструкцію корпусу, може дробити всі види матеріалів, від м'якого вапняку до найтвердішого базальту.

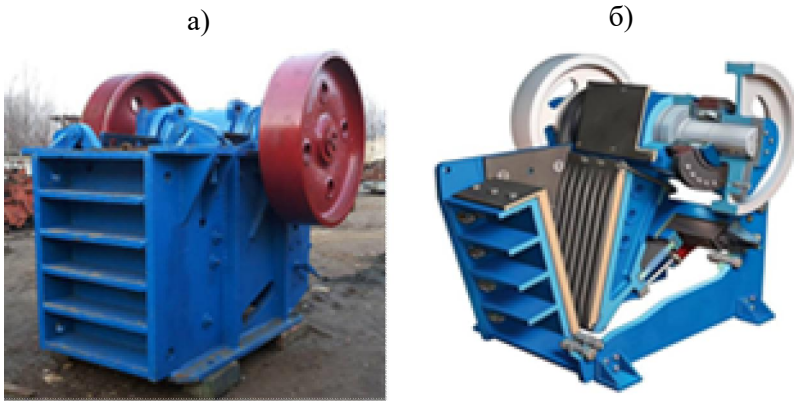


Рис. 2.3. Щоккова дробарка N-МАК з складним рухом щоки:
а – загальний вид; б – розріз

Конусні дробарки. Конусні дробарки працюють за принципом роздавлювання матеріалу між двома конічними поверхнями. Вони застосовуються для подрібнення порід високої і середньої міцності. Їх встановлюють, як на стаціонарних дробильних підприємствах, так і на пересувних дробильно-сортувальних установках. Конусні дробарки відрізняються від щоккових дробарок вищою продуктивністю і високим ступенем подрібнення, проте вони складніші і дорожчі від щоккових.

Розрізняють конусні дробарки двох основних типів:

- у вигляді *крутого конуса* – для крупного та середнього подрібнення (рис. 2.4 а);
- у вигляді *пологого конуса* (так звані грибоподібні дробарки) – для середнього та дрібного подрібнення (рис. 2.4 б).

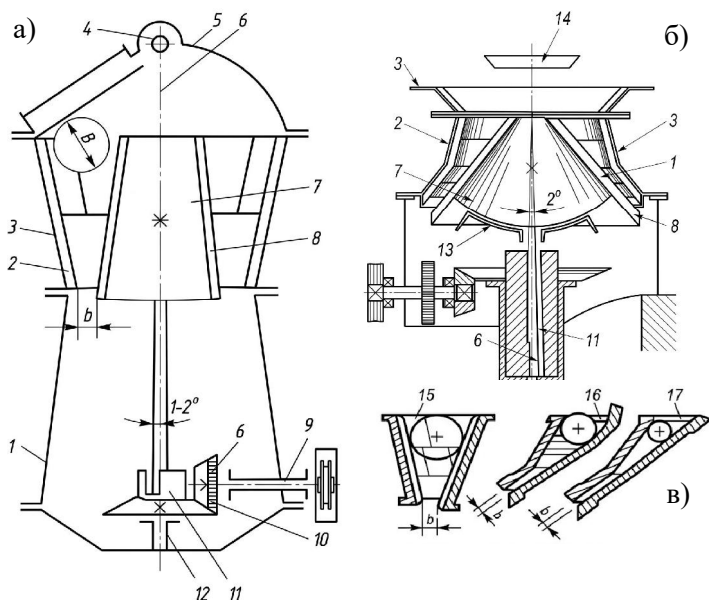


Рис. 2.4. Кінематичні схеми конусних дробарок:

а—для крупного та середнього подрібнення; б – для середнього та дрібного подрібнення; в – схеми вихідних щілин (отворів);

1 – станина (корпус дробарки); 2 – нерухомий конус;
3 – броньовані плити зовнішнього нерухомого конуса; 4 – підвісний підшипник рухомого конуса; 5 – траверса підшипника (кришка дробарки); 6 – вал дробильного конуса; 7 – рухомий дробильний конус; 8 – броньовані плити внутрішнього рухомого конуса; 9 – вал для передачі обертового руху електродвигуна конусу; 10 – конічна передача; 11 – стакан-ексцентрик валу рухомого конуса;

12 – вертикальний підшипник станини дробарки; 13 – сферичний підп'ятник; 14 – дисковий живильник; 15–17 – розмір вхідної щілини;
 δ , b – розмір вихідної щілини

Технічна характеристика конусних дробарок приведена в табл. 2.3-2.5.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика конусних дробарок крупного подрібнення

Показник	ККД 500	ККД 900	ККД 1200	ККД 1350	ККД 1500
Продуктивність, м ³ /год	200	420	600	1450	2000
Діаметр основи рухомого конуса, мм	500	900	1200	1350	1500
Найбільший розмір завантажувального матеріалу, мм	400	750	1000	1100	1200
Розмір вихідної щілини, мм	75	140	200	250	270
Частота обертання ексцентрикової втулки, об/с	6,1	5,5	4,3	4,3	4,0
Потужність електродвигуна, кВт	110	250	320	350	400
Маса без електрообладнання, т	43	150	250	350	410

Конусні дробарки для крупного подрібнення значно відрізняються від дробарок для середнього та мілкового подрібнення профілем робочого простору. Рухомий дробильний конус 7 дробарок крупного подрібнення має кут при вершині 20...30° («крутий конус») а у дробарок середнього і дрібного подрібнення – 80...100° («пологий конус»). У дробарок для крупного подрібнення рухомий конус шарнірно підвішений до траверси 5, а у дробарок середнього та дрібного він опирається на сферичний підп'ятник 13. Крім того нерухомий конус розширюється, утворюючи з рухомим паралельну зону, по якій матеріал при русі підлягає багаторазовому стисненню й подрібненню до розміру вихідної щілини. Камера подрібнення конусних дробарок утворюється двома зрізаними конічними поверхнями, одна з яких (зовнішня) нерухома 3, а інша (внутрішня) – рухома 7. Рухомий зрізаний конус розташовано ексцентрично відносно нерухомої поверхні. Подрібнення матеріалу відбувається при наближенні конічних поверхонь, а

вивантаження готового продукту – при віддаленні однієї від іншої. Процес подрібнення відбуваються безперервно в різних зонах камери подрібнення. Руйнування матеріалу відбувається під дією стискаючих, стираючих та вигинаючих навантажень.

Таблиця 2.4

Технічна характеристика конусних дробарок середнього подрібнення

Показник	КСД 600	КСД 900	КСД 1200	КСД 1750	КСД 2200
Продуктивність, м ³ /год	19-40	36-55	77-115	70-320	360- 610
Діаметр основи рухомого конуса, мм	600	900	1200	1750	2200
Найбільший розмір завантажувального матеріалу, мм	60	100	150	200	300
Розмір вихідної щілини, мм	12-35	15-40	20-50	25-60	30-60
Частота обертання ексцентрикової втулки, об/с	6,1	5,5	4,3	4,3	4,0
Потужність електродвигуна, кВт	30	55	75	160	250
Маса без електрообладнання, т	5	12,5	22	55	100

Будучи машинами безперервної дії, конусні дробарки забезпечують високу продуктивність. До їх переваг відносять також можливість запуску машин під завалом. Високий ступінь подрібнення матеріалу і надійність у роботі зумовлює їх широке розповсюдження.

Основним параметром дробарок крупного подрібнення (ККД) є діаметр приймального отвору, а дробарок середнього (КСД) і дрібного (КМД) подрібнення – діаметр основи рухомого конуса. Конусні дробарки крупного подрібнення мають такий ряд типорозмірів: 500, 900, 1200, 1350 і 1500 мм; середнього і мілкового подрібнення – 600, 900, 1200, 1750, 2200 мм.

Максимальна крупність шматків, які завантажуються в дробарку крупного подрібнення знаходиться в межах $D=400...1200$ мм, а ширина вихідної щілини – $b=75...270$ мм.

Найбільший розмір шматка, який завантажується в дробарку середнього подрібнення, становить $D=60...300$ мм, при розмірі вихідної щілини $b=75...270$ мм, а у дробарок дрібного подрібнення – $D=40...110$ мм при розмірі вихідної щілини $b=3...20$ мм.

Таблиця 2.5

Технічна характеристика дробарок дрібного (мілко) подрібнення

Показник	КМД 600	КМД 900	КМД 1200	КМД 1750	КМД 2200
Продуктивність, м ³ /год.	5-15	12-40	30-50	95-130	220-260
Діаметр основи рухомого конуса, мм	600	900	1200	1750	2200
Найбільший розмір завантажувального матеріалу, мм	40	60	80	100	110
Розмір вихідної щілини, мм	4	4	5-15	9-20	10-20
Частота обертання ексцентрикової втулки, об/с	4,3	4,3	4,3	4,3	4,0
Потужність електродвигуна, кВт	40	55	75	160	250
Маса без електрообладнання, т	5	12,5	22	55	100

Технічна продуктивність ($м^3/год.$) конусних дробарок визначається залежністю

$$\Pi = qb, \quad (2.2)$$

де q – продуктивність яка припадає на 1 мм вихідної щілини, $м^3/год$; для дробарок середнього подрібнення $q=0,54D^2n$, для дрібного подрібнення $q=1,32D^2n$; D – діаметр основи рухомого конуса, мм; n – частота кругових коливань, об/хв.; b – ширина вихідної щілини, мм.

На рис. 2.5 наведено зовнішній вид та розріз конусної дробарки.

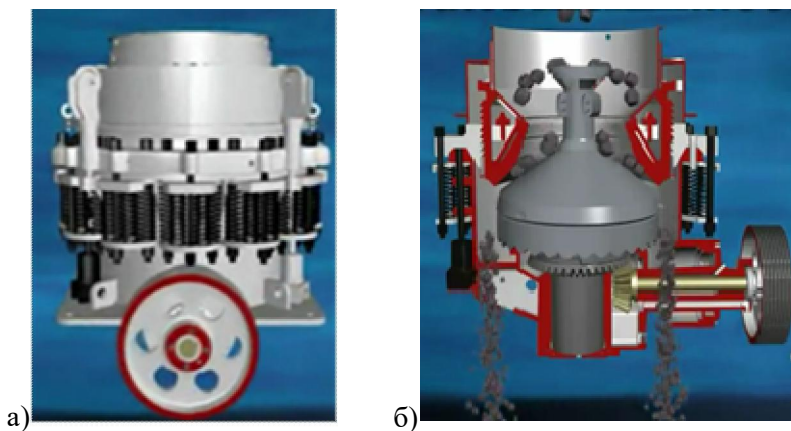


Рис. 2.5. Конусна дробарка:
а – загальний вигляд; б – розріз

На рис. 2.6 показана пересувна дробильно-сортувальна установка, що використовує конусну дробарку.



Рис. 2.6. Пересувна дробильно-сортувальна установка

Роторні дробарки. У роторних дробарках подрібнення відбувається ударом швидко обертового ротора з білами по

матеріалу. Цей вид дробарок застосовують для подрібнення вапняку, доломіту, руд, мармуру та інших подібних їм матеріалів, що мають малу абразивність. Їх випускають двох типів: для крупного подрібнення, які використовують на первинній стадії подрібнення; для середнього і дрібного подрібнення – на кінцевих стадіях. Роторні дробарки забезпечують отримання щебеню високої якості, переважно кубоподібного виду, з одночасним збагаченням продукту подрібнення, так як більш слабкі складові порід піддаються значному подрібненню і відсіву від основних фракцій.

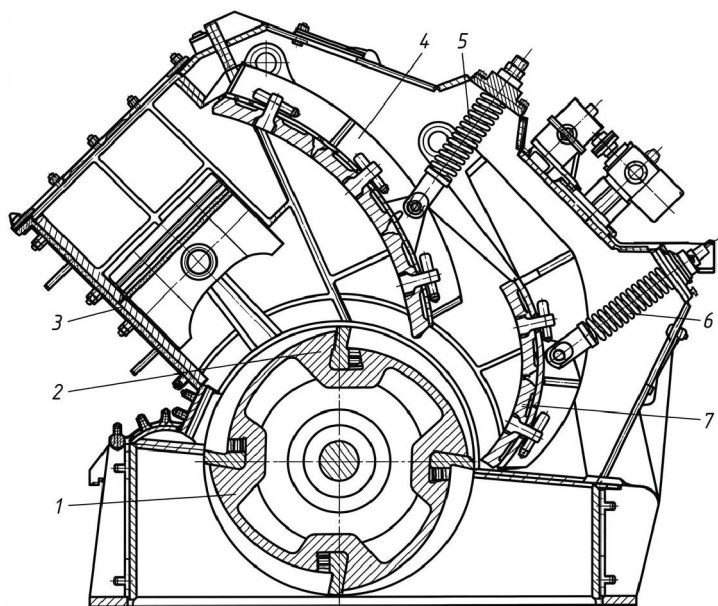


Рис. 2.7. Кінематична схема роторної дробарки:

- 1 – ротор; 2 – біло; 3 – коробчастий корпус; 4 – відбивна плита;
5 – пружинно-регулювальний пристрій; 6 – пружинно-регулювальний
пристрій, який дає можливість регулювати ширину вихідної щілини;
7 – відбивна плита

Обертання ротору відбувається від електродвигуна через пасову передачу (рис. 2.7). У середині корпусу на осях підвішені

відбивні плити 4 і 7, нижня частина яких підтримується пружинно-регульовальними пристроями 5 і 6, що дозволяє регулювати ширину вихідний щілини, а також пропускати недробиме тіло (метал) що попадає в камеру подрібнення. Подрібнення матеріалу здійснюється в результаті удару по ньому билем 2 і удару шматків об відбивні плити, чим досягається висока (10-20) ступінь подрібнення. У порівнянні з іншими типами дробарок роторні дробарки мають меншу металоємність, невеликі габарити, що в поєднанні з високим ступенем дроблення зумовило застосування їх в пересувних дробильних установках. Розмір найбільшого шматка, що завантажується в дробарки крупного подрібнення, 800...1000 мм, середнього – 400...600 мм.

Технічна характеристика роторних дробарок приведена в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Технічна характеристика роторних дробарок

Показник	Крупне подрібнення (ДРК)				Середнє і дрібне подрібнення (ДРС)	
	50	125	200	370	125	200
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год.}$						
Максимальний розмір шматка завантажуваного матеріалу, мм	400	600	800	1100	300	375
Діаметр ротора, мм	800	1250	1600	2000	1000	1250
Довжина ротора, мм	630	1000	1250	1600	1000	1250
Потужність двигуна, кВт	40	100	160	250	125	200
Маса дробарки, т	6	15	30	68	10	18

Продуктивність роторної дробарки визначають за залежністю ($\text{м}^3/\text{год.}$).

$$П = AhLnz, \quad (2.3)$$

де A і h – параметри форми ротора; L – довжина ротора, мм;
 n – частота обертання ротора, об/хв.; z – число рядів бил, шт.

На рис. 2.8 наведено зовнішній вид та розріз роторних дробарок.

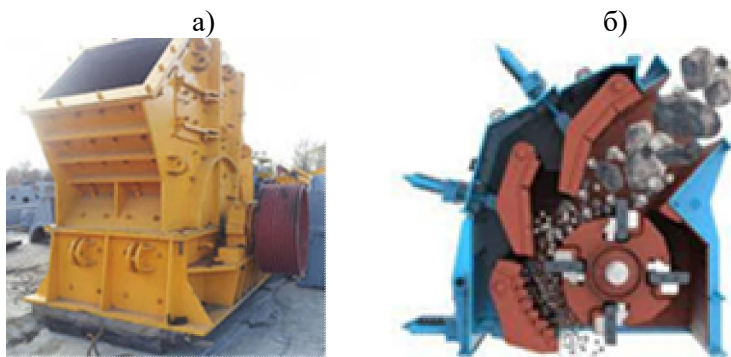


Рис. 2.8. Роторні дробарки:
а – загальний вид; б – розріз

Молоткові дробарки. Цей вид дробарок здійснює дроблення матеріалів ударами молотків, що швидко обертаються разом з ротором. Якщо в роторних дробарках дроблення відбувається ударами жорстко закріплених бил і відбиттям матеріалу від відбивних плит, то в молоткових дроблення відбувається ударами вільно підвішеними молотками і стиранням через колосникову решітку.

Молоткові дробарки (рис. 2.9) використовують для подрібнення твердих матеріалів, що характеризуються крихкістю і конгломератів, наприклад, будівельних відходів.

Положення колосникових решіток і відбійної плити – регулюється. Робочу щілину між внутрішньою поверхнею колосникових решіток і ротором вибирають залежно від крупності продукту подрібнення. Розмір найбільшого шматка матеріалу, що завантажується в молоткові дробарки, – 75...600 мм при окружній швидкості молотків 60 м/с.

При обертанні ротора молотки під дією відцентрових сил займають напрямок по лінії, що з'єднує вісь обертання ротора з віссю обертання молотка. При ударі молотки повертаються

навколо своєї осі в напрямку, протилежному обертанню ротора. Шарнірне кріплення молотків у молоткових дробарок істотно відрізняє їх від роторних з жорстко закріпленими билами.

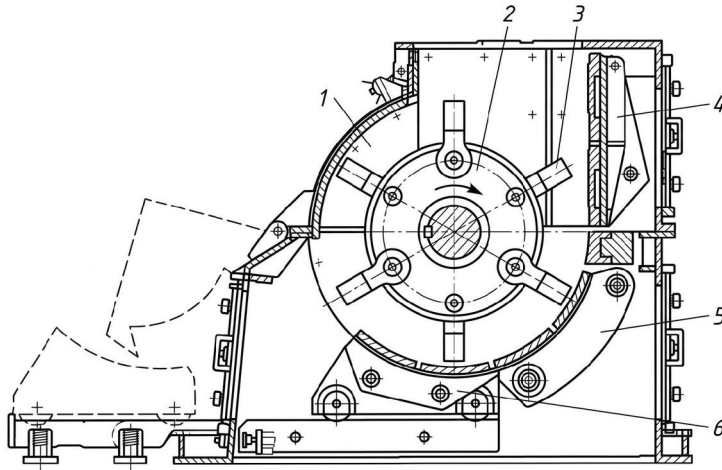


Рис. 2.9. Кінематична схема молоткової дробарки:

- 1 – зварний корпус; 2 – обертовий ротор; 3 – молоток масою 15...20 кг;
4 – відбійна плита; 5 – поворотна колосникова решітка; 6 – висувна колосникова решітка

Продуктивність молоткової дробарки в $кг/год$ визначають за залежністю

$$П = 3600kD^2Lrn, \quad (2.4)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу; D – діаметр диску ротора; L – довжина ротору; r – момент інерції молотка; n – частота обертання ротора, $об/с$.

Недоліком молоткових дробарок є швидкий знос молотків і колосникових решіток. Вони також не можуть бути рекомендовані для подрібнення занадто в'язких (глинистих) вологих матеріалів, які забивають колосникові решітки. Технічні характеристики молоткових дробарок наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Технічна характеристика молоткових дробарок

Показник	ДМ 6-4	ДМ 8-6	ДМ 13-16	ДМ 20-20	ДМ 20-30
Продуктивність, м ³ /год	15	20	200	800	1200
Розмір найбільшого шматка завантажуваного матеріалу, мм	150	250	400	600	600
Діаметр ротора, мм	600	800	1300	2000	2000
Довжина ротора, мм	400	600	1600	2000	3000
Потужність електродвигуна, кВт	40	100	350	800	1250
Маса дробарки, т	1,5	3,0	11,0	46	60

На рис. 2.10 наведено зовнішній вид та розріз молоткових дробарок.



Рис. 2.10. Молоткові дробарки:
а – загальний вид; б – розріз

Валкові дробарки. Подрібнення матеріалів валковими дробарками здійснюється стисненням між двома валками, що обертаються у протилежних напрямках.

Валкові дробарки бувають з гладкими та зубчастими валками. Валкові дробарки (рис. 2.11) з гладкими валками

застосовуються для середнього і дрібного подрібнення твердих матеріалів. Ступінь подрібнення матеріалу становить 3...4.

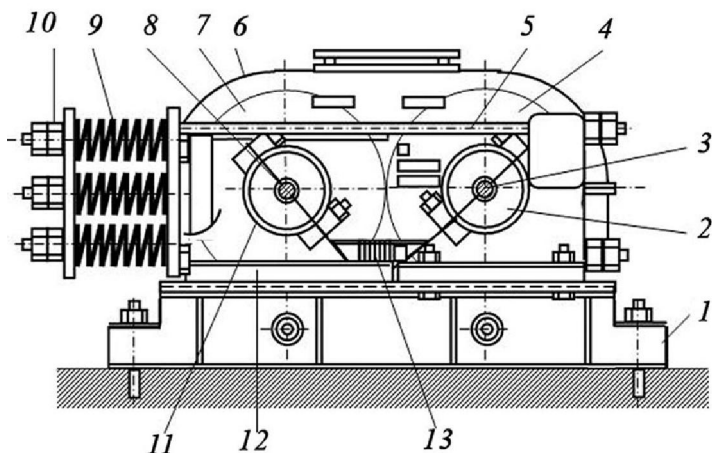


Рис. 2.11. Валкова дробарка з гладкими валками:

1 – станина; 2, 11 – підшипники; 3, 8 – приводні вали;
4, 7 – дробильні валки; 5 – тяги; 6 – корпус; 9 – пружинний амортизатор; 10 – затяжні гайки; 12 – напрямні рейки; 13 – прокладки

У валкових дробарках з зубчастими валками ряди зубців одного валка розташовані між рядами зубців іншого валка, що забезпечує отримання однорідного по крупності продукту. При крупному подрібненні форма зубців дзьобоподібна з висотою зубців від 70 до 110 мм, при дрібному подрібненні — списоподібна з висотою зубців близько 30 мм.

Валкові дробарки (рис. 2.12) з зубчастими валками застосовують для крупного і середнього подрібнення м'яких і крихких матеріалів, при необхідності одержати грудковий дроблений продукт. Ступінь подрібнення матеріалу становить 4...6.

Технічна характеристика дробарок з гладкими валками приведена в табл. 2.8.

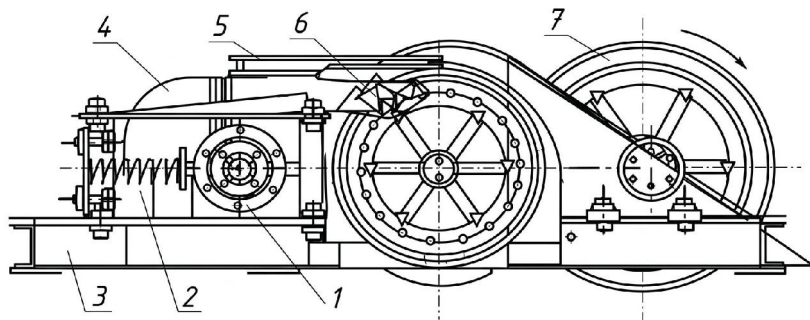


Рис. 2.12. Валкова дробарка з зубчастими валками:

1 – корпус підшипника рухомого валка; 2 – пружинний амортизатор;
3 – рама; 4 – корпус дробарки; 5 – завантажувальна лійка; 6 – зубчатий валок; 7 – шків

Таблиця 2.8

Технічна характеристика дробарок з гладкими валками

Показник	ДВГ 400×250	ДВГ 600×400	ДВГ 800×500	ДВГ 1000×550
Продуктивність, м ³ /год, при:				
– мінімальній щілині	2,7	4,3	10,8	11,9
– максимальній щілині	16,2	30,2	43,0	53,5
Діаметр валка, мм	400	600	800	1000
Довжина валка, мм	250	400	500	550
Розмір найбільшого шматка завантажуваного матеріалу, мм	2-12	2-14	4-16	4-18
Потужність електродвигуна, кВт	2×4,5	2×7,5	28	40
Маса дробарки, т	2,2	3,4	12,5	15,9

Технічна характеристика дробарок з зубчастими валками приведена в табл. 2.9.

У випадку потрапляння предмету, що не дробиться, один з валків (рухомий), зв'язаний з пристроєм амортизації, відхиляється назад, пропускає цей предмет, а потім повертається

у вихідне положення. Пристрій амортизації дозволяє також регулювати відстань між валками (від 50 до 150 мм), для отримання потрібної крупності дробленого продукту. На рис. 2.13 приведено дробарки з гладкими та зубчатими валками.

Таблиця 2.9

Технічна характеристика дробарок з зубчатими валками

Показник	ДВЗ 700×500	ДВЗ 700×500	ДВЗ 900×600	ДВЗ 1250×1000
Продуктивність, м³/год	35-60	120-180	230-330	450-650
Розмір валка, мм				
діаметр	700	700	900	1250
довжина	500	500	600	1000
Крупність готового продукту, мм	0-30	1-100	0-150	0-200
Потужність електродвигуна, кВт	від 2×11 до 2×22	від 2×30 до 2×37	від 2×75 до 2×132	від 2×110 до 2×160
Маса, т	5,7	5,7	9,5	23,5

а)



б)



Рис. 2.13. Валкові дробарки:

а – з гладкими валками; б – з зубчатыми валками

Продуктивність валкових дробарок можна розрахувати, якщо уявити процес подрібнення, як рух стрічки між валками. Об'єм стрічки матеріалу, що проходить через вихідну щілину, становить (м³/хв.)

$$V = \pi D L a n \mu, \quad (2.5)$$

де D – діаметр валка, m ; L – довжина валка, m ; a – ширина вихідної щілини, m ; n – частота обертання валу, $об/хв.$; μ – коефіцієнт який враховує розрихленість матеріалу: для міцного матеріалу $\mu = 0,2 \dots 0,3$, а для вологого в'язкого – $\mu = 0,4 \dots 0,6$.

Бігуни. До бігунів відносяться дробарки, де подрібнення відбувається прокатуванням або стисканням між обертовими валками чи дисками, які називають бігунами.

Бігуни застосовують для дрібного подрібнення (розмір шматків готового продукту 3-8 мм) і грубого помелу (розмір зерен 0,2-0,5 мм) глини, кварцу і інших матеріалів.

В порівнянні з валковими дробарками бігуни забезпечують більш високу ступінь подрібнення і продуктивність але більш складні в обслуговуванні. Їх застосовують тоді, коли поряд з подрібненням необхідно забезпечити ущільнення і розтирання маси (наприклад при обробці глини).

За конструкцією бігуни поділяють на бігуни з нерухомою чашею, з обертовою чашею та з обертовою чашею і підвісними катками (рис. 2.14).

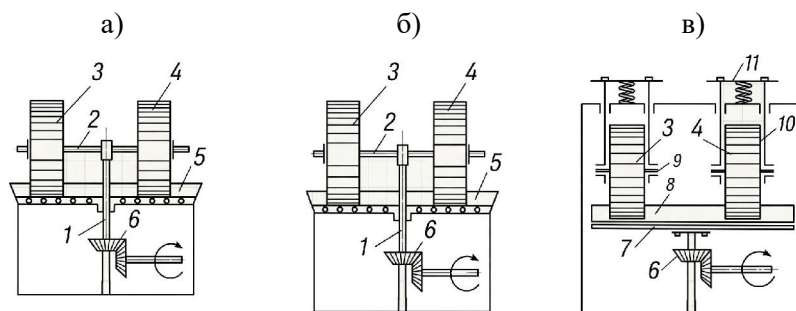


Рис. 2.14. Кінематичні схеми бігунів:

а – з нерухомою чашею; б – з обертовою чашею;
в – з обертовою чашею і підвісними катками; 1 – вертикальний вал; 2 – вісь катків; 3, 4 – катки; 5 – чаша; 6 – конічний редуктор; 7 – дно чаші; 8 – борт чаші; 9 – вісь катка; 10 – тяги; 11 – пружина

Бігуни з нерухомою чашею застосовують для подрібнення глини вологістю понад 15%. Катки 3 і 4 при обертанні вертикального валу 1 котяться по нерухомій чаші 5, обертаючись при цьому навколо своїх горизонтальних осей. Шарнірне кріплення осей катків 2 до вертикального валу забезпечує підймання і опускання катків в залежності від товщини шару матеріалу на чаші, а також безаварійне перекочування їх по недробимих предметах. Розмір катків (діаметр×ширина) становить від 1200×300 до 1800×550 мм, маса відповідно 2...7 т.

Вертикальний вал отримує обертання від двигуна і редуктора через конічну передачу 6. Дно чаші складається з окремих плит з овальними отворами, розмір яких вибирається від 6×30 до 12×40 мм в залежності від необхідної крупності. Щоб отвори не забивались, їх виконують розширеними. Катки бігунів подрібнюють, розтирають матеріал і продавлюють його крізь отвори плит. Отриманий продукт надходить в лоток. До валу прикріплені скребки, які очищують борти і дно чаші від налиплого матеріалу й подають його рівномірно під катки.

Бігуни з обертовою чашею застосовують для сухого подрібнення матеріалу. Розмір катків становить від 600×200 до 1800×450 мм, маса відповідно до 7 т.

Бігуни з обертовою чашею і підвісними катками застосовують для сухого подрібнення. Вони мають обертову чашу 7 без отворів. Подрібнений матеріал вивантажується під дією відцентрової сили через зазор між дном і бортом чаші 8. Ширина зазору регулюється. Часточки матеріалу, розмір яких більший ніж зазор, подаються скребками під катки.

Продуктивність бігунів розраховують за емпіричними формулами. Продуктивність бігунів для сухого помелу визначають за формулою

$$П = 6 \cdot 10^{-4} m D n, \quad (2.6)$$

де m – маса катка, кг; D – діаметр чаші, мм; n – частота обертання вертикального валу.

Технічна характеристика бігунів приведена в табл. 2.10, а їх загальний вид на рис. 2.15.

Таблиця 2.10

Технічна характеристика бігунів

Показник	СМ-268	СМ-365	СМ-401М	СМ-568
Продуктивність, т/год.	30	43	1	12
Розмір катка, мм: діаметр ширина	1500 550	1500 800	1100 300	1600 450
Діаметр піддона, мм	268	365	401	568
Маса катка, т	7,1	5,3	0,9	3,4
Потужність електродвигуна, кВт	40	75	17	52,7
Маса, т	28,6	32,0	9,1	28,8

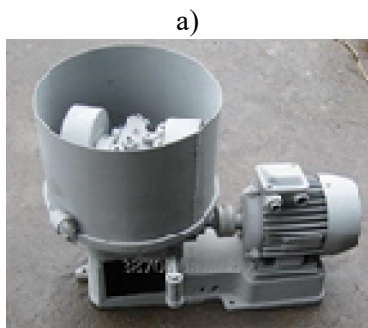


Рис. 2.15. Бігуни:
а – загальний вид; б – вид зверху

Контрольні питання

1. Як поділяють щоківі дробарки за характером руху рухомої щоки?
2. Коли застосовують дробарки з простим рухом щоки?
3. Назвіть основні елементи і поясніть принцип дії щоківі дробарки з простим рухом щоки.
4. Коли застосовують дробарки з складним рухом щоки?
5. Назвіть основні елементи і поясніть принцип дії щоківі дробарки з складним рухом щоки.

6. Поясніть формулу продуктивності шоккових дробарок.
7. Коли застосовують конусні дробарки?
8. Як відрізняються технічні характеристики конусних дробарок від шоккових?
9. Які існують типи конусних дробарок?
10. Яка конструктивна різниця між конусними дробарками для крупного і середнього подрібнення?
11. Назвіть основні елементи конусної дробарки для м'якого подрібнення гірської породи.
12. Назвіть основні технічні показники конусних дробарок.
13. Поясніть формулу продуктивності конусних дробарок.
14. Для подрібнення яких порід і на якому принципі основана робота роторних дробарок?
15. Назвіть основні елементи і технічні показники роторної дробарки.
16. Поясніть формулу продуктивності роторних дробарок.
17. Для подрібнення яких порід застосовують молоткові дробарки?
18. На якому принципі основана робота молоткових дробарок при руйнуванні гірських порід?
19. Назвіть основні елементи молоткової дробарки.
20. Назвіть основні технічні показники молоткових дробарок.
21. Яка конструктивна різниця між роторною і молотковою дробарками?
22. Поясніть формулу продуктивності молоткових дробарок?
23. Коли застосовують дробарки з зубчатими валками і принцип їх дії?
24. Назвіть основні елементи дробарки з гладкими валками і принцип її дії.
25. В чому полягає принцип дії валкових дробарок?
26. Поясніть формулу продуктивності валкових дробарок.
27. Коли застосовують бігуни?
28. Як поділяють бігуни за конструкцією?
29. Коли застосовують бігуни з нерухомою чашею?

30. Коли застосовують бігуни з обертовою чашею?
31. Коли застосовують бігуни з обертовою чашею і підвісними катками?
32. Поясніть формулу продуктивності бігунів.
33. Назвіть основні технічні показники бігунів.

2.2. Апарати для помелу матеріалів

Помел будівельних матеріалів можна розглядати як тонке подрібнення. Швидкість протікання хімічних і дифузних процесів в матеріалі залежить від величини зовнішньої поверхні його часток. При її збільшенні, швидкість цих процесів, відповідно, збільшується. Збільшити зовнішню поверхню часток можна шляхом зменшення їх розмірів. Наприклад, при виробництві в'язучих матеріалів його частки подрібнюють до розмірів менших десятих долей міліметрів. Таке подрібнення називають помелом.

Помел матеріалу здійснюють *млинами*. Принцип дії млинів ґрунтується на механічному руйнуванні матеріалу. За конструкцією млини поділяють на *барабанні, молоткові, вібраційні, струминні та дезінтегратори*.

Барабанні млини. Млини барабанного типу отримали найбільше розповсюдження. Їх класифікують:

- *за режимом роботи*: періодичної (рис. 2.16 а) та безперервної (рис. 2.16 б-з) дії;

- *за формою мелючих тіл*: кульові (рис. 2.16 а, б, в, є) стержневі (рис. 2.16 г) і самоподрібнювальні (без мелючих тіл) (рис. 2.16 д, е);

- *за конструкцією завантажувального і розвантажувальних пристроїв*:

- з завантаженням і розвантаженням через люк (рис. 2.16 а);

- з завантаженням і розвантаженням через порожнинні цапфи (рис. 2.16 б, в, г, е, є);

- з периферійним розвантаженням (рис. 2.16 д);

- з розвантаженням через торцеву решітку (рис. 2.16 е);

- *за способом помелу*: сухого і мокрого помелу;

- *за конструкцією приводу*:

– з периферійним (рис. 2.16 ж); і центральним (рис. 2.16 з) приводом.

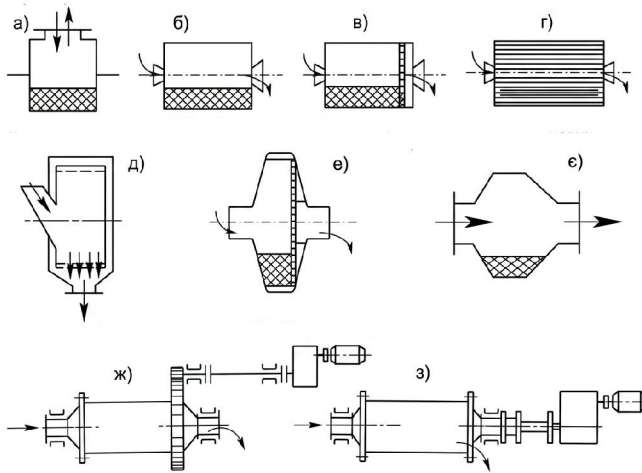


Рис. 2.16. Основні схеми барабаних млинів:

а – періодичної дії; *б-з* – безперервної дії:

г – стержневий; *д* – з периферійним розвантаженням; *е* – з розвантаженням через торцеву решітку; *є* – з конусним барабаном; *ж* – з периферійним приводом; *з* – з центральним приводом

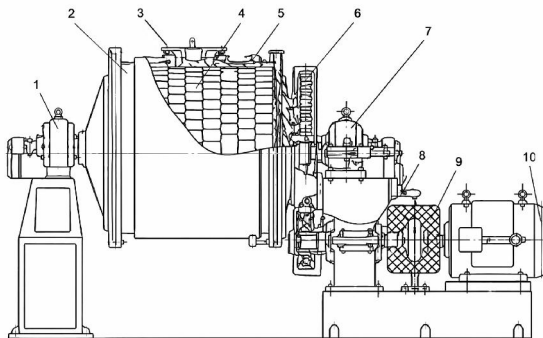


Рис. 2.17. Схема барабанного млина періодичної дії:

1 – корінний підшипник; 2 – барабан; 3 – завантажувальний люк; 4 – сталеві плити; 5 – розвантажувальний люк; 6 – зубчатий вінець; 7 – корінний підшипник; 8 – реверс; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун

На рис. 2.17 наведено схему барабанного млина періодичної дії. Млин складається з горизонтального циліндричного корпусу (барабану) 2 закритого торцевими кришками з корінними підшипниками 7. Барабан приводиться електродвигуном 10 з допомогою циліндричного редуктора в обертовий рух. Барабан і торцеві кришки з внутрішньої поверхні футеровані сталевими плитами 4 (рис. 2.18).

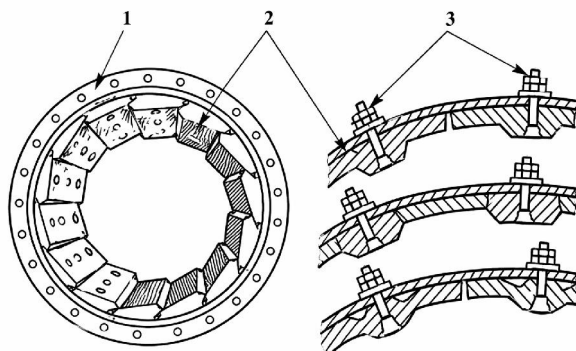


Рис. 2.18. Футерування внутрішньої поверхні барабану:

1 – барабан; 2 – сталеві плити; 3 – болти для кріплення сталевих плит до корпусу барабана

Завантажують млин вихідним матеріалом через завантажувальний люк, який потім закривають спеціальною кришкою. Матеріал подрібнюється в середині обертаючого барабану під дією мелючих тіл або шляхом самоподрібнення (без використання мелючих тіл) за рахунок ударів і тертя між частинками самого матеріалу.

Мелючі тіла можуть бути у кульовому млині у вигляді сталевих куль і цильпесів, у стержневому – сталевих стержнів (рис. 2.19).

Після закінчення помелу відкривають кришку розвантажувального люку. Розвантаження готового продукту відбувається через решітку розвантажувального люку при обертанні барабану млина. При цьому мелючі тіла затримуються в барабані решіткою.

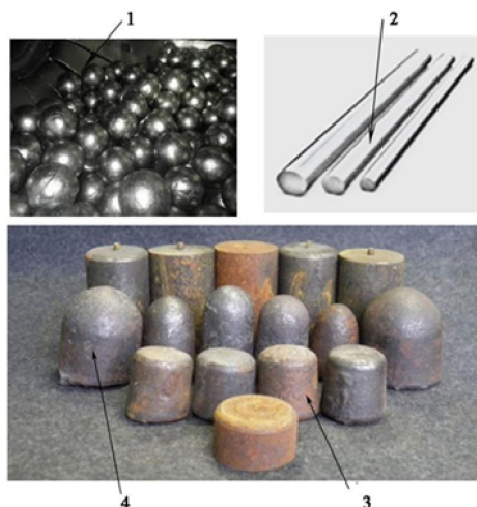


Рис. 2.19. Мелючі тіла:

1 – сталеві кулі; 2 – сталеві стержні 3 – циліндричні цильпєбси циліндричної форми; 4 – цильпєбси еліпсоїдної форми

При обертанні барабана мелючі тіла й матеріал під дією відцентрової сили й тертя піднімаються на відповідну висоту, а потім падають. Траєкторія руху куль залежить від обертової швидкості барабану. Рух куль може бути каскадний, змішаний або водоспадний (рис. 2.20). Найбільш ефективним є водоспадний рух. При цьому відбувається під дією удару куль подрібнення матеріалу шляхом його руйнування, розколювання й стирання.

Тонина помелу матеріалу (розмір його часток) залежить від співвідношення площі поверхні мелючих тіл (S) до їх об'єму (V). Чим більше значення цього співвідношення тим менший розмір його часток.

На рис. 2.21 наведено зовнішній вигляд лабораторного барабанного млина періодичної дії.

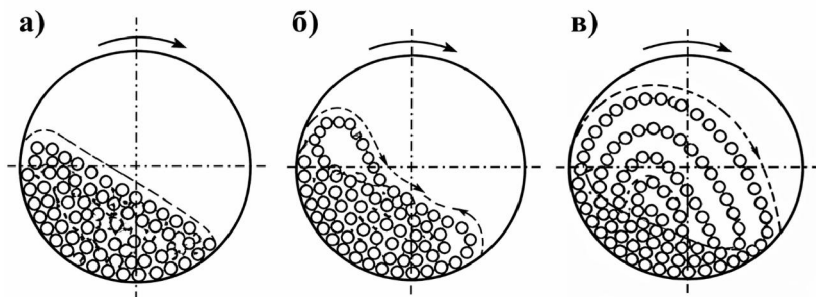


Рис. 2.20. Схеми руху куль при режимах роботи млина:
а – каскадний; б – змішаний; в – водоспадний

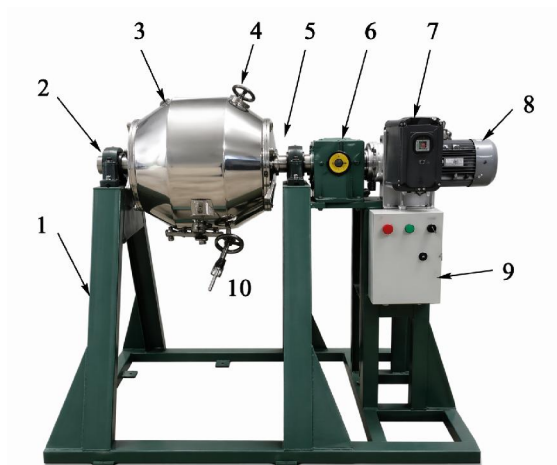


Рис. 2.21. Зовнішній вигляд лабораторного барабанного
кульового млина періодичної дії:

- 1 – станина; 2, 5 – опорні підшипники; 3 – барабан;
- 4 – штурвал завантажувального люку; 6 – редуктор;
- 7 – пускач; 8 – електродвигун; 9 – пульт управління;
- 10 – розвантажувальний люк

На рис. 2.22 і 2.23 наведено схему і зовнішній вигляд барабанного млина безперервної дії. Його конструкція подібна млину періодичної дії. Але додатково в торцеві кришки вмонтовані порожнисті цапфи для безперервного завантаження матеріалу і розвантаження готового продукту. Процес подрібнення матеріалу в барабані відбувається безперервно

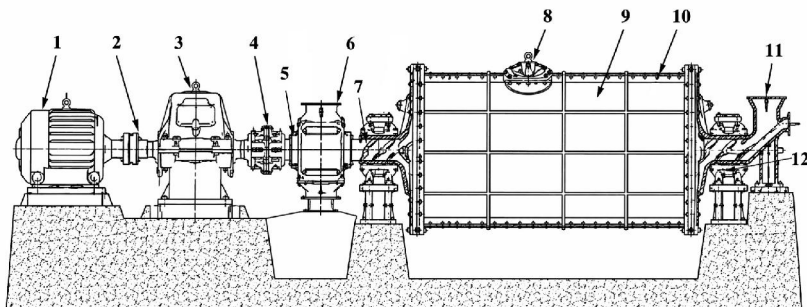


Рис. 2.22. Схема барабанного млина безперервної дії:

- 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – зубчата муфта; 5 – циліндричний патрубок; 6 – розвантажувальний пристрій;
- 7, 12 – порожнисті цапфи; 8 – люк; 9 – сталеві плити;
- 10 – барабан; 11 – завантажувальний патрубок

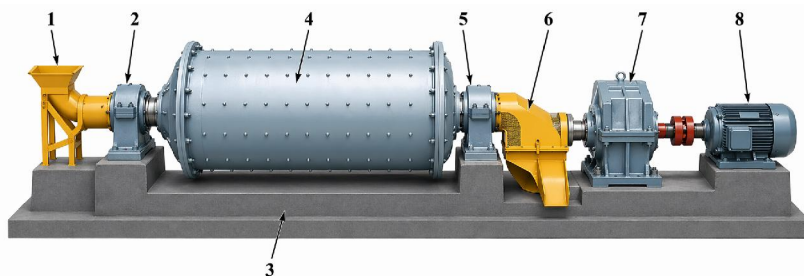


Рис. 2.23 Зовнішній вигляд барабанного кульового млина безперервної дії:

- 1 – завантажувальна лійка; 2 – корінний підшипник;
- 3 – фундамент; 4 – барабан; 5 – корінний підшипник;
- 6 – розвантажувальний пристрій; 7 – редуктор;
- 8 – електродвигун

Діаметр мелючих куль випускають в межах від 15 до 100 мм з співвідношенням S/V відповідно від 0,06 до 0,41. Цильпесби мають розміри: 8×28, 7×32 і 5×35 мм з відповідним співвідношенням 0,178; 0,186 і 0,146 (рис. 2.19).

Для грубого помелу використовують кулі великого діаметру, а для тонкого помелу – кулі малого діаметру або цильпесби. При застосуванні цильпесбів площа взаємодії їх поверхні з вихідним матеріалом більша ніж при застосуванні куль, тому вони є більш ефективними ніж кулі малого діаметру.

При помелі деяких матеріалів доцільно застосовувати млини без мелючих тіл, тому що в цьому випадку можна зменшити витрату електроенергії та зношення робочих органів в порівнянні з кульовими млинами.

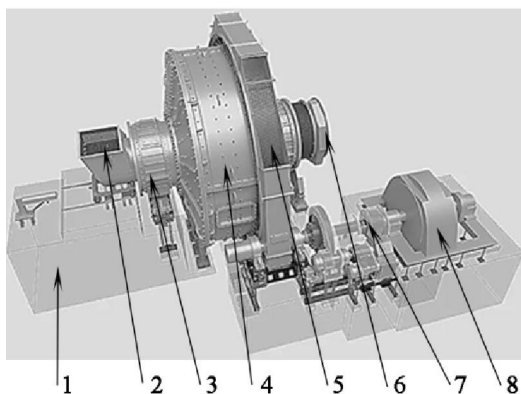


Рис. 2.24. Зовнішній вигляд барабанного млина самоподрібнення «Гідрофол»:

- 1 – фундамент; 2 – завантажувальна лійка;
- 3 – корінний підшипник; 4 – барабан; 5 – зубчатий вінець;
- 6 – розвантажувальний пристрій; 7 – редуктор з системою передач; 8 – електродвигун

Млини «Гідрофол» — це обладнання (рис. 2.24), для мокрого самоподрібнення матеріалів (переважно сировини для цементу) без використання мелючих тіл (куль чи стрижнів). Вони працюють за принципом використання великих шматків

сировини для руйнування менших у водному середовищі, що підвищує ефективність виробництва та зменшує знос обладнання. Млини мають високу продуктивність, можливість отримання тонкого помелу, модернізація камер дозволяє підвищити якість продукції.

Багатокамерні млині (рис. 2.25) мають подовжений барабан. Їх довжина більша за діаметр в 3–5 разів. Вони мають декілька камер, які між собою розділені решітчастими перегородками. Камери завантажені мелючими тілами різного розміру. Перша камера завантажена кулями великого діаметру, наступні – кулями меншого діаметру, остання – кулями малого діаметру або цильпесами. Така послідовність розташування по камерах мелючих тіл дає можливість привести їх розмір у відповідність до розміру часток матеріалу, що забезпечує економну роботу млина. Ці млини застосовують для помелу різних матеріалів. У таких млинах може здійснюватись як сухий, так і мокрий спосіб помелу матеріалів.

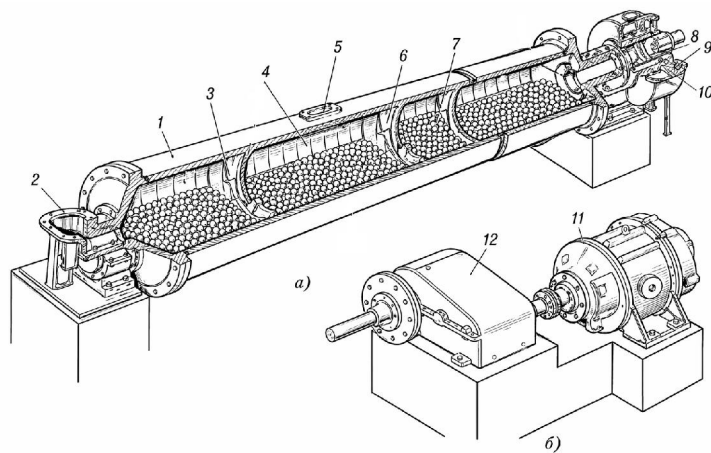


Рис. 2.25. Багатокамерний млин

а – млин; б – привід; 1 – барабан; 2, 9 – днища барабану; 3, 6, 7 – міжкамерні перегородки; 4 – футеровочні плити;
5 – люк; 8 – конус; 10 – кожух

Поряд з кульовими млинами з циліндричним барабаном застосовують млини з конусним барабаном.

На рис 2.26 приведено зовнішній вид кульового млина з конусним барабаном. Така конструкція за рахунок відцентрової сили розділяє мелючі тіла за розміром. Це сприяє кращим умовам помелу матеріалу.

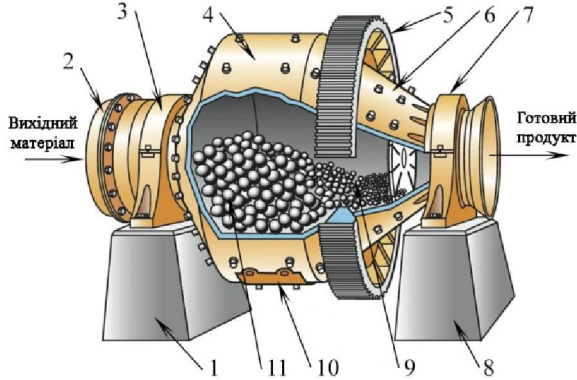


Рис. 2.26. Кульовий млин з конусним барабаном:

- 1, 8 – фундамент; 2 – порожниста цапфа; 3, 7 – корінні підшипники;
4 – циліндричний барабан; 5 – вінцева шестерня; 6 – конічний барабан;
9 – кулі малого діаметру; 10 – люк для завантаження і розвантаження
помельних тіл; 11 – кулі великого діаметру

Продуктивність барабанного млина можна визначити наступним чином (формула Товарова):

$$Q = 6,45V\sqrt{D} \frac{G}{D^{0.8}} qk, \quad (2.7)$$

де V – робочий об'єм млина, м^3 ; D – внутрішній діаметр барабану, м ; G – вага мелючих тіл, т ; q – питома продуктивність млина, $\text{т}/(\text{кВт} \times \text{год})$; k – коефіцієнт, який враховує тонкість помелу.

Швидкість обертання млина:

$$n = 0,75n_{кр} = \frac{32}{\sqrt{D}}, \quad (2.8)$$

де $n_{кр}$ – критична швидкість обертання млина, $\text{об}/\text{хв.}$;

Маса мелючих тіл:

$$M = \varphi \mu \rho_m \pi R^2 L, \quad (2.9)$$

де φ – коефіцієнт заповнення камери млина (0,25...0,45);
 μ – коефіцієнт розрихлення помольних тіл (0,46...0,66);
 ρ_m – густина матеріалу помельних тіл; R – внутрішній радіус барабану, м; L – довжина барабану, м.

Технічна характеристика барабанних млинів що застосовуються при помелі цементного клінкера приведена в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Технічна характеристика цементних млинів (по клінкеру)

Марка млина	Розмір, (D×L), м	Потужність двигуна, кВт	Завантаження мелючі тіл, т	Продуктивність, т/год.
МЦ2,0×10,5	2,0×10,5	400	35	12-15
МЦ2,6×13	2,6×13	800	80	25-35
МЦ3,0×14	3,0×14	1250	115	45-55
МЦ3,2×15	3,2×15	1600	135	60-75
МЦ4,0×13,5	4,0×13,5	2500	220	90-110
МЦ4,6×14	4,6×14	4500	320	140-170

Стержневі млини по конструкції подібні до кульових (рис. 2.16, г). Але замість куль у них застосовують сталеві стержні діаметром 50–100 мм. Частота їх обертання на 20–30% менша ніж у кульових. Ці млини застосовують при подрібненні зерен розміром до 1–3 мм.

Молоткові млини. Молоткові млини займають проміжне місце між дробарками та млинами. Вони працюють в комплекті з обладнанням, в якому потік газу використовують для транспортування і сортування матеріалу. На рис. 2.27 показано *шахтний молотковий млин*, в який матеріал, що підлягає

подрібненню, вводиться по воронці живлення 1 у вертикальну шахту 2 і попадає на молотки ротора 3. При обертанні ротора в помольній камері утворюється вакуум, завдяки якому забезпечується через приймальні канали 4 відсмоктування повітря. Готовий продукт переміщується потоком повітря із шахти. Крупні часточки випадають з потоку повітря і падають на молотки для додаткового подрібнення. Таким чином, шахта виконує роль сепаратора. Тонкість помелу можна регулювати змінюючи положення відбійних плит 5, завдяки яким змінюється прохідний отвір для повітря, а відповідно, і регулюється швидкість його руху.

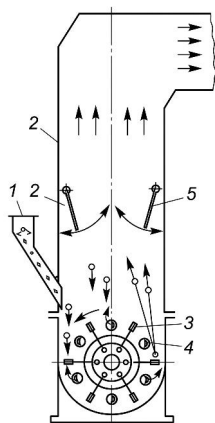


Рис. 2.27. Шахтний млин:

- 1 – воронка живлення;
- 2 – вертикальна шахта;
- 3 – молотки;
- 4 – приймальні канали для повітря;
- 5 – відбійні плити

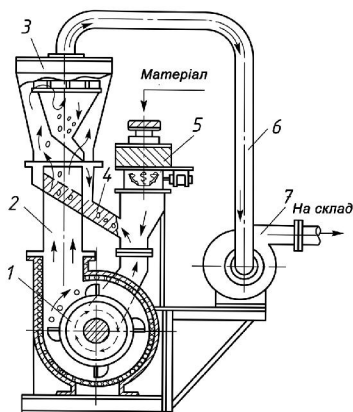


Рис. 2.28. Аеробильний млин:

- 1 – ротор з билами;
- 2 – вертикальна шахта;
- 3 – сепаратор; 4 – лоток для крупних часток;
- 5 – живильник; 6 – труба для відводу готового продукту;
- 7 – вентилятор

На рис. 2.28 показана схема *аеробильного млина* з жорстко закріпленими на роторі билами 1, живильником 5, сепаратором 3 і вентилятором 7. Матеріал живильником подається на били ротора млина де відбувається його подрібнення. Внаслідок

розрідження, яке створює вентилятор, подрібнений матеріал надходить по вертикальній шахті 2 у сепаратор. В сепараторі матеріал розділяється на крупні часточки і готовий продукт. Готовий продукт відсмоктується по трубі 6 на склад, а крупні часточки по лотку 4 повертаються в камеру подрібнення.

Продуктивність млинів ударної дії визначають дослідним шляхом в залежності від умов роботи.

Для будівельної галузі (виробництво вапна, гіпсу, цегли, подрібнення сухої глини і скла) використовують молоткові млини серії СМД або ДМ.

Технічна характеристика молоткових млинів приведена в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Технічна характеристика молоткових млинів

Марка млина	Діаметр × довжина ротора, мм	Максимальний розмір входу, мм	Розмір фракцій виходу, мм	Потужність двигуна, кВт	Продуктивність, т/год.
СМД-112(А)	400×400	до 100	0-5	11	3-8
СМД-147 (ДМ6×4)	600×400	до 150	0-10	18,5	10-15
СМД-504 (ДМ8×6)	800×600	до 200	0-15	45	25-40
СМД-97А (ДМ10×10)	1000×1000	до 250	0-20	75-90	50-85

Дезінтегратори. Дезінтегратори – це агрегати, які поєднують функції дробарок (для грубого та середнього подрібнення) та помельних машин (для тонкого та ультратонкого помелу). Принцип дії дезінтеграторів полягає в тому, що матеріал подрібнюється серією ударів об пальці (била) двох роторів, що обертаються у протилежних напрямках.

Дезінтегратори застосовують для виготовлення сухих сумішей, активації цементу і др. На рис. 2.29 і 2.30 показана схема і загальний вид дезінтегратору.

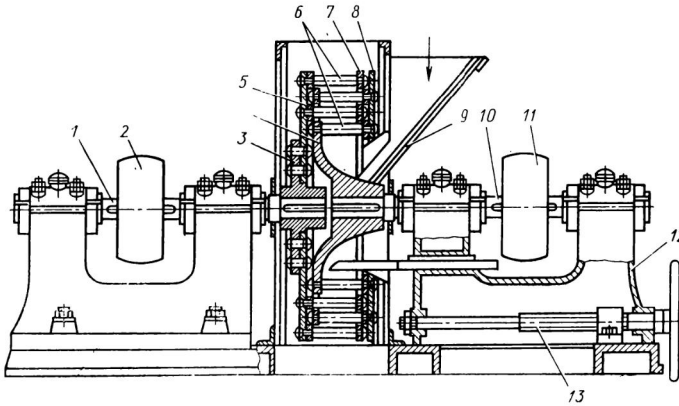


Рис. 2.29. Схема дезінтегратора:

- 1, 10 – вали; 2, 11 – шківи; 3, 4 – маточині пристрої;
5, 8 – диски; 6 – пальці; 7 – кільця; 9 – воронка живлення;
12 – станина; 13 – гвинтовий пристрій



Рис. 2.30. Загальний вид виробничого дезінтегратора

На станині 12 встановлені вали 1 і 10 які мають обертовий рух у різні сторони від індивідуальних двигунів через пасові

передачі і шківів 2 і 11. На валах влаштовані маточини пристрої 3 і 4 на яких вмонтовані диски 5 і 8. До дисків прикріплені по концентричним кругам пальці 6. Вільні кінці пальців з'єднані між собою кільцями 7. Матеріал по воронці живлення 9 надходить в зону обертання пальців, де підлягає багатократним ударам, внаслідок чого подрібнюється. Готовий продукт виходить через вивантажувальний отвір.

В табл. 2.13 приведена технічна характеристика дезінтеграторів.

Таблиця 2.13

Технічна характеристика дезінтеграторів

Характеристика	ДПС-200	ДПС-300	ДПС-400	ДМ-3
Продуктивність, т/год.	до 1	до 2	до 3	до 7
Тонкість помелу, мкм	20-200	20-200	20-200	40-200
Потужність двигунів, кВт	2×4	2×7,5	2×10	2×18,5
Оберти дисків, об/хв.	3000	3000	3000	до 3000
Діаметр дисків, мм	450	450	450	≥600
Кількість пальців (бил)	80	80	80	залежить від комплектації

Вібраційні млини. Вібраційні млини здійснюють тонкий та надтонкий помел матеріалів за рахунок високоінтенсивних вібрацій та ударів. Вони можуть працювати у періодичному та безперервному режимах. Їх застосовують для сухого і мокрого подрібнення. Подрібнений продукт вібраційних млинів більш однорідний за крупністю ніж барабанних млинів.

Вібраційний млин (рис. 2.31 і 2.32) складається із корпусу 1, в якому на підшипниках 3 встановлено дебалансний вал 2. Він двигуном 4 приводиться в обертовий рух. Корпус млина опирається на пружини 5. При обертанні валу корпус млина з

завантаженими мелючими тілами й матеріалом вібрує з великою частотою. Внаслідок цього мелючі тіла інтенсивно діють на матеріал і подрібнюють його.

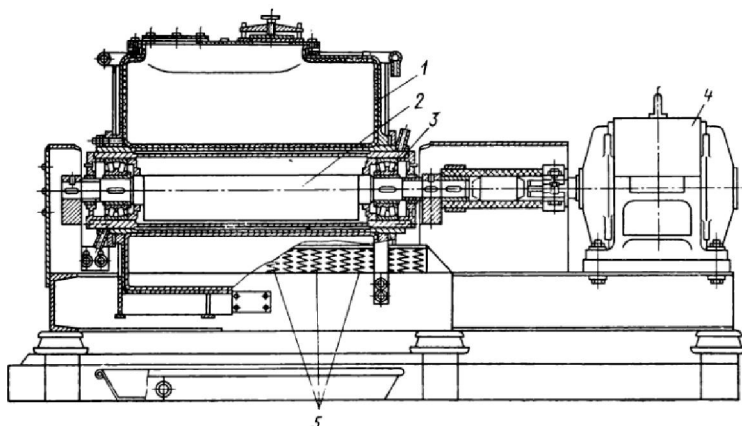


Рис. 2.31. Вібраційний млин:

1 – корпус; 2 – дебалансний вал; 3 – опорні підшипники;
4 – електродвигун; 5 – пружини



Рис. 2.32. Загальний вид високоенергетичного лабораторного вібраційного млина 80 мл VQ-N

При роботі вібромлина виділяється багато тепла, внаслідок чого корпус і матеріал можуть нагріватись до

температури 300 °С. Із збільшенням тонини помелу нагрівання млина суттєво збільшується, а продуктивність різко зменшується. Для пониження температури нагріву барабан вібраційного млина охолоджують водою.

Промислові вібромлини мають продуктивність 1-15 т/год., максимальний розмір вхідних фракцій ≤ 50 мм, – вихідних до 0,04-0,06 мм, об'єм камер 200-1500 л, частота коливань 600-1200 хв.⁻¹, амплітуда коливань 5-12 мм.

Струминні млини. Коли звичайні механічні млини не справляються з вимогами до чистоти або надтонкості порошку (наприклад для виробництва високоактивного цементу, пігментів для фарб та бетону, наповнювачів для сухих сумішей) застосовують струминні млини.

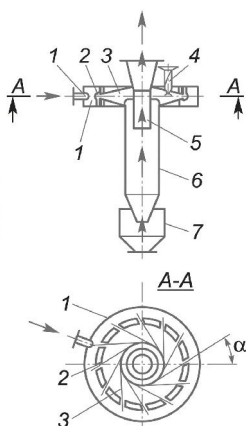


Рис. 2.33. Схема струминного млина з плоскою помельною камерою:

1 – колектор; 2 – сопла; 3 – помельна камера; 4 – інжектор; 5 – вихлопна труба; 6 – осаджувана труба; 7 – приймач

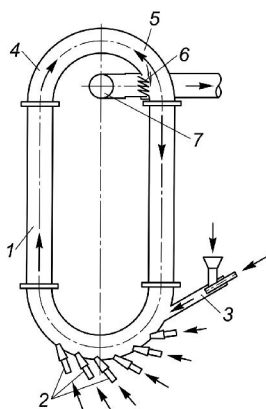


Рис. 2.34. Схема струминного млина з трубчастою помельною камерою:

1 – трубний контур; 2 – сопла; 3 – інжектор; 4, 5 – коліна труби; 6 – жалюзійний пилорозділювач; 7 – вихлопна труба

В струминних млинах (рис. 2.33 і 2.34) енергія, яка необхідна для подрібнення матеріалу, надається струминою енергоносія (повітря, перегрітого пару, інертного газу), який

надходить із сопел з звуковими і надзвуковими швидкостями. Струминні млини бувають з плоскою і трубчатою камерами.

В млині з плоскою помельною камерою (рис. 2.33) енергоносієй з розподільчого колектору 1 через сопла 2 окремими струминами надходить в помельнорозподільну камеру 3. Осі сопел розташовані під кутом α відносно відповідних радіусів камери, внаслідок чого струмини газу перетинаються, утворюючи навколо вертикальної осі камери багатокутник, який обертається зі швидкістю 100-150 м/с. Матеріал на подрібнення подається інжектором 4, захоплюється струминами газу, отримує прискорення і подрібнюється за рахунок багатократних ударів і стирання його часток в точках перетину струмин. Після зменшення розмірів і маси, часточки матеріалу відчувають менший вплив відцентрової сили. і подрібнившись до певного розміру, надходять разом з газовим потоком в кільцеву щілину між трубами 5 і 6. і осідають в приймач 7.

Млин з вертикальною трубчатою помельною камерою (рис. 2.34), являє собою замкнутий трубчатий контур 1, в нижню частину якого через систему сопел 2 подається енергоносієй. Сопла попарно встановлені таким чином, щоб кожна пара струмин перетиналися у вертикальній площині на деякій відстані від протилежної стінки труби. Матеріал на подрібнення надходить через інжектор 3. Матеріал енергоносієм переміщується по трубчатому контуру. Проходячи через коліна 4 і 5 крупні часточки за рахунок відцентрової сили відхиляються від жалюзійного пилорозділювача 6 й переміщуються далі по трубчатому контурі. Дрібні часточки енергоносієм через пилорозділювач надходять у вихлопну трубу 7.

На рис. 2.35 показана схема протитокового ежекторного млина а на рис. 2.36 приведено загальний вид струминних промислових млинів. Матеріал в про тикових млинах з бункера 2 надходить в розгінні трубки 4 і 9 і підхоплюючись стисненим повітрям виносяться у помольну камеру 5. Внутрішня поверхня помельної камери покрита футеровочними елементами 8. Матеріал подрібнюється внаслідок ударів частинок, що знаходяться у зустрічних вихрових потоках між собою та об

стілки помольної камери. Відпрацьований енергоносій виносить готовий продукт помелу по відвідній трубі 6 в сепаратор.

Загальний вид струминних промислових млинів показано на рис. 2.36.

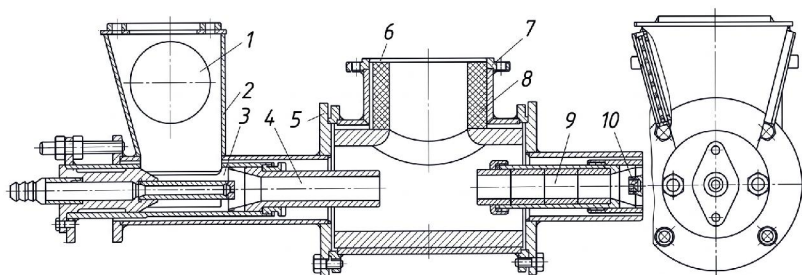


Рис. 2.35. Протитоковий ежекторний млин:

1 – люки для регулювання сопел; 2 – бункер; 3, 10 – підвідні труби; 4, 9 – розгінні трубки; 5 – помельна камера; 6 – відвідна труба; 7 – фланець для прикріплення сепаратора; 8 – покриття внутрішньої поверхні камери футеровочними елементами

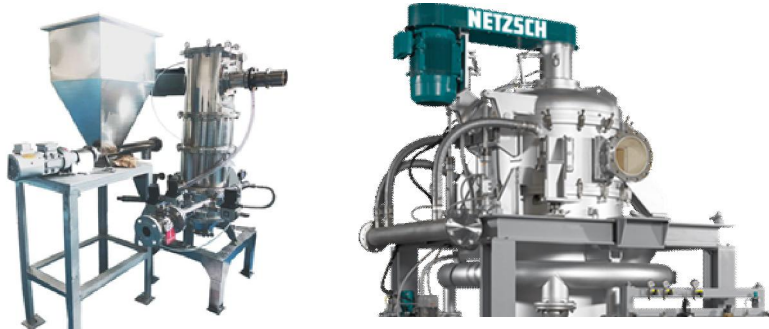


Рис. 2.36. Загальний вид струминних промислових млинів

Стиснене повітря (енергоносій) подається в підвідні труби 3 і 10 компресором під тиском $(4-8) \times 10^5$ Па. Швидкість руху енергоносія на виході із сопел становить 200-400 м/с. Затрати енергії для отримання вихідного продукту в струминних млинах складають 350-380 МДж/т.

Технічна характеристика струминних млинів приведена в табл.. 2.14.

Таблиця 2.14

Технічна характеристика струминних млинів

Моделі тип	Максимальний розмір подачі, мм	Продуктивність, кг/год.	Тонкість помелу, мкм	Робочий тиск повітря, МПа
MQW06	<3	10-150	3-45	0,6-1,0
MQW20		40-600		
MQW40		200-1200		
MQW60		500-2000		
MQW120		1500-6000		

Контрольні питання

1. Яке обладнання використовують для помелу матеріалів?
2. Як поділяють млини за конструкцією?
3. Як класифікують барабанні млини?
4. Назвіть основні конструктивні елементи барабанного млина періодичної дії.
5. Поясніть роботу барабанного млина періодичної дії.
6. Які мелючі тіла використовують у барабанному млині?
7. Назвіть режими роботи барабанного млина в залежності від траєкторії руху куль.
8. Які мелючі тіла використовують для грубого, і які – для тонкого помелу матеріалу?
9. Назвіть основні елементи барабанного млина безперервної дії.
10. Поясніть роботу барабанного млина безперервної дії.
11. Назвіть характерні особливості стержневих млинів.
12. Поясніть формулу продуктивності млина.
13. Поясніть із яких умов визначають швидкість обертання барабану кульового млина.
14. Назвіть основні технічні характеристики барабанних млинів.

15. Назвіть основні особливості роботи молоткових млинів.

16. Поясніть роботу шахтного млина.

17. Поясніть роботу аеробильного млина.

18. Назвіть основні технічні характеристики молоткових млинів.

19. Назвіть основні конструктивні елементи дезінтегратора.

20. Поясніть роботу дезінтегратора.

21. Назвіть основні технічні характеристики дезінтеграторів.

22. Назвіть основні конструктивні елементи вібраційного млина.

23. Поясніть роботу вібраційного млина.

24. Назвіть основні конструктивні елементи струминного млина з плоскою помольною камерою.

25. Поясніть роботу струминного млина.

26. Назвіть основні технічні характеристики струминних млинів.

3. СУЧАСНІ ТИПИ АПАРАТІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Сучасні типи дробарок для подрібнення будівельних матеріалів

У сучасних умовах розвитку галузі особливої актуальності набувають питання зниження енерговитрат, раціонального використання природних ресурсів і мінімізації негативного впливу на довкілля, що безпосередньо пов'язано з удосконаленням процесів подрібнення.

Сучасне обладнання для подрібнення матеріалів розробляється з урахуванням принципів енергоефективності та екологічної безпеки. Використання високопродуктивних машин, оптимізація режимів їх роботи, впровадження замкнених технологічних схем, а також зменшення пиловиділення і шумового навантаження дозволяють істотно знизити енергоспоживання та техногенний вплив на навколишнє середовище.

Різноманітність конструкцій і принципів дії сучасних подрібнювальних машин забезпечує можливість їх раціонального вибору відповідно до властивостей сировини та вимог технології. Узагальнення сучасних технічних рішень з урахуванням енергетичних і екологічних критеріїв є важливою складовою підготовки фахівців для будівельної галузі.

Відцентрово-ударні дробарки. Цей вид дробарок (рис. 3.1 і 3.2) використовується для подрібнення та грануляції твердих абразивних матеріалів (граніт, базальт, руди) шляхом удару частинок об відбійні плити або інший матеріал, що забезпечує отримання кубоподібного щебеню (до 99-95% кубоподібної форми). Принцип «вільного удару» та висока швидкість ротора (VSI) дозволяють ефективно переробляти високоміцну сировину. Належать до дробарок дрібного подрібнення. Вони приймають матеріал з вхідним розміром до 180 мм. Крупність готового продукту визначається первинними характеристиками матеріалу (міцністю, тріщинуватістю) і

швидкістю зіткнення шматків матеріалу (швидкістю вильоту шматків з прискорювача).

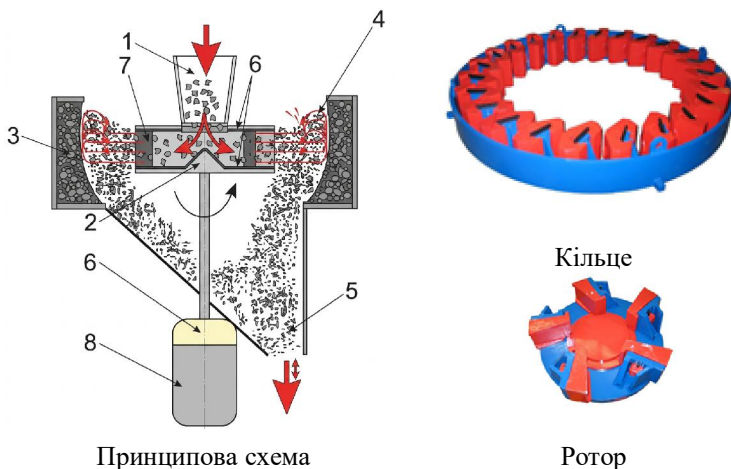


Рис. 3.1. Принципова схема та основні елементи ударно-відцентрової дробарки з вертикальним валом МЕКА MVI 70:

1 – живильний патрубок; 2 – прискорювач для розгону шматків матеріалу (ротор); 3 – кишені футеровки кільця; 4 – процес подрібнення розігнаного матеріалу; 5 – розвантаження отриманого продукту; 6 – швидкозношувальні елементи прискорювача; 7 – кінцева лопатка 8 – електродвигун

Основна відмінність цих дробарок від інших апаратів ударної дії полягає в тому, що акт подрібнення практично повністю переміщений з крутного робочого органу на периферичну відбивну поверхню. Ротор при цьому виконує тільки розгінну функцію для матеріалу, що подається на відбивну поверхню.

Принцип дії відцентрово-ударної дробарки ґрунтується на розгоні в полі дії відцентрових сил шматків матеріалу, прискоренні їх вильоту в камеру подрібнення з великою швидкістю, що істотно перевищує критичну швидкість руйнування матеріалу, де відбувається удар розігнаних шматків об шматки матеріалу в кишенях камери подрібнення, що утворюють футеровку дробарки. При ударі «камінь об камінь»

або «вільному ударі» відбувається руйнування шматків на дрібніші часточки.

На схемі (рис. 3.1) показано принцип роботи дробарки. Матеріал подається зверху конвеєром в завантажувальний отвір 1, звідки падає в прискорювач 2. Падіння шматків матеріалу на конус прискорювача переводить шматки в горизонтальний рух. Прискорювач обертається двигуном 8 і створює відцентрову силу, що діє на шматки матеріалу, які пройшовши по каналах прискорювача вилітають в камеру подрібнення. По периферії камери подрібнення зроблені кишені 3, в яких залягають шматки цього ж матеріалу, але менших розмірів, вони створюють «постіль» самофутеровки, об яку вдаряються шматки матеріалу 4, що вилетіли з прискорювача. Відбувається зіткнення каменів (грудок) і їх руйнування. Подрібнений матеріал 5 під дією сили тяжіння падає вниз і вивантажується. Для забезпечення достатнього ресурсу прискорювача 2 його канали захищаються матеріалами, які можна замінювати в міру їх зносу.

Технічна характеристика ударно-відцентрових дробарок фірми МЕКА MVI приведена в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Технічна характеристика ударно-відцентрових дробарок фірми МЕКА MVI

Показник	MVI 70	MVI 70	MVI 70
Максимальний розмір фракцій, мм	38	38	38
Розмір ротора, мм	700	800	900
Продуктивність, т/год.	150	200	300
Потужність електродвигуна, кВт	2×110	2×160	2×200
Частота обертання ротора, об/хв.	1500	1500	1500
Маса, кг	1000	1200	1400

Загальний вид ударно-відцентрової дробарки наведено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Загальний вид і розріз ударно-відцентрової дробарки з вертикальним валом МЕКА MVI 70

Гіраційні дробарки. Це дробарки третього покоління, які розроблені фірмою Metso Outotec Superior (рис. 3.3). Вони поєднують високу продуктивність, ефективне первинне подрібнення матеріалу та рівномірний розмір продукту, надійність та простоту обслуговування. Їх принцип дії полягає у безперервному стисканні та роздавлюванні великих шматків матеріалу між нерухомою зовнішньою оболонкою та рухомих конусом, що здійснює ексцентричні коливальні рухи.



Рис. 3.3. Загальний вид і розріз первинної гіраційної дробарки Metso Superior MKIII

Технічна характеристика гіраційних дробарок Metso Superior MKIII приведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Технічна характеристика гіраційних дробарок Metso Superior
МКІІІ

Показник	МКІІІ 42-65	МКІІІ 54-75	МКІІІ 60-89	МКІІІ 60-100	МКІІІ 62-75
Діаметр верхнього приймального отвору, дюйми	42	54	60	60	62
Діаметр нижньої частини камери дроблення, дюйми	65	75	89	110	75
Максимальний розмір шматка який можна завантажувати в дробарку, мм	1066	1370	1525	1525	1575
Потужність електродвигуна, кВт	450	600	750	1500	600
Продуктивність, т/год.	5250	7500	12500	17000	8750
Маса, т	120	242	365	553	298

Первинна гіраційна дробарка Metso Superior МКІІІ 54-75 (рис. 3.3) має ряд нових удосконалень, які підвищують оберти, покращують механічні характеристики, що дозволяє підвищити встановлену продуктивність на 30%. На дробарках встановлені нові комплекти барабанів та футеровок чаші. Ці покращення дозволяють скоротити кількість простоїв на 70%. Їх використовують на першій стадії подрібнення гірської породи.

Валкові дробарки нового типу. Сучасні валкові дробарки нового типу – це високопродуктивні машини (до 1000 т/год.) для первинного, вторинного та третинного дроблення твердих, абразивних матеріалів і шлаків. Вони оснащені зносостійкими зубами, регульованим проміжком між валками, забезпечують мінімум пилу та ефективно обробляють сировину, схильну до налипання.

Основні характеристики та переваги:

– висока зносостійкість: Робочі поверхні (бандажі)

виготовляються з термообробленої сталі, іноді з наплавленням твердим сплавом;

- ідеальні для руд, шлаків феросплавного/алюмінієвого виробництва, шамоту, скла, вугілля та глини.

- можливість точного налаштування проміжку між валками для отримання потрібної крупності (наприклад, 1-2 мм).

- залежно від діаметра (300-1000 мм) та ширини (200-800 мм) валків, продуктивність досягає високих показників, наприклад до 1000 т/год.

Спеціалізовані рішення: дезинтеграторні вальці для глин, де один валок швидкісний, а інший – гладкий великого діаметру.

Застосування:

- гірничо-промисловість: дроблення руд (залізна, марганцева);

- виробництво будматеріалів: керамзитові заводи, дроблення глини та цегли;

- переробка відходів: шлаки, бите скло, будівельні відходи.

Сучасні моделі також часто оснащуються віброживильниками для рівномірної подачі матеріалу, що підвищує ефективність роботи.

Дробарка валкова дискова серії PL 400. Дробарки валкові (дискові) серії PL 400 (рис. 3.4) відносяться до типу дискових дробарок і являють собою два валка з насадженими дискам. Валки обертаються назустріч один одному. Дробарка валкова призначена для попереднього подрібнення кускових матеріалів низької і середньої міцності (наприклад: кокс, вугілля, крейда, глинистий сланець, каолін, глини, бентоніти). Дробарка добре працює з глинистими матеріалами з високою вологістю – за рахунок регулювання можна досягти такої швидкості обертання валів, при якій шматки матеріалу будуть відставати під дією центробіжної сили, тим самим виключивши налипання матеріалу на вали дробарки (як було з класичними глинорозривачами). Така дробарка також незамінна при роботі з сухим кусковим матеріалом, який важко подрібнити в звичайних валкових дробарках.

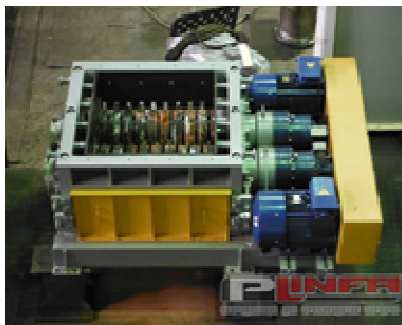


Рис. 3.4. Загальний вид і вид зверху валкових дробарок серії PL 400

Зменшення розміру матеріалу відбувається шляхом зтягування його між обертовими назустріч валками оснащеними цільними зубчастими дисками і подрібненням за рахунок стиснення між валками і дроблення дисками. Відстань між валками дробарки – регульоване. Конструкція валків дробарки дозволяє індивідуально замінювати зношені зубчасті диски. Зубці на валах розташовані спірально, що перешкоджає зависання матеріалу і забезпечує зтягування і дроблення всіх шматків матеріалу. Привод дробарок серії PL400 оснащено планетарними редукторами, які перешкоджають виникненню напруг обертання при виникненні навантажень, коли між валками потрапляють особливо тверді шматки матеріалу.

Технічна характеристика валкових дробарок серії PL 400 приведено в табл. 3.3.

Дробарки з дезінтеграторними вальцями серії PL 601. Дезінтеграторні вальці PL 601 є новою серією вальців, розробленої і що випускається заводом «Плінфі».

Конструктивно нові дробарки (рис. 3.5) успадкували головні вузли попередників: гладкий валок в парі з ребристим, лоток для збору каменів, привід гладкого валка – мотор-редуктор, ребристий валок закріплений на рамі нерухомо, гладкий валок пересувний. Але мають ряд особливостей і переваг:

Таблиця 3.3

Технічна характеристика валкових дробарок серії PL 400

Показник	PL 443	PL 454
Розрахункова продуктивність (при зазорі 100 мм), т/год.	50	100
Діаметр валка (фрези), мм	430	544
Довжина валка, мм	925	1025
Робочий зазор між валками, мм	5÷105	5÷105
Встановлена потужність, кВт	2×37	2×55
Маса, кг	6350	7000
Габаритні розміри, мм		
– довжина	2053	2 737
– ширина	2505	2 614
– висота	955	1 035
Напруга живлення/частота струму, В/Гц	380/50	380/50

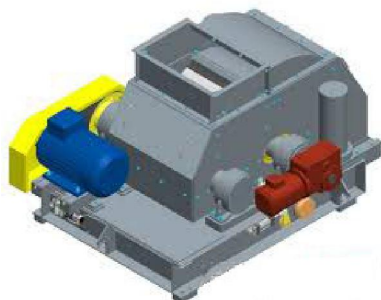


Рис. 3.5. Загальний вид валкових дробарок серії PL 600

– гладкий валок може відходити до 30 мм при попаданні в вальці недробимих (як правило металевих) включень. При цьому відбувається автоматичне відключення вальців;

– ребристий валок складається з бандажа, на поверхні якого встановлені 16 ребер з зносостійкого сталі. Ребра до бандажу кріпляться спеціальними болтами;

– для захисту бандажа проміжки між ребрами закриваються зносостійкими пластинами;

– усі вузли і привід встановлені на єдиній рамі;

– застосована оригінальна система підтискання гладкого валка – вертикальної пружиною через систему важелів;

– вальці PL 601 комплектуються гладким валком з бандажем з інструментальної сталі товщиною 100 мм з об'ємною загартовуванням;

– підтримка геометрії бандажа здійснюється за допомогою напівавтоматичного проточного пристрою, встановленого стаціонарно на рамі вальців. Проточне пристрій аналогічно за своїми характеристиками пристрою, що встановлюється на вальцях УСМ 40;

– очищення гладкого бандажа від налипає глини здійснюється за допомогою скребка з пневматичним потиском. Зусилля підтискання регулюється і дозволяє завжди досягати високого ступеня очищення бандажа.

Привід гладкого (тихохідного валка) оснащується мотор-редуктором «Sew Eurodrive» / «Lenze» (Німеччина). Шафа управління вальців укомплектований сучасної електрикою французької фірми «Schneider Electric» і легко включається в загальну систему управління заводу або ділянки.

Технічна характеристика валкових дробарок серії PL 600 приведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Технічна характеристика валкових дробарок серії PL 400

Показник	PL 601-08	PL 601-10
Продуктивність, т/год.	40	60
Діаметр валка, мм		
– гладкого	800	800
– гладкої части ребристого	450	560
Довжина валка, мм	800	1000
Кількість ребер, шт.	16	16
Встановлена потужність кВт		
– ребристого валка	45,0	55,0
– гладкого валка	5,5	7,5
Маса, кг	7000	9000
Габаритні розміри, мм		
– довжина	2575	3200
– ширина	1940	1975
– висота	1400	1400
Напруга /частота струму, В/Гц	380/50	380/50

Дробарки з фінішними вальцями КРОК 45. Щоб не допустити влучення великих шматків (більше 1,0 мм) в шихту були розроблені дробарки (рис. 3.6) з фінішними вальцями КРОК 45 із зусиллям підтискання валків (120 тонн), встановлених на незалежній підвісці. Управління системами вальців автоматичне. Окремо варто відзначити систему підтискання валків за допомогою пневматичних циліндрів. Така конструкція дозволяє здійснити відхід валка в будь-якому положенні при попаданні недробімих включень до 40мм.

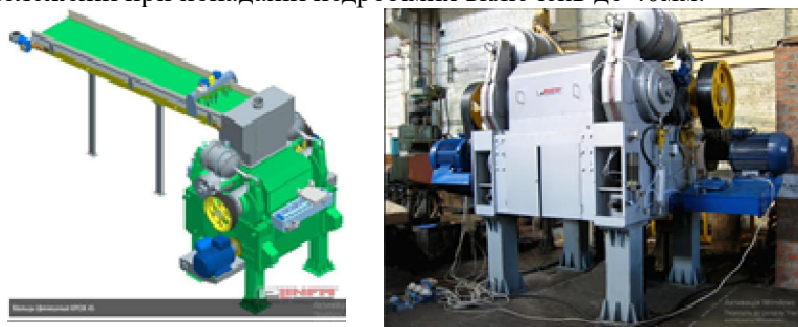


Рис. 3.6. Схема і зовнішній вид валкової дробарки з фінішними вальцями КРОК 45

Основні технічні особливості:

- опори рухомого валка незалежні;
- за рахунок використання пневматичних, а не гідравлічних циліндрів, валки відходять в найкоротші терміни, тому що газ має властивості швидко зменшуватися в об'ємі під впливом зовнішніх зусиль, що охороняє підшипники від руйнування. Вперше передбачений односторонній і двосторонній відхід валка до 40 мм;

- установка зазору між бандажами автоматична. Зазор встановлюється шляхом зведення до нуля зазору між валками, а далі в автоматичному режимі валки розлучаються до потрібного розміру. Незалежна конструкція опор додатково дозволяє встановити рівний зазор по всій поверхні бандажа, не беручи до уваги помилки або інші неточності при проточці бандажів і втрати їх правильної циліндричної форми;

– застосовано нове конструктивне рішення кріплення опор підшипників;

– вальці оснащуються скребками з пневматичним підтисненням. Для зручності заміни скребків, розроблена система відводу скребків за корпус вальців. Вальці можуть комплектуватися спеціальною системою очищення бандажів для глин з великим числом пластичності;

– застосована оригінальна конструкція валків, яка дозволяє при заміні бандажів не знімати підшипники з валу, тим самим, виключаючи можливі перекоси при установці і вихід підшипників з ладу;

– вальці комплектуються крім проточних пристроїв також конвеєром з розподільником маси, який рівномірно розподіляє масу по всій площі бандажа, тим самим знижуючи вироблення бандажів по центру;

– система змащення підшипників автоматична централізована циркуляційно-примусова – маслом.

Технічна характеристика валкових дробарок з фінішними вальцями КРОК 45 приведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Технічна характеристика валкових дробарок з фінішними вальцями КРОК 45

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	50
Діаметр/Довжина валка, мм	800/1000
Товщина бандажа, мм	120
Робочий зазор між валками, мм	0.8
Встановлена потужність, кВт	132
Зусилля стиску, т	120
Маса, кг	2500
Габаритні розміри, мм	
– довжина	3 111
– ширина	4 692
– висота	2 415

Миючі дробарки – це спеціалізоване обладнання, що призначене для очищення та підготовка щебеню чи піску перед подальшою переробкою. Вони оснащені системами подачі води та зносостійкими компонентами для попереднього відмивання від забруднень. Це призводить до підвищення якості кінцевого продукту, зменшення кількості відходів, ефективності у виробництві будівельних матеріалів. Сфери застосування: кар'єри, цементні заводи, виробництво бетону, гірничо-збагачувальні комбінати.

Контрольні питання

1. Яке призначення мають відцентрово-ударні дробарки?
2. На чому ґрунтується принцип дії відцентрово-ударних дробарок?
3. Назвіть основні конструктивні елементи відцентрово-ударних дробарок.
4. Поясніть роботу відцентрово-ударних дробарок.
5. Назвіть основні технічні характеристики відцентрово-ударних дробарок.
6. Яке призначення мають граційні дробарки?
7. На чому ґрунтується принцип дії граційних дробарок?
8. Назвіть основні конструктивні елементи граційних дробарок.
9. Поясніть роботу граційних дробарок.
10. Назвіть основні технічні характеристики граційних дробарок.
11. Яке призначення мають валкові дробарки нового типу?
12. На чому ґрунтується принцип дії валкових дробарок нового типу?
13. Назвіть основні конструктивні елементи валкових дробарок нового типу.
14. Поясніть роботу валкових дробарок нового типу.
15. Назвіть основні технічні характеристики валкових дробарок нового типу?
16. Яке призначення мають дробарки з дезінтеграторними вальцями?

17. На чому ґрунтується принцип дії дробарок з дезінтеграторними вальцями?

18. Назвіть основні конструктивні елементи дробарок з дезінтеграторними вальцями.

19. Поясніть роботу дробарок з дезінтеграторними вальцями?.

20. Назвіть основні технічні характеристики дробарок з дезінтеграторними вальцями.

21. Яке призначення мають дробарки з фінішними вальцями?

22. На чому ґрунтується принцип дії дробарок з фінішними вальцями?

23. Назвіть основні конструктивні елементи дробарок з фінішними вальцями.

24. Поясніть роботу дробарок з фінішними вальцями.

25. Назвіть основні технічні характеристики дробарок з фінішними вальцями.

3.2. Мобільні та модульні дробильні установки

Це сучасне рішення для переробки будівельних матеріалів та гірських порід. В Україні доступні моделі від Metso, Fabo, Constmach та інших виробників, які відрізняються продуктивністю, типом дробарки (щогова, конусна, роторна) та рівнем мобільності.

Ці установки повністю змонтовані на шасі, легко транспортуються, швидко переміщуються між об'єктами, що забезпечує їм мобільність.

В табл. 3.6 наведено основні типи мобільних та модульних дробильних установок.

Модульність установок характеризується наступним:

- вони складаються з окремих блоків (щогова дробарка, конусна дробарка, грохот, живильник);
- модульні системи легко адаптуються під різні матеріали;
- можлива їх швидка модернізація;

- досягається значна економія часу та коштів за рахунок зменшення витрат на транспортування матеріалів;
- переробка будівельного матеріалу на місці покращує екологічні умови навколишнього середовища.

Таблиця 3.6

Типи мобільних та модульних дробильних установок

Модель	Тип установка	Продуктивність, т/год.	Особливості
Metso Lokotrack	Живильник+щогова/конусна дробарки+транспортер	100-250	Мобільна, для подрібнення будівельного матеріалу, висока надійність, автоматизація
Fabo FULLSTAR	Живильник+щогова+роторна дробарки+транспортер+віброгрохот+коритна мийка	90-110	
Constmach JC-100	Щогова дробарка+живильник+транспортер	100	
DCS-40 Україна	Живильник+дизельна щогова дробарка+транспортер	40	

Мобільна модульна щогова дробарка Lokotrack LT106 використовується як первинна дробарка в процесі багатоступінчастого дроблення або в якості автономної установки. Вона ідеально підходить для виробництва заповнювачів середнього розміру а також для утилізації відходів, призначених для зносу, таких як бетон для дроблення, які можуть бути повторно використані в якості основного матеріалу, наприклад, для тротуарів.

Загальний вид мобільної щоквої дробарки Lokotrack LT106 показано на рис. 3.7 а технічна характеристика в табл.3.7.



Рис. 3.7. Загальний вид мобільної щоквої дробарки Lokotrack LT106

Таблиця 3.7

Технічна характеристика мобільної щоквої дробарки Lokotrack LT106

Показники	Значення
Подрібнювальна установка (щоква)	Norberg C106
Продуктивність, т/год.	500-560
Отвор подачі	1060 x 700 мм
Максимальний розмір шматка, мм	560
Робоча швидкість, об/хв.	280
Двигун, кВт	224
Маса, кг	15650

Мобільна конусна дробарка Lokotrack LT200HP призначена для вторинного дроблення. Гусеничний Lokotrack LT200HP ідеально підходить для виробництва заповнювачів для дорожнього будівництва і залізничного баласту, а також для асфальтобетонних і бетонних фракцій.

Загальний вид мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP показано на рис. 3.8 а технічна характеристика в табл. 3.8.



Рис. 3.8. Загальний вид мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP

Таблиця 3.8
Технічна характеристика мобільної конусної дробарки Lokotrack LT 200HP

Показники	Значення
Подрібнювальна установка (конусна)	Norberg HP 200
Продуктивність, т/год.	від 80 до 250
Отвор подачі, мм	185
Максимальний розмір шматка, мм	200-215
Двигун CAT, кВт	310
Маса, кг	32000

Мобільна модульна установка Fabo FULLSTAR – це високопродуктивний комплекс на єдиному колісному шасі, призначений для подрібнення, сортування та миття кам'яних матеріалів. Вона поєднує шоківу та роторну дробарки, вібраційний грохот та коритну мийку, забезпечуючи отримання

чистих фракцій щебеню та піску (рис. 3.9-3.11). Технічна характеристика мобільних модульних установок Fabo FULLSTAR приведено в табл. 3.9.



Рис. 3.9. Загальний вид мобільної модульної установки Fabo FULLSTAR



Рис. 3.10. Транспортування мобільної модульної установки Fabo FULLSTAR

**Технічна характеристика мобільних модульних установок
Fabo FULLSTAR**

Модель	FULLST AR-60	FULLST AR-90	FULLST AR-110
Продуктивність, т/год.	60-100	90-180	110-300
Максимальний розмір шматка породи, мм	380	600	800
Щокова дробарка, мм	600×400	900×450	1100×850
Роторна дробарка, мм	1500×650	1120×650	1250×1500
Розмір грохоту, мм	1300×4000	1700×4500	2200×5000
Розмір коритної мийки, мм	500×5000	600×5000	800×8000
Потужність, кВт	232	340	560



Рис. 3.11. Мобільна модульна установка Fabo FULLSTAR у робочому стані

Мобільна модульна установка CONSTMACH JC-1.
Установка CONSTMACH JC-1 призначена для подрібнення

твердих порід з високою абразивністю і вмістом кремнезему (SiO_2), таких як граніт, базальт, габро (рис. 2.10 і 2.11). Вона оснащена подвійним шасі і є комбінацією з:

до гідравлічного мобільного шасі 1 входять:

- завантажувальний бункер з вібраційним живильником;
- первинна щоква дробарка CJC-60;
- обхідний конвеєр (для вилучення ґрунту);
- стрічковий конвеєр, який подає матеріал від щоквої дробарки в бункер конусної дробарки;
- колісне мобільне шасі з гідравлічними опорами;
- система автоматизації.

до гідравлічного шасі 2 входять:

- завантажувальний бункер конусної дробарки;
- конусна дробарка, METSO HP 100;
- вібраційний грохот з 3 ситами;
- конвеєр зворотного зв'язку від вібростата до бункеру конусної дробарки;
- система видалення пилу;
- дизельна електрогенераторна установка.

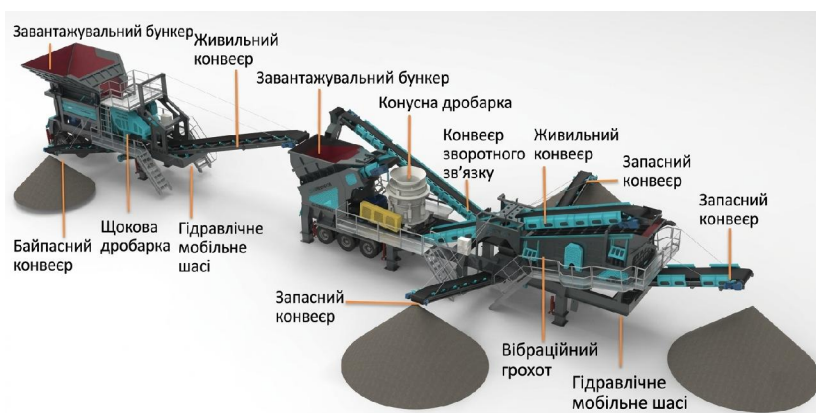


Рис. 3.12. Загальний вид мобільної модульної установки CONSTMACH JC-1.



Рис. 3.13. Мобільна модульна установка CONSTMACH JC-1 у робочому стані

Технічна характеристика мобільної модульної дробильної установки CONSTMACH JC-1 приведена в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Технічна характеристика мобільної модульної дробильної установки CONSTMACH JC-1

Показники	Значення
Продуктивність, т/год.	60-80
Максимальний розмір завантаження, мм	610×380
Потужність двигуна, кВт	200
Габаритні розміри, м:	
– довжина	10
– ширина	3,1
– висота	4,4
Маса, т	60

Мобільна модульна дробильна установка CS-40. В Україні цей вид дробильної установки зазвичай представлений як малогабаритне обладнання для подрібнення матеріалів що забезпечує високу мобільність та ефективність на будівельних майданчиках (рис. 3.14-3.15).



Рис. 3.14. Мобільна модульна дробильна установка CS-40



Рис. 3.15. Мобільна дробильна установка CS-40 у робочому стані

Матеріал для подрібнення подається навантажувачем у завантажувальну лійку. Завантажувальний бункер забезпечений живильником з вібратором. Далі матеріал надходить у дробарку. Подрібнений матеріал стрічковим конвеєром складається або подаються на транспортер.

Особливості установки CS-40:

- модульність — швидкий монтаж і демонтаж, зручність транспортування;
- мобільність — можливість роботи безпосередньо на кар'єрі;

- гнучкість — налаштування під різні типи породи та необхідні фракції;
- енергоефективність — оптимізовані режими подрібнення з мінімізацією витрат енергії.

Технічна характеристика мобільної модульної дробильної установки CS-40 приведена в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Технічна характеристика мобільної модульної дробильної установки CS-40

Показники	Значення
Продуктивність, т/год.	40
Розміри хідного отвіру, мм	700×500
Розміри вихідного отвору, мм	50×100
Максимальний розмір шматка вхідного матеріалу, мм	500×400
Ширина стрічкового конвеєра, мм	650
Швидкість стрічки конвеєра, м/с	1
Швидкість обертів маховика, об/хв.	290
Потужність електродвигуна, кВт	37
Загальна маса, кг	12400

Контрольні питання

1. Яке призначення має мобільна модульна шокова дробарка Lokotrack LT106?
2. На чому ґрунтується принцип дії мобільної модульної шокової дробарки Lokotrack LT106?
3. Назвіть основні конструктивні елементи мобільної модульної шокової дробарки Lokotrack LT106.
4. Поясніть роботу мобільної модульної шокової дробарки Lokotrack LT106.
5. Назвіть основні технічні характеристики мобільної модульної шокової дробарки Lokotrack LT106.
6. Яке призначення має мобільна конусна дробарка Lokotrack LT200HP?
7. На чому ґрунтується принцип дії мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP?
8. Назвіть основні конструктивні елементи мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP.

9. Поясніть роботу мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP.

10. Назвіть основні технічні характеристики мобільної конусної дробарки Lokotrack LT200HP.

11. Яке призначення має мобільна модульна установка Fabo FULLSTAR?

12. На чому ґрунтується принцип дії мобільної модульної установка Fabo FULLSTAR?

13. Назвіть основні конструктивні елементи мобільної модульної установка Fabo FULLSTAR.

14. Поясніть роботу мобільної модульної установка Fabo FULLSTAR.

15. Назвіть основні технічні характеристики мобільної модульної установка Fabo FULLSTAR.

16. Яке призначення має мобільна дробильна установка CONSTMACH JC-1?

17. На чому ґрунтується принцип дії мобільної дробильної установки CONSTMACH JC-1?

18. Назвіть основні конструктивні елементи мобільної дробильної установки CONSTMACH JC-1.

19. Поясніть роботу мобільної модульної установка Fabo FULLSTAR.

20. Назвіть основні технічні характеристики мобільної дробильної установки CONSTMACH JC-1.

21. Яке призначення має мобільна модульна дробильна установка CS-40?

22. На чому ґрунтується принцип дії мобільної модульної дробильної установки CS-40?

23. Назвіть основні конструктивні елементи мобільної модульної дробильної установки CS-40.

24. Поясніть роботу мобільної модульної дробильної установки CS-40.

25. Назвіть основні технічні характеристики мобільної модульної дробильної установки CS-40.

3.3. Апарати для помелу будівельних матеріалів

Вертикальні валкові млини VRM–Vertical Roller Mill.

Ці млини *призначені* для тонкого та надтонкого подрібнення сипких матеріалів у виробництві будівельних матеріалів. Вони застосовуються для помелу клінкеру, цементної сировини, шлаків, вапняку, гіпсу та інших мінеральних компонентів. Млини типу VRM використовуються як у сухому способі виробництва цементу, так і при переробці вторинних матеріалів, забезпечуючи одночасне подрібнення, сушіння та класифікацію продукту.

Принцип роботи вертикального валкового млина базується на поєднанні механічного стискання та зсуву матеріалу. Схема вертикального валкового млина приведена на рис. 3.16.

Матеріал подається у центральну частину обертового помольного столу. Під дією відцентрових сил він переміщується до периферії столу, де потрапляє під валки (ролики), які притискають його до поверхні столу.

Подрібнення відбувається внаслідок:

- стискання шару матеріалу між валком і столом;
- часткового стирання та роздавлювання частинок.

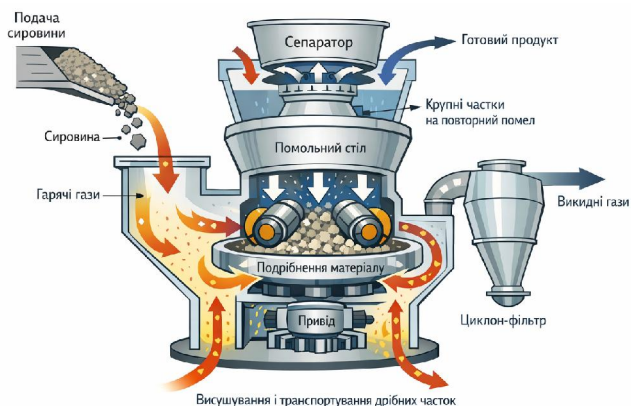


Рис. 3.16. Схема роботи вертикального валкового млина VRM

Гарячий газовий потік, що подається знизу, виконує дві функції:

- підсушує матеріал;
- транспортує дрібнодисперсний продукт до сепаратора.

У вбудованому сепараторі відбувається класифікація:

- готовий продукт виноситься потоком газу;
- крупні частинки повертаються на повторний помел.

Конструктивні особливості. Вертикальний валковий млин має компактну вертикальну компоновку і включає такі основні вузли:

- помольний стіл (горизонтальний диск, що обертається);
- валки (2–6 штук), змонтовані на важелях із гідравлічною системою притиску;
- привід обертання столу (редуктор, електродвигун);
- сепаратор (динамічний або статичний);
- корпус млина з газовим трактом;
- система подачі матеріалу;
- гідравлічна система регулювання тиску валків.

До характерних конструктивних рис належать:

- інтеграція процесів сушіння, подрібнення та класифікації в одному агрегаті;
- можливість регулювання тиску валків і швидкості сепаратора;
- наявність зносостійких футерівок і наплавлених робочих поверхонь;
- ефективна система пило-газоочищення.

Загальний вид вертикального валкового млина (VRM–Vertical Roller Mill) приведено на рис. 3.17.

У порівнянні з кульовими млинами та іншими традиційними апаратами VRM мають суттєві переваги:

Енергетичні переваги:

- зниження енергоспоживання на 20–40 %;
- ефективніше використання енергії за рахунок стискування, а не удару.

Технологічні переваги: поєднання трьох процесів в одному апараті:

- подрібнення,
- сушіння,

– класифікація.



Рис. 3.17. Загальний вид вертикального валкового млина (VRM–Vertical Roller Mill)

Конструктивні та експлуатаційні переваги:

- компактність установки;
- менша кількість допоміжного обладнання;
- зниження зносу мелючих тіл (відсутність куль);
- можливість роботи з вологими матеріалами.

Екологічні переваги:

- менший рівень пиловиділення;
- зниження викидів CO₂ за рахунок меншого енергоспоживання;
- нижчий рівень шуму.

Продуктивність млина може задовольнити виробничі потреби від 1000 до 7000 тон цементного клінкеру на добу.

Валкові преси високого тиску (HPGR — High-Pressure Grinding Rolls). Валкові преси високого тиску (HPGR) є одним із найбільш енергоефективних сучасних апаратів для помелу матеріалів. Їх використання базується на принципі міжчастинкового стиснення, що забезпечує не лише зниження енерговитрат, але й покращення структурних властивостей продукту. Завдяки цьому HPGR поступово витісняють традиційні кульові млини у ряді технологічних схем, особливо в

цементній та гірничорудній промисловості. Схема валкового пресу високого тиску HPGR показана на рис. 3.18.

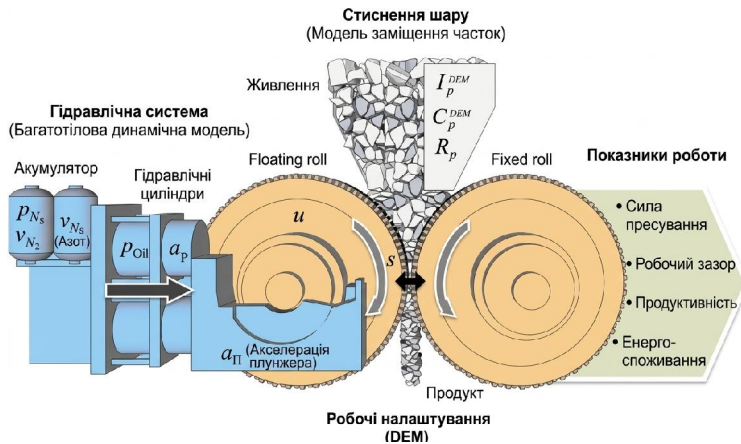


Рис. 3.18. Схема валкового пресу високого тиску HPGR

Суть процесу:

- матеріал подається у зазор між двома валками, що обертаються назустріч один одному;
- один валок — фіксований, інший — рухомий (під дією гідравлічної системи);
- матеріал захоплюється валками і піддається високому тиску (до 100–300 МПа);
- формується ущільнений шар («bed»), у якому частинки руйнуються не тільки від контакту з валками, але і одна з одною;
- після виходу з робочої зони утворюється агломерований продукт (брикет), який легко розпадається.

Основні елементи HPGR:

Два валки:

- діаметр: 0,5–2,0 м;
- ширина: до 2,5 м;
- поверхня має зносостійке покриття (карбід-вольфрамові штифти або сегменти).

Гідравлічна система:

- створює і регулює тиск на рухомий валок;
- забезпечує захист від перевантажень.

Привід валків:

- електродвигуни (часто з редукторами або безредукторні системи);
- можливе індивідуальне керування кожним валком.

Живильний пристрій:

- забезпечує рівномірну подачу матеріалу по ширині валків.

Система захисту та автоматики:

- контроль тиску, газору, навантаження;
- автоматичне розвантаження при попаданні твердих включень.

Суть покращення порівняно з традиційними млинами.

Енергетична ефективність:

- зменшення енерговитрат на 20–50%;
- ефективніше використання енергії за рахунок міжчастинкового руйнування.

Покращення умов помелу:

- утворення мікротріщин у зернах;
- підвищення подрібнюваності у наступних стадіях;
- більш вузький гранулометричний склад.

Зменшення зношування:

- відсутність інтенсивного ударного навантаження (як у кульових млинах);
- знос поверхонь локалізований і контрольований.

Компактність і простота:

- менші габарити порівняно з кульовими млинами;
- простіша компоновка виробничих ліній.

Гнучкість технології – можливість роботи:

- у відкритому циклі;
- у замкненому циклі з сепараторами;
- легка інтегрованість в існуючих схемах.

Технічна характеристика валкового преса високого тиску HPGR приведена у табл. 3.12 а розріз і загальний вид на рис. 3.19 і 3.20.

Таблиця 3.12

Технічна характеристика валкового преса високого тиску HPGR

Показники	Значення
Тиск у зоні подрібнення, МПа	100–300 МПа
Продуктивність, т/год.	50–3000 т/год
Крупність живлення, мм	до 50–80 мм
Крупність продукту, мм	1–5 мм (після дезагломерації)

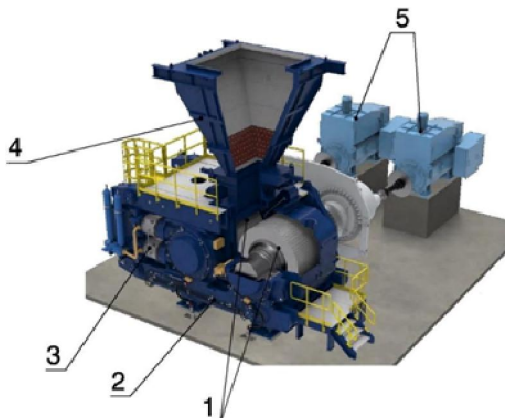


Рис. 3.19. Розріз валкового преса високого тиску HPGR:
 1 – валки; 2 – зона подрібнення (зазор); 3 – гідравлічні циліндри;
 4 – завантажувальна воронка (бункер); 5 – приводні двигуни та редуктори



Рис. 3.20. Загальний вид валкового преса високого тиску HPGR

Планетарні млини призначені для тонкого та надтонкого подрібнення матеріалів, а також для:

- механічної активації порошків;
- змішування компонентів;
- отримання високодисперсних систем.

У виробництві будівельних матеріалів планетарні млини застосовуються для:

- подрібнення цементного клінкеру;
- мінеральних добавок (золи, шлаки, мікрокремнезем);
- пігментів і наповнювачів;
- підготовки активованих в'язучих.

Схема планетарного млина показана на рис. 3.21.

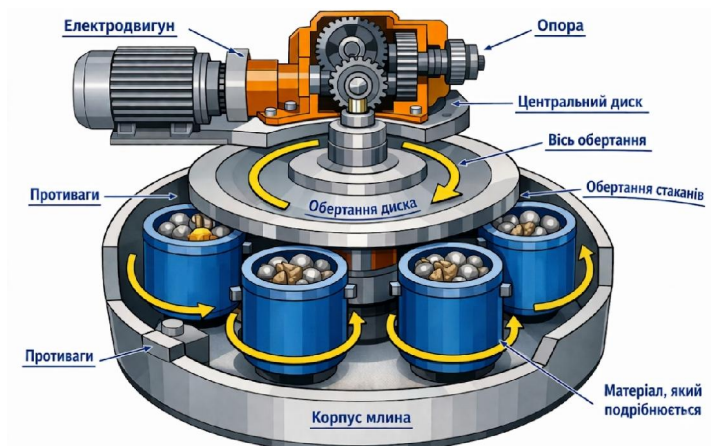


Рис. 3.21. Схема планетарного млина

Робота планетарного млина базується на складному русі мелючих тіл.

Основні особливості:

- розмельні барабани (чаші) обертаються навколо власної осі;
- одночасно вони рухаються навколо центральної осі (диска).

Цей рух аналогічний руху планет, звідси і назва.

У результаті:

- виникають високі відцентрові сили;
- мелючі тіла (кулі) здійснюють інтенсивні удари та стирання;

– матеріал швидко подрібнюється до ультрадисперсного стану.

Основні елементи планетарного млина:

– привідний диск (планетарна платформа) забезпечує обертання барабанів;

– розмельні барабани (чаші) закріплені на диску (можуть бути змінними);

– мелючі тіла (кулі з різних матеріалів):

– сталь;

– кераміка;

– карбід вольфраму.

– *привід* (електродвигун + редуктор) забезпечує синхронний складний рух.

Технічна характеристика планетарних млинів приведена в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Технічна характеристика планетарних млинів

Показники	Значення
Об'єм чаш, л	від 0,05 до 10 (лабораторні) до 100 (промислові)
Швидкість обертання диска, об/хв.	100–600
Прискорення мелючих тіл, g, м/с ²	20–40
Коефіцієнт заповнення чаш, %	30–60
Розмір частинок на виході, мкм	1–10
Тривалість помелу	від кількох хвилин до кількох годин
Енергоємність процесу	вища, ніж у традиційних млинів, але компенсується швидкістю процесу

– *система герметизації* дозволяє працювати:

– в інертному середовищі;

– під вакуумом.

– система керування забезпечує регулювання швидкості, часу, режимів роботи.

Особливості конструкції:

- компактність;
- можливість роботи в періодичному режимі;
- висока міцність вузлів через великі динамічні навантаження.

Планетарні млини мають ряд суттєвих переваг над кульовими млинами:

Вища інтенсивність подрібнення:

- значно більші прискорення;
- швидке досягнення ультратонких фракцій.

Отримання надтонких порошоків;

- можливість досягнення нано- та субмікронного рівня.

Механічна активація матеріалів;

- підвищення реакційної здатності;
- особливо важливо для цементних систем.

Компактність обладнання;

- значно менші габарити порівняно з кульовими млинами.

Гнучкість режимів;

- регулювання швидкості, часу;
- можливість сухого та мокрого помелу.

Недоліки:

- обмежена продуктивність (переважно лабораторні та напівпромислові установки);
- високі динамічні навантаження – підвищений знос;
- відносно висока вартість;
- складність масштабування.

Планетарні млини є високоефективними апаратами для інтенсивного тонкого подрібнення та механічної активації матеріалів, однак через обмежену продуктивність вони застосовуються переважно у лабораторній практиці, спеціалізованих виробництвах та при підготовці вискодисперсних добавок.

Загальний вид виробничого лабораторного планетарного млина PQ-N4 приведено на рис. 3.22.



Рис. 3.22. Загальний вид лабораторного планетарного млина PQ-N4

Колоїдні млини призначені для надтонкого подрібнення, диспергування та гомогенізації матеріалів з утворенням високодисперсних систем (суспензій, емульсій, паст).

У виробництві будівельних матеріалів вони застосовуються для:

- приготування мінеральних суспензій (наприклад, глинистих);
- диспергування пігментів і наповнювачів;
- виробництва бітумних емульсій;
- підготовки компонентів для сухих будівельних сумішей з високою однорідністю.

Робота колоїдного млина базується на дії інтенсивних механічних і гідродинамічних сил у вузькому зазорі між робочими органами.

Основні механізми подрібнення:

- зсув (зріз);
- турбулентні пульсації;
- кавітаційні ефекти;
- ударні взаємодії частинок.

Матеріал подається в *робочу зону* між:

- нерухомим статормом;
- швидко обертовим ротором.

У зазорі (зазвичай 0,05–1 мм) створюється велика швидкість потоку (до 20–50 м/с), що забезпечує:

- руйнування агломератів;
- подрібнення частинок до колоїдного рівня ($\approx 1\text{--}10$ мкм і менше);
- рівномірний розподіл фаз.

Схема колоїдного млина показана на рис. 3.23.

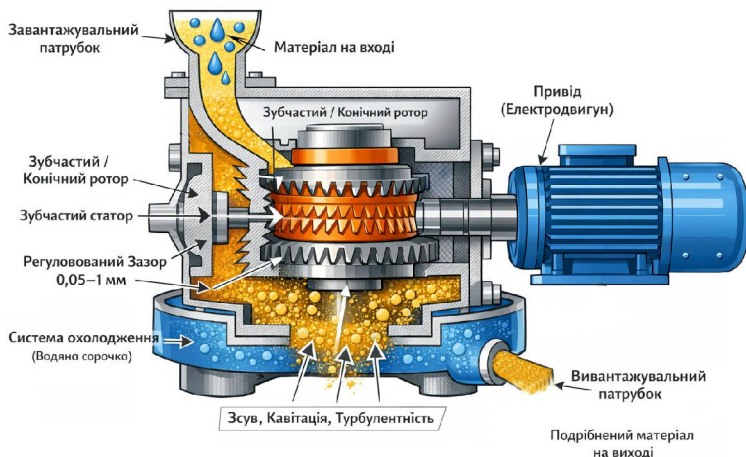


Рис. 3.23. Схема колоїдного млина

Типова конструкція колоїдного млина включає:

- корпус із завантажувальним і розвантажувальним патрубками;
- ротор і статор спеціального профілю:
- конічні, циліндричні або дискові;
- із рифленням або зубчастою поверхнею;
- регульований зазор між ротором і статором;
- привід (електродвигун) з високою частотою обертання (3000–15000 об/хв);
- система охолодження (часто водяна сорочка), оскільки процес супроводжується нагріванням;
- ущільнення для роботи з рідкими та пастоподібними середовищами.

Різновиди:

- роторно-статорні млини;

– багатоступеневі (для підвищення ступеня диспергування).

Технічна характеристика колоїдних млинів приведена в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

Технічна характеристика колоїдних млинів

Показники	Значення
Розмір частинок на виході, мкм	0,5–10
Частота обертання ротора, об/хв.	3000–15000
Зазор між ротором і статором, мм	0,05–1
Продуктивність, м ³ /год.	від 0,1 до 50
Потужність приводу, кВт	1,5–75
Температура обробки, °С	80–120

У порівнянні з кульовими, валковими та іншими традиційними млинами, колоїдні мають такі переваги:

Значно вища дисперсність:

- досягається мікронний і субмікронний рівень подрібнення;
- особливо ефективні для тонкодисперсних систем.

Інтенсифікація процесу:

- поєднання подрібнення, змішування і гомогенізації в одному апараті;
- скорочення кількості стадій технології.

Безперервність процесу:

- легко інтегруються в потокові технологічні лінії.

Відсутність помельних тіл:

- немає зносу куль;
- відсутність сторонніх домішок;
- менші витрати на обслуговування.

Краща однорідність продукту:

- висока стабільність емульсій і суспензій.

Енергоефективність для тонкого подрібнення:

- при досягненні дуже малих розмірів частинок ефективніші за кульові млини.

Колоїдні млини є високоефективними апаратами для тонкого та надтонкого подрібнення, що забезпечують одночасно диспергування і гомогенізацію матеріалів. Їх застосування

особливо доцільне у виробництвах, де необхідна висока однорідність і стабільність дисперсних систем, що робить їх важливим елементом сучасних технологій будівельних матеріалів.

На рис. 3.24 показано загальний вид колоїдного лабораторного млина КЛМ-16/25.



Рис. 3.24. Загальний вид колоїдного лабораторного млина КЛМ-16/25

Контрольні питання

1. Яке призначення мають вертикальні валкові млини VRM–Vertical Roller Mill?
2. На чому ґрунтується принцип дії вертикальних валкових млинів VRM–Vertical Roller Mill?
3. Назвіть основні конструктивні елементи вертикальних валкових млинів VRM–Vertical Roller Mill.
4. Поясніть роботу вертикальних валкових млинів VRM–Vertical Roller Mill.
5. Назвіть основні технічні характеристики вертикальних валкових млинів VRM–Vertical Roller Mill.
6. Яке призначення мають валкові преси високого тиску HPGR?

7. На чому ґрунтується принцип дії валкових пресів високого тиску HPGR?

8. Назвіть основні конструктивні елементи валкових пресів високого тиску HPGR.

9. Поясніть роботу валкових пресів високого тиску HPGR.

10. Назвіть основні технічні характеристики валкових пресів високого тиску HPGR.

11. Яке призначення мають планетарні млини?

12. На чому ґрунтується принцип дії планетарних млинів?

13. Назвіть основні конструктивні елементи планетарних млинів.

14. Поясніть роботу планетарних млинів.

15. Назвіть основні технічні характеристики планетарних млинів.

16. Яке призначення мають колоїдні млини?

17. На чому ґрунтується принцип дії колоїдних млинів?

18. Назвіть основні конструктивні елементи колоїдних млинів.

19. Поясніть роботу колоїдних млинів.

20. Назвіть основні технічні характеристики колоїдних млинів.

4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОДРІБНЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1. Традиційні апарати для просіювання матеріалів

Основні теоретичні положення. Подрібнений матеріал розділяють за крупністю на класи. Найбільш поширений спосіб сортування матеріалу є просіювання. Просіюють матеріал за допомогою *грохотів*.

Сипуча суміш, яка надходить на грохот, називається вихідним матеріалом. Зерна, розмір яких більший за розмір отворів поверхні просіювання грохоту, називають надрешітним продуктом, а зерна які пройшли через отвори поверхні просіювання – підрешітним продуктом. Надрешітний продукт позначають знаком плюс, а підрешітний – знаком мінус. Наприклад, якщо вихідний матеріал просіюють через поверхню просіювання з отворами 40 мм, то надрешітний продукт позначають +40, а підрешітний – - 40. Тобто одна поверхня просіювання розділяє вихідний матеріал на два класи. Якщо вихідний матеріал проходить через декілька поверхонь просіювання, наприклад n , то в результаті просіювання отримаємо $n + 1$ продуктів. Схема просіювання матеріалу приведена на рис. 4.1.

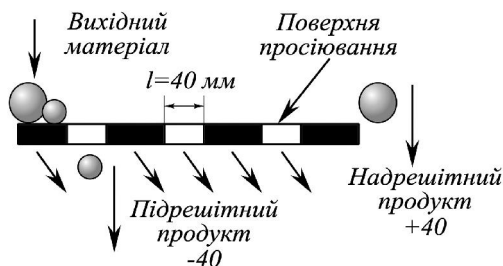


Рис. 4.1. Схема просіювання матеріалу

Розрізняють наступні категорії (види) просіювання:

- *мокре та сухе*;
- *попереднє* – з вихідної маси виділяють негабаритний матеріал, або такий, що не потребує подрібнення;

– *проміжне* – між стадіями подрібнення – для виділення продукту, який не потребує подрібнення на наступній стадії;

– *контрольне* – застосовують для контролю крупності готового продукту і відділення відходів.

– *остаточне (товарне)* – для розподілу продукту на товарні фракції.

Фракція – матеріал, який пройшов крізь верхнє сито і залишився на нижньому.

Клас – матеріал, який менший розміру отворів верхнього сита і більший розміру отворів нижнього.

Основними елементами грохота є *короб* та *поверхня просіювання*. Поверхня просіювання (рис. 4.2) виготовляється з окремих полос (колосників), сталъних листів з штампованими отворами різної форми (решіт) і дротяних сіток (сит).

Розмір отворів поверхні просіювання приймається стандартним. Відношення розмірів двох сусідніх сит називають модулем. Модуль сит залежить від виду матеріалу, який підлягає просіюванню. Так, наприклад, для просіювання піску сита мають наступні стандартні отвори: 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16. Модуль цих сит дорівнює 2.

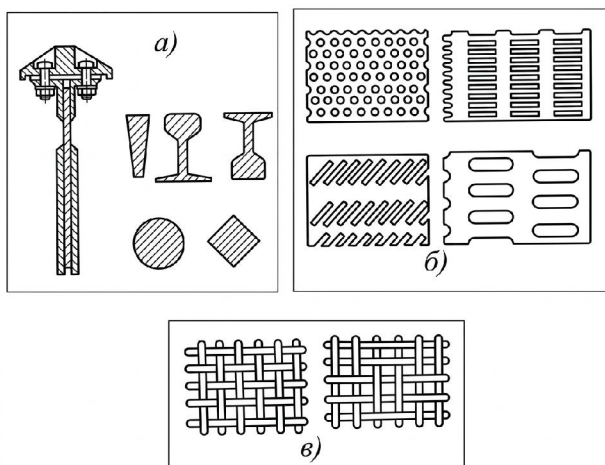


Рис. 4.2. Поверхні просіювання грохотів:

а – колосники; б – решета; в – сита

Способи просіювання залежать від властивостей матеріалу, кількості виділених фракцій та виробничих умов. Є наступні способи просіювання (рис. 4.3):

а – від *крупного* до *мілко*го, шляхом розташування сит одного над одним із зменшенням у них отворів;

б – від *мілко*го до *крупного*, шляхом розташування сит одне за одним із збільшенням у них отворів;

в – *комбінований*, шляхом подачі матеріалу спочатку на сито з *отворами середнього діаметру*, після чого *надрешітний* продукт просіюють за способом *а*, а *підрешітний* продукт – за способом *б*.

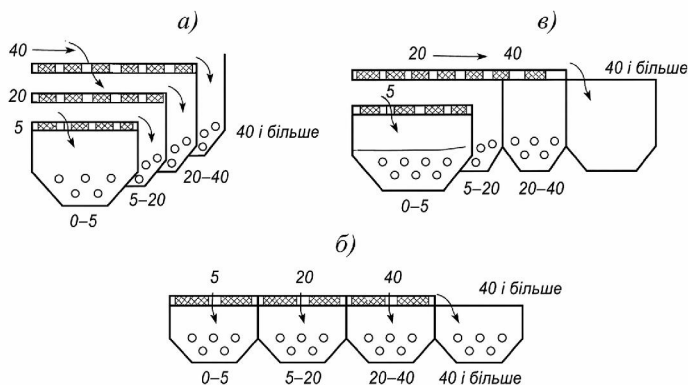


Рис. 4.3. Способи просіювання:

а – від *крупного* до *мілко*го; *б* – від *мілко*го до *крупного*;
в – *комбінований* спосіб

На рис. 4.4 наведено схему для визначення ефективності просіювання. На схемі приведені розміри отвору, діаметр зерна і товщина дроту. Площа, яка забезпечує проходження зерна крізь отвір сита, залежить від діаметра зерна. Тоді ймовірність того, що крізь отвори сита пройдуть зерна даного діаметру становить

$$p = \frac{(l - d)^2}{(l + a)^2} 100\%, \quad (4.1)$$

де l – розмір отвору; a – товщина дроту; d – діаметр зерна.

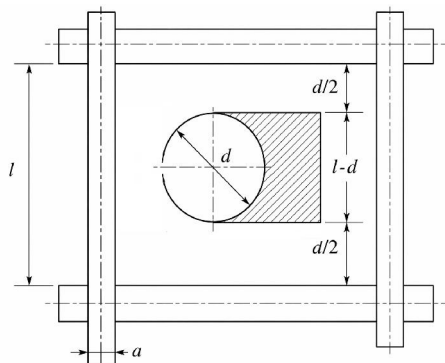


Рис. 4.4. Схема проходження зерна крізь отвір сита

З рис. 4.5 видно, що зерна з діаметром більшим ніж $0,75l$, мають малу ймовірність проходження крізь отвір сита. Тому такі зерна умовно називають «важкі зерна». Зерна, які мають діаметр менший ніж $0,75l$, мають більшу ймовірність проходження крізь отвір сита, їх називають «легкі зерна».

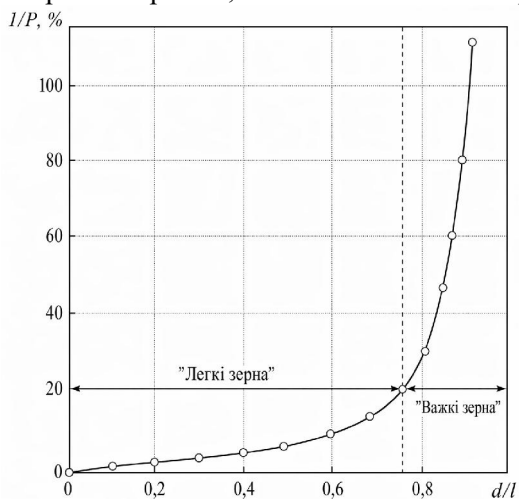


Рис. 4.5. Графік залежності $1/p$ від d/l

Нерухомі грохоти застосовують для просіювання крупного матеріалу (рис. 4.6). Їх розташовують під кутом до горизонту.

Розмір колосникових грохотів залежить від крупності шайбільших шматків матеріалу. Ширину короба приймають $B=(2-3)d_{max}$, а довжину – $L=(1.5-2.5)B$.

Продуктивність нерухомого грохота визначають за залежністю

$$П = 2400B^2L, \quad (4.2)$$

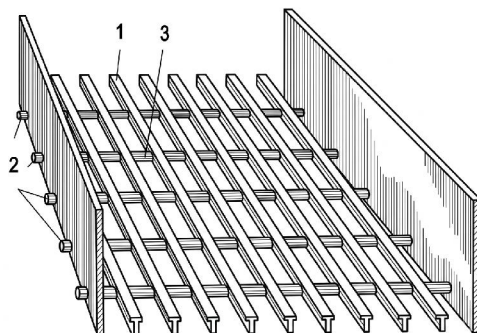


Рис. 4.6. Схема нерухомого колосникового грохоту:

1 – колосник; 2 – затяжний болт; 3 – розпірна труба

На рис. 4.7 приведено колосниковий грохот фірми KPI-JCI.



Рис. 4.7. Колосниковий грохот фірми KPI-JCI

Технічна характеристика колосникових грохотів
приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика колосникових грохотів

Модель	ГКН30	ГКН36	ГКН42	ГКН50	ГКН60
Ширина, мм	760	915	1070	1120	1525
Довжина, мм	3700	4300- 4902	4600- 6100	4900- 6100	7300
Продуктивність т/год	270- 365	315- 427	473- 642	630- 767	828- 1035
Довжина колосникових секцій, мм	1524- 2240	1524- 2240	1524- 2240	1524- 2750	1524- 3050
Потужність, кВт	11	22	30	37	37
Маса, кг	3232	4128	5398	7008	8754

Рухомі грохоти мають більшу ефективність просіювання матеріалу. В залежності від руху поверхні просіювання рухомі грохоти розділяють на наступні групи (рис. 4.8):

а – *вібраційні* грохоти, поверхня просіювання виконує кругові коливання за рахунок обертання *дебалансів* 2;

б – *хитні* грохоти, поверхня просіювання виконує зворотно-поступальний рух за рахунок дії кривошипно-шатунного механізму 3;

в – *вібраційні* грохоти з *гіраційним приводом*, поверхня просіювання виконує кругові коливання за рахунок обертання ексцентрикового валу 4;

г – *вібраційні* грохоти з *інерційним приводом*, поверхня просіювання виконує кругові коливальні рухи за рахунок руху *дебалансів* 2, які встановлені на валу 5;

д – *самоцентруючі* грохоти з *гіраційний приводом*, поверхня просіювання виконує кругові коливальні рухи за рахунок руху ексцентрикового валу 4. Для рівноваги на ньому встановлені *маховики з противагами* 6;

е – *самобалансні* грохоти, поверхня просіювання виконує прямолінійні направлені коливання за рахунок встановлення

вібратора з подвійними дебалансами 7, які обертаються назустріч один одному з однаковою швидкістю;

жс – барабанні грохоти, поверхня просіювання 1 приводиться в обертний рух приводними роликами 8.

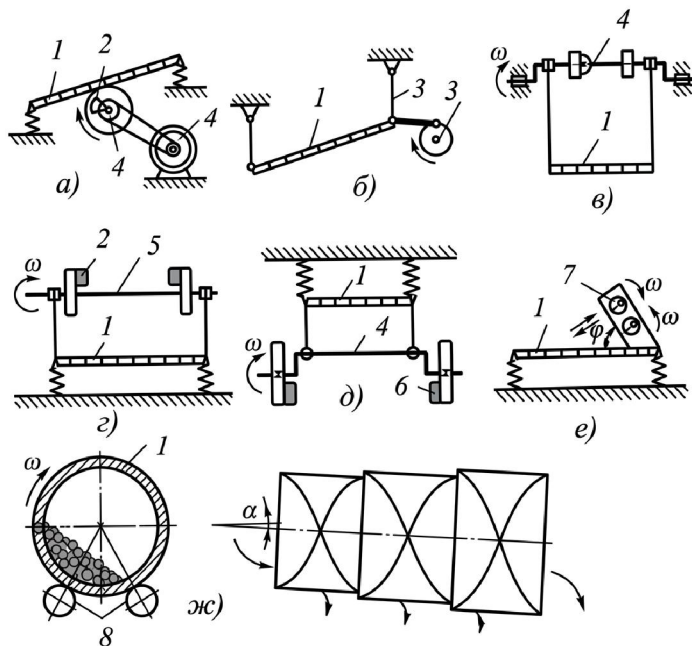


Рис. 4.8. Кінематичні схеми рухомих грохотів:

1 – поверхня просіювання; 2 – дебаланси; 3 – кривошипно-шатунний механізм; 4 – ексцентриковий вал; 5 – простий вал; 6 – маховики з противагами; 7 – вібратор з подвійними дебалансами; 8 – приводні ролики

Продуктивність вібраційних грохотів визначається за залежністю

$$\Pi = qBLk_1k_2k_3, \quad (4.3)$$

q – питома продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$; B – ширина поверхні просіювання; L – довжина поверхні просіювання; k_1 – коефіцієнт, який враховує кут нахилу поверхні просіювання; k_2 – коефіцієнт, який враховує процентний вміст

нижнього класу у вихідному матеріалі; k_3 – коефіцієнт, який враховує вміст в нижньому класі зерен, розмір яких менший половини розміру отворів сит, m – коефіцієнт, який враховує тип грохоту й форму зерен.

Значення коефіцієнтів в формулі (4.3) приведені в табл. 4.2 і 4.3.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнтів k_1 , k_2 , k_3

Кут нахилу, град.	k_1	Вміст зерен нижнього класу у вихідному матеріалі, %	k_2	Вміст в нижньому класі зерен, менших половини розміру отвору сита, %	k_3
0	1,00	20	0,86	20	0,90
9	1,07	30	0,90	30	0,95
12	1,05	40	0,95	40	0,98
15	1,03	50	0,97	50	1,00
18	1,00	60	1,00	60	1,01
21	0,96	70	1,02	70	1,03
24	0,88	80	1,03	80	1,04

Таблиця 4.3

Значення коефіцієнта m

Тип грохоту	Вид матеріалу	
	Гравій	Щебінь
Горизонтальний	0,80	0,65
Похилий	0,60	0,50

Вібраційні самобалансні грохоти призначені для сортування сипучих матеріалів на фракції від 0,1 до 10 мм.

Технічна характеристика інерційних грохотів приведена в табл. 4.4, а самобалансного в табл. 4.5.

Таблиця 4.4

Технічна характеристика інерційних грохотів

Показник	З круговими коливаннями			З напрямленими коливаннями	
	ГІКК 1500	ГІКК 1750	ГІКК 2000	ГІНК 1000	ГІНК 1250
Тип грохота					
Розмір поверхні просіювання, мм:					
ширина	1500	1750	2000	1000	1250
довжина	3752	4500	5000	2500	3000
Число ярусів сит	2	2	2	2	2
Розмір комірок мм	3×70	3×70	3×70	3×30	3×40
Нахил поверхні просіювання, град	25	25	25	0	0
Максимальний розмір завантажуваного шматка, мм	150	200	150	100	100
Частота коливань, об/хв	960	900	900	750	750
Потужність, кВт	10	17	17	2,7×5	5,5
Маса, т	3300	3800	5650	1600	2200

Таблиця 4.5

Технічна характеристика самобалансного грохоту ГІСЛ-72

Показник	ГІСЛ-72
Максимальний розмір шматка вихідного матеріалу, мм	60
Ширина поверхні просіювання, мм	2500
Довжина поверхні просіювання, мм	7600
Кількість ярусів сит	2
Кут нахилу, град	від -5 до +10
Частота коливань, об/хв.	1000 (750)
Потужність електроприводу, кВт	37 (2×18,5)
Маса, т	8200

На рис. 4.9 наведені зображення сучасних промислових грохотів.



Рис. 4.9. Промислові грохоти

Контрольні питання

1. За допомогою якого процесу подрібнений матеріал розділяють на класи і як називають сипучу суміш, яка надходить на грохот?
2. Як називають зерна, розмір яких більший або менший за розмір отворів поверхні просіювання грохоту. і яким знаком їх позначають?
3. Скільки вихідних продуктів отримують, якщо кількість поверхонь просіювання становить n ?
4. Які розрізняють категорії просіювання?
5. Які є способи просіювання?
6. Який продукт просіювання називають фракцією і яка різниця між класом і фракцією матеріалу?
7. Назвіть основні елементи грохота і як визначають модуль сит?
8. Які бувають способи просіювання?
9. Які є схем розташування сит?

10. Поясніть формулу ймовірності проходження зерна через сито.

11. Які зерна називають «важкими» а які «легкими»?

12. Поясніть формулу продуктивності нерухомого колосникового грохоту.

13. Які коливання виконують поверхні просіювання різних видів рухомих грохотів?

14. Поясніть формулу продуктивності вібраційних грохотів.

15. Якими параметрами відрізняються технічні характеристики рухомих грохотів?

4.2. Нові апарати для просіювання будівельних матеріалів

Високочастотні вібраційні грохоти (ГВЧ) – це спеціалізоване обладнання для тонкого розсівання та зневоднення дрібнодисперсних матеріалів. На відміну від стандартних інерційних грохотів, вони працюють на значно вищих частотах вібрації, що дозволяє ефективно розділяти частинки розміром від 0,1 мм до 5 мм.

Основні характеристики та призначення:

- *тонка класифікація*: використовуються для матеріалів, які важко піддаються просіванню через схильність до злипання або забивання сита (вугільний шлам, пісок, рудні концентрати);
- *зневоднення*: ефективно видаляють вологу з пульпи та шламів, що критично важливо у збагачувальних процесах;
- *висока частота вібрації*: дозволяє передавати значні прискорення безпосередньо на поверхню просіювання, що запобігає забиванню комірок сита.

В українській промисловості найбільш розповсюджені наступні серії:

- *ГВЧ (грохот високочастотний)*: одно- або багатоярусні машини, що часто обладнуються системами промивки для мокрого грохочення.
- *ГЛЛ (грохот інерційний легкий)*: працює у високочастотних режимах для сортування фракцій 10–60 мм.
- *ГПТ (грохот інерційний важкий)*: працює у високочастотних

режимах для сортування фракцій 10–60 мм.

Грохоти високочастотні – призначені для сортування сипучих матеріалів на фракції від 0,1 до 10 мм. Також для зневоднення або навпаки промивання матеріалу. Максимальний шматок матеріалу який подається на ярус грохоту - 60 мм. Тип вібратору – мотор-вібратор.

Технічна характеристика високочастотного грохоту ГВЧ-31 приведена в таблиці 4.6, а загальний вид показано на рис. 4.10.

Таблиця 4.6

Технічна характеристика високочастотного грохоту ГВЧ-31

Показник	Значення
Максимальний шматок матеріалу, мм	60
Ширина просіювальної поверхні, мм	1250
Довжина просіювальної поверхні, мм	3000
Площа просіювальної поверхні, м ²	3,75
Кількість ярусів, шт.	1
Загальна потужність приводу, кВт	5(2x2,5)
Частота коливань, об/хв	1500
Кут нахилу, град	від 5 до +10
Маса, кг	1200



Рис. 4.10. Загальний вид високочастотного грохоту ГВЧ-31

Грохоти інерційні легкі – призначені для сортування сипучих матеріалів на фракції від 10 до 60 мм. Максимальний шматок матеріалу який подається на ярус грохоту – до 100 мм. Основне завдання – розділення на різні фракції щебеню, антрациту.

Технічна характеристика вібраційного грохоту ГІЛ -42 приведена в табл. 4.7, а загальний вид показано на рис. 4.11.

Таблиця 4.7

Технічна характеристика вібраційного легкого грохоту ГІЛ -42

Показник	Значення
Максимальний шматок матеріалу, мм	100
Ширина просіювальної поверхні, мм	1500
Довжина просіювальної поверхні, мм	4000
Площа просіювальної поверхні, м ²	6
Кількість ярусів, шт.	2
Загальна потужність приводу, кВт	7,5
Частота коливань, об/хв	1000
Кут нахилу, град	від 5 до +25
Маса, кг	2800

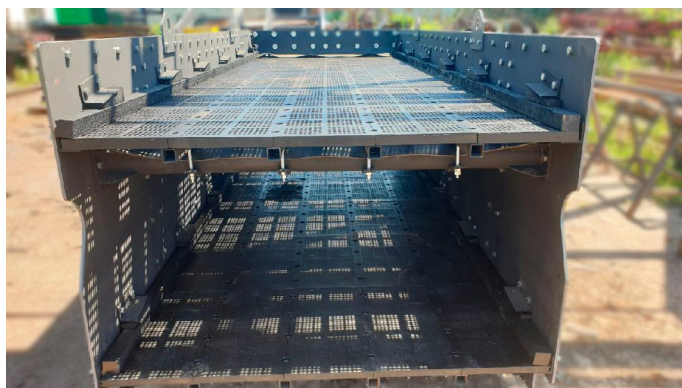


Рис. 4.11. Загальний вид вібраційного грохоту ГІЛ-42

Грохоти інерційні важкі – призначені для сортування сипучих матеріалів на фракції від 40 до 120 мм. Максимальний шматок матеріалу який подається на ярус грохоту – 500 мм. Основне завдання - розділення на різні фракції вугілля, щебеню. Має дуже посилену конструкцію відносно всіх інших серій грохотів, що дозволяє подавати на грохот більший шматок матеріалу до 500 мм.

Технічна характеристика вібраційного важкого грохоту ГІТ-52 приведена в табл. 4.8, а загальний вид показано на рис. 4.12.

Таблиця 4.8

Технічна характеристика вібраційного важкого грохоту ГІТ-52

Показник	Значення
Максимальний шматок матеріалу, мм	500
Ширина просіювальної поверхні, мм	1750
Довжина просіювальної поверхні, мм	4000
Площа просіювальної поверхні, м ²	7
Кількість ярусів, шт.	2
Загальна потужність приводу, кВт	18
Частота коливань, об/хв.	750
Кут нахилу, град.	від 10 до +25
Маса, кг	5600



Рис. 4.12. Загальний вид вібраційного грохоту ГІТ-52

Ультразвукові сита – це високоточне обладнання, що використовує високочастотні вібрації для ефективного просіювання, розділення або класифікації дрібних, липких або електростатичних порошків.

Принцип дії: до звичайної сітки вібросити приєднується генератор що створює ультразвукові коливання низької амплітуди, які передаються безпосередньо на полотно сітки.

Основні переваги та особливості:

- *запобігання засміченню*: високочастотні коливання безперервно очищають сітку, запобігаючи прилипанню та електростатичній адсорбції матеріалів;
- *висока точність*: дозволяють проводити точний скринінг дрібних порошків, підвищуючи якість розділення;
- *універсальність*: підходять для важкосипких матеріалів, графіту;
- *простота використання*: ультразвукове кільце легко інтегрується між стандартними лабораторними або тестовими ситами, значно покращують продуктивність лабораторних та промислових сит.

Система ультразвукових сит з генератором застосовується для просіювання:

- цементу і мінеральних порошків;
- кварцового піску;
- металевих порошків;
- пігментів і наповнювачів;
- сухих будівельних сумішей.

Система включає:

- ультразвуковий генератор GTS30;
- п'єзоелектричний перетворювач (трансдюсер);
- резонансне (енергопровідне) кільце
- сито (сітка).

Ультразвуковий генератор GTS30 забезпечує:

- перетворення електричної енергії у високочастотні коливання;
- живлення ультразвукового перетворювача (трансдюсера);
- створення мікровібрацій на ситі.

Ці коливання передаються на сітку через резонансне кільце і запобігають її забиванню.

Технічна характеристика система просіювання з генератором GTS30 приведена в табл. 4.9, а загальний вид показано на рис. 4.13.

Таблиця 4.9

Технічна характеристика системи просіювання з генератором GTS30

Показник	Значення
Діапазон сит, мкм	20-400
Розмір порошоків, мкм	20-25
Вихідна частота ультразвуку, кГц	36
Амплітуда коливань, мкм	дуже мала
Напруга живлення, В	220
Частота мережі, Гц	50/60
Габаритні розміри блоку. мм	165×230×400



Рис. 4.13. Загальний вид системи ультразвукових сит з генератором GTS30

Тумблерні грохоти — це високоточні просіювальні апарати, які відтворюють рух ручного просіювання (круговий + спіральний + слабкий вертикальний рух).

Тумблерні грохоти застосовуються:

- у виробництві сухих будівельних сумішей;
- при просіюванні цементу та мінеральних порошків;
- у виробництві наповнювачів і пігментів;
- для тонкого класифікування кварцового піску.

Основні особливості:

- просторовий (3D) рух частинок;
- спіральне переміщення матеріалу від центру до периферії;
- тривалий час перебування матеріалу на ситі;
- мінімальне руйнування частинок.

Конструктивні особливості:

- горизонтальне або слабко нахилене сито;
- привід з ексцентриком або шатунним механізмом;
- кругла або прямокутна форма.

Системи очищення сит:

- гумові кульки;
- щітки;
- ультразвук.

Переваги тумблерних грохотів:

- дуже висока точність розділення;
- відсутність руйнування зерен;
- низький рівень шуму;
- ефективна робота з тонкими ситами;
- відсутність забивання вічок сита;
- можливість багато фракційного розділення.

Недоліки:

- менша продуктивність порівняно з вібраційними грохотами;
- більші габарити при однаковій продуктивності;
- складніша конструкція.

Технічна характеристика тумблерних грохотів наведена у табл. 4.10, а загальний вид на рис. 4.14.

Таблиця 4.10

Технічна характеристика тумблерних грохотів

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	5–10
Питома продуктивність вища, ніж у традиційних грохотів при дрібному просіюванні, у разів	3–5
Ефективність просіювання, %	95–99
Діапазон крупності матеріалу, мм	0,025–0,8
Кількість сит, шт.	1–5
Площа просіювання, м ² для круглих моделей для промислових установок	від 0,7 до 6,5 до 7
Потужність приводу (залежно від діаметра і кількості сит) , кВт	1,5 – 7,5
Частота обертання, об/хв.	180–280
Геометричні параметри, м: діаметр висота установки	1,0 – 2,9 до 3

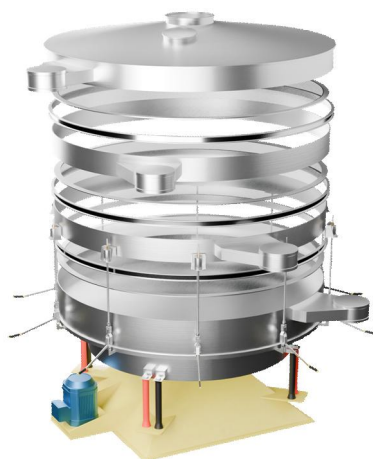


Рис. 4.14. Загальний вид тумблерного грохоту Cyclone Screener

Відцентрові сита призначені для розділення сипких будівельних матеріалів (піску, цементу, мінеральних порошоків, подрібнених гірських порід) за крупністю частинок у тонкому та середньому діапазоні. Особливо ефективні при просіюванні матеріалів, схильних до злипання або утворення агломератів.

Принцип дії відцентрового сита (рис. 4.15) ґрунтується на використанні відцентрових сил, що виникають при обертанні робочого органу (ротора).

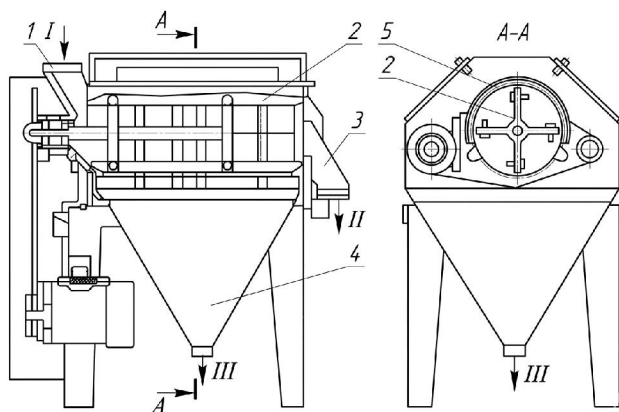


Рис. 4.15. Схема віброцентрофугальної машини РЗ-БЦА:

1 – приймальний патрубок; 2 – більний ротор; 3 – випускний патрубок фракції II; 4 – випускний патрубок фракції III; 5 – циліндричне сито

Матеріал подається всередину циліндричного сита, де швидкообертовий ротор (з лопатями або білами) розганяє частинки матеріалу. Під дією відцентрової сили вони притискаються до ситової поверхні. Дрібні частинки проходять через отвори сита і надходять у випускний патрубок 4, а крупні – переміщуються вздовж поверхні сита і виводяться окремо через випускний патрубок 3. Таким чином поєднуються процеси *розпушення, розгону і класифікації* матеріалу.

Конструктивні особливості:

- висока частота обертання ротора (зазвичай 300–1500 об/хв);
- компактність конструкції;

- можливість герметичного виконання;
- застосування змінних сит з різним розміром отворів;
- іноді оснащення системами самоочищення (щітки, ударні елементи).

Технічна характеристика відцентрових сит наведена у табл. 4.11, а загальний вид відцентрової просіювальної машини РЗ-БЦА на рис. 4.16.

Таблиця 4.11

Технічна характеристика відцентрових сит

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	1-50
Розмір частинок на вході, мм	10-15
Тонкість розділення, мм	0,04-5
Частота обертання ротора, об/хв.	300-1500
Потужність приводу, кВт	2-30
ККД розділення, %	85-95



Рис. 4.16. Загальний вид відцентрової просіювальної машини РЗ-БЦА

Основні покращення відносно традиційних грохотів:

- інтенсифікація процесу: відцентрові сили значно перевищують

силу тяжіння, що підвищує швидкість просіювання;

- краща робота з вологими та злиплими матеріалами. Ротор розпушує агломерати, що зменшує забивання сит;

- вища точність класифікації. Завдяки примусовому притисканню частинок до ситової поверхні;

- відмінні риси цих сит полягають у тому, що високочастотні коливання циліндричного сита активізують просіювання і транспортування важко-сипкої фракції, а також забезпечують самоочищення отворів сит;

- компактність і менші габарити у порівнянні з вібраційними грохотами.

- герметичність процесу. Можливість роботи в закритих системах (важливо для цементу та пилоподібних матеріалів).

- менший рівень вібрацій у порівнянні з вібраційними ситами.

Грохоти з прямим збудженням ситової поверхні призначені для класифікації (просіювання) сипких будівельних матеріалів за крупністю частинок (рис. 4.17). Вони широко застосовуються для обробки:

- піску;

- щебеню;

- відсівів дроблення;

- цементної сировини;

- сухих будівельних сумішей.

Основною особливістю таких грохотів є те, що *коливання передаються безпосередньо ситовій поверхні*, а не через корпус або раму.

Принцип роботи полягає в наступному:

- на ситову поверхню встановлюються вібраційні збуджувачі (вібратори);

- при їх роботі створюються високочастотні коливання малої амплітуди;

- ці коливання викликають:

- інтенсивне переміщення частинок по ситу,

- розпушення шару матеріалу,

- руйнування агломератів;

- дрібні частинки проходять крізь отвори сита, а крупні – переміщуються до розвантажувального кінця.

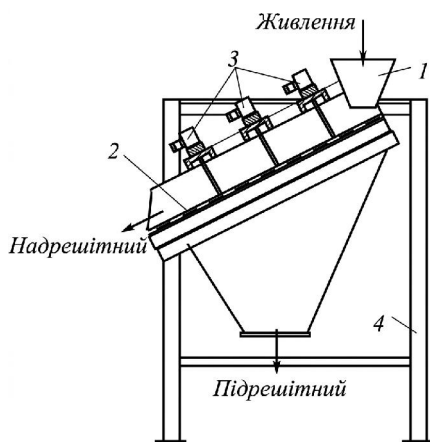


Рис. 4.17. Грохот з електромагнітними віброзбудувачами:
1 – бункер; 2 – сито; 3 – віброзбудувачі; 4 – рама

Грохоти цього типу мають ряд характерних конструктивних рішень:

Ситова поверхня:

- виконується у вигляді натягнутої сітки або перфорованого полотна;
- може бути багатоярусною.

Пряме кріплення вібраторів:

- вібратори встановлюються безпосередньо на ситі або на його рамі;
- забезпечують локальне збудження коливань.

Привід:

- електромеханічні або електромагнітні вібратори;
- можливість регулювання частоти та амплітуди.

Опорна система:

- пружини або гумові амортизатори для ізоляції вібрацій.

Модульність конструкції:

- можливість швидкої заміни сит;
- компактність у порівнянні з класичними грохотами.

Система очищення сит:

- кульки, ультразвукові або інші допоміжні пристрої (за потреби).

Технічна характеристика грохотів з прямим збудженням ситової поверхні наведена у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Технічна характеристика грохотів з прямим збудженням ситової поверхні

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	5-150
Розмір частинок на вході, мм	50-100
Розмір отворів сит, мм	0,1-50
Частота коливань, кол./хв.	1000-3000
Амплітуда коливань, мм	0,5-3
Кількість сит, шт.	1-3
Потужність приводу, кВт	0,5-5,0

Підвищена ефективність просіювання:

- за рахунок безпосереднього впливу на сито;
- краще розпушення матеріалу;
- високочастотні коливання забезпечують самоочищення;
- особливо важливо для вологих і дрібнодисперсних матеріалів.

Менші енерговитрати:

- енергія не витрачається на коливання всієї масивної конструкції;
- коливається лише робочий орган.

Компактність і менша маса:

- відсутність важких ексцентрикових механізмів;
- зручність монтажу та інтеграції у виробничі лінії.

Гнучкість регулювання:

- можливість точно налаштовувати режим роботи під конкретний матеріал.

Зниження динамічних навантажень на фундамент:

- завдяки локалізації коливань.

Промивні грохоти CDE-ProGrade – це високопродуктивні вібраційні машини для промивання, класифікації та збагачення щебеню, піску, гравію та рудних матеріалів. Вони оснащені системою зрошення, забезпечують ефективне видалення домішок і мають міцну конструкцію, здатну працювати у

важких умовах.

Основні переваги та характеристики CDE ProGrade:

- *ефективна промивка*: забезпечують якісне очищення матеріалу від глинистих та мулистих часток;
- *висока точність розділення*: створені для високоточного грохочення та класифікації.
- *технологія Infinity*: використання запатентованої технології, яка знижує напругу у зварних швах, підвищуючи довговічність.
- *модельний ряд*: включає одно- та дводеккові моделі (наприклад, ProGrade P2-108) з круговою вібрацією.
- *застосування*: використовуються в кар'єрах, при переробці будівельних відходів, промиванні щебеню та мінералів

Зовнішній вид грохотів CDE-ProGrade показано на рис. 4.18-4.23, а основні технічні характеристики в табл. 4.13-4.18.



Рис. 4.18. Похилий промивний грохот CDE Infinity P-Line

Таблиця 4.13

Технічна характеристика похилого промивного грохота CDE Infinity P-Line

Показник	Значення (залежно від моделі)
Продуктивність, т/год.	200-450
Площа сита просіювання (дека), м ²	3,6-10,8
Потужність, кВт	11-22

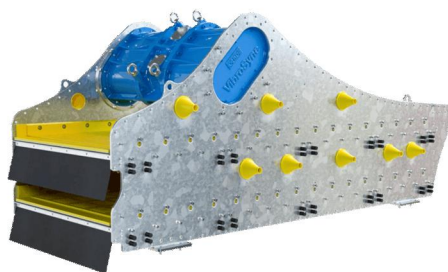


Рис. 4.19. Промивний горизонтальний грохот CDE Infinity H-Line

Таблиця 4.14

Технічна характеристика промивного горизонтального грохоту CDE Infinity H-Line

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	250
Площа сита просіювання (дека), м ²	6
Потужність, кВт	15,2

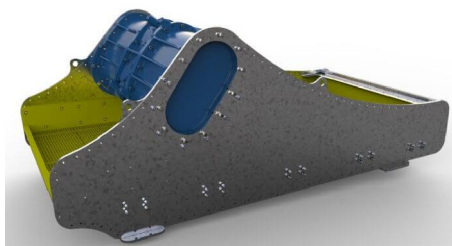


Рис. 4.20. Зневоднюючий грохот CDE Infinity D-Line

Таблиця 4.15

Технічна характеристика зневоднюючого грохоту CDE Infinity D-Line

Показник	Значення (залежно від моделі)
Продуктивність, т/год.	100-250
Площа сита просіювання (дека), м ²	3,33-7,88
Потужність, кВт	5,0-15,2

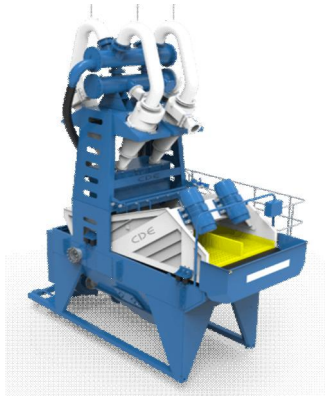


Рис. 4.21. Промивна система CDE для піску і відсіву

Таблиця 4.16
Технічна характеристика промивочної системи CDE для піску і відсіву

Показник	Значення (залежно від моделі)
Витрата води, м ³ /год.	100-800
Продуктивність, т/год.	70-254
Потужність, кВт	37-135

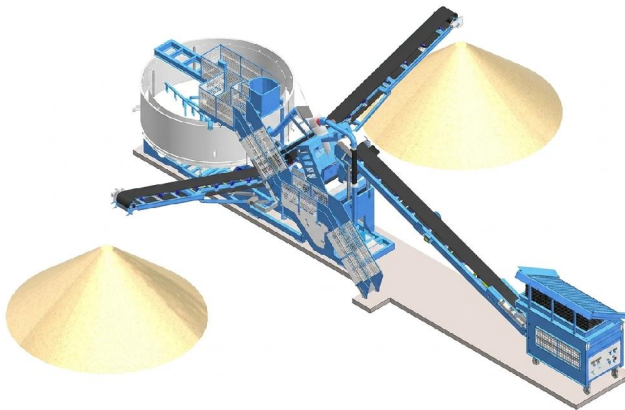


Рис. 4.22. Модульна збагачувальна установка CDE серії М

Таблиця 4.17

Технічна характеристика модульної збагачувальної установки CDE серії M

Показник	Значення (залежно від моделі)
Витрата води, м ³ /год.	20-150
Продуктивність, т/год.	70-500
Потужність, кВт	89-448



Рис. 4.23. Пересувна збагачувальна установка CDE

Таблиця 4.18

Технічна характеристика пересувної збагачувальної установки CDE

Показник	Значення (залежно від моделі)
Витрата води, м ³ /год.	200-350
Продуктивність, т/год.	70-100
Потужність, кВт	73-99

Інтелектуальні грохоти – це сучасне вібраційне просіювальне обладнання, оснащене системами автоматизації, датчиками та компонентами з пам'яттю (рис. 4.24). Вони здатні самостійно контролювати процес розділення сипких матеріалів, оптимізувати параметри вібрації в реальному часі та

діагностувати технічний стан, що підвищує ефективність сортування.

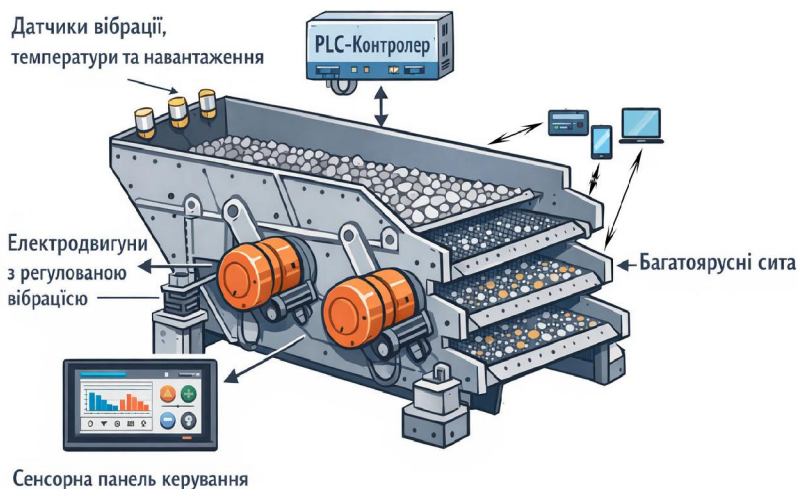


Рис. 4.24. Схема вібраційного інтелектуального грохоту

Основні характеристики та переваги:

- *автоматична оптимізація*: інтелектуальні системи регулюють інтенсивність вібрації залежно від навантаження та вологості матеріалу;
- *діагностика в реальному часі*: вбудовані датчики контролюють роботу двигунів, запобігаючи аваріям та простою;
- *висока точність сортування*: використовуються, наприклад, в ультразвукових системах для дрібнодисперсних порошків;
- *інтеграція*: компоненти з пам'яттю дозволяють адаптуватися до різних типів матеріалів, що важливо при трансформації промислових процесів.

Такі пристрої є покращеною версією традиційних вібраційних грохотів, де основний процес — розділення за крупністю — керується розумними алгоритмами.

Контрольні питання

1. Яке призначення мають високочастотні вібраційні грохоти?
2. Назвіть основні технічні характеристики високочастотних вібраційних грохотів.
3. Яке призначення мають інерційні легкі грохоти?
4. Назвіть основні технічні характеристики інерційних легких грохотів.
5. Яке призначення мають інерційні важкі грохоти?
6. Назвіть основні технічні характеристики інерційних важких грохотів.
7. Яке призначення мають ультразвукові сита?
8. На чому ґрунтується принцип дії ультразвукових сит?
9. Назвіть основні конструктивні елементи ультразвукових сит.
10. Назвіть основні переваги ультразвукових сит у порівнянні з вібраційними грохотами.
11. Назвіть основні технічні характеристики системи просіювання з генератором GTS30.
12. Яке призначення мають тумблерні грохоти?
13. Назвіть основні особливості тумблерних грохотів.
14. Назвіть основні конструктивні особливості тумблерних грохотів.
15. Назвіть основні технічні характеристики тумблерних грохотів.
16. Назвіть основні переваги тумблерних грохотів у порівнянні з вібраційними грохотами.
17. Яке призначення мають відцентрові сита?
18. На чому ґрунтується принцип дії відцентрових сит?
19. Назвіть основні конструктивні елементи відцентрових сит.
20. Поясніть роботу відцентрових сит.
21. Назвіть основні переваги відцентрових сит у порівнянні з традиційними грохотами.
22. Назвіть основні технічні характеристики відцентрових сит.

23. Яке призначення мають грохоти з прямим збудженням ситової поверхні?

24. Яка основна особливість грохотів з прямим збудженням ситової поверхні?

25. Назвіть основні конструктивні елементи грохотів з прямим збудженням ситової поверхні?

26. Поясніть роботу грохотів з прямим збудженням ситової поверхні.

27. Назвіть основні переваги грохотів з прямим збудженням ситової поверхні у порівнянні з традиційними грохотами.

28. Назвіть основні технічні характеристики грохотів з прямим збудженням ситової поверхні.

26. Яке призначення мають промивні грохоти CDE-ProGrade?

27. Які переваги мають промивні грохоти CDE-ProGrade у порівнянні з традиційними грохотами?

28. Назвіть основні технічні характеристики похилого промивного грохота CDE Infinity P-Line.

30. Назвіть основні технічні характеристики промивного горизонтального грохоту CDE Infinity H-Line

31. Назвіть основні технічні характеристики зневоднюючого грохоту CDE Infinity D-Line.

32. Назвіть основні технічні характеристики промивної системи CDE для піску і відсіву.

33. Назвіть основні технічні характеристики модульної збагачувальної установки CDE серії M.

34. Назвіть основні технічні характеристики пересувної збагачувальної установки CDE.

35. Назвіть основні характеристики та переваги інтелектуальних грохотів у порівнянні з традиційними.

4.3. Повітряні сепаратори та гідравлічні класифікатори

Повітряні сепаратори. Повітряна сепарація – це розподіл порошкоподібного матеріалу у повітряному потоці під дією гравітаційних та відцентрових сил. При використанні гарячих газів в них можна суміщати сортування і сушіння матеріалів. Повітряні сепаратори широко застосовують при виробництві цементу, гіпсу, вапна на помельних установках:

- при помелі готових в'язучих у замкненому циклі в барабанному чи валковому млині;
- при помелі сировинних компонентів перед тепловою обробкою у молотковому чи аеробильному млині;
- для осадження твердих частинок з потоку повітря у циклонах.

При виробництві будівельних матеріалів широке розповсюдження отримали прохідні і циркуляційні сепаратори.

Прохідний сепаратор (рис. 4.25) має наступний принцип дії. В сепаратор по вхідній трубі 1 в зовнішній його корпус 2 подається суміш стисненого повітря і вихідного матеріалу. Стиснутий повітряний потік, розширюючись в зовнішньому корпусі сепаратора, зменшує свою швидкість і за рахунок цього втрачає свою транспортуючу здатність. Внаслідок цього крупні часточки випадають із суміші під дією сили тяжіння і видаляються з сепаратора по патрубку 7. Далі потік суміші проходить через тангенціально встановлені лопаті 4 прямого апарата у внутрішній конусний корпус 3. У прямому апараті потік отримує обертальний рух і під дією відцентрових сил дрібні часточки відкидаються до стінок внутрішнього корпусу, сповзають по них і видаляються з сепаратора по патрубку 6. Найдрібніші часточки виносяться повітряним потоком по вихідній трубі 5. Межа поділу за масою (діаметром) часток певною мірою регулюється поворотом лопатей 4 або зміною тиску вхідного в сепаратор повітря.

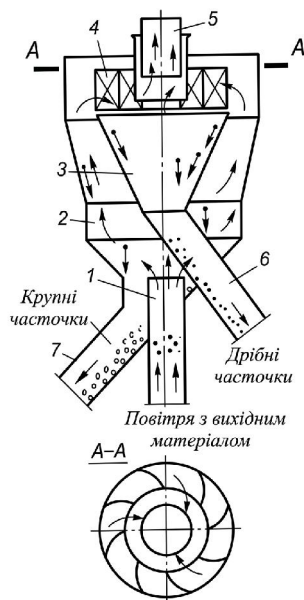


Рис. 4.25. Прохідний сепаратор:

1 – вхідна труба; 2 – зовнішній конусний корпус; 3 – внутрішній конусний корпус; 4 – лопаті напрямного апарату; 5 – вихідна труба; 6 – патрубок вивантаження матеріалу дрібного класу; 7 – патрубок вивантаження матеріалу крупного класу

Циркуляційний сепаратор (рис. 4.26) має наступний принцип дії. Вихідний матеріал, що має сортуватися, подається патрубком 1 на тарілку 5, закріплену на обертовому валу 2, з якої скидається під дією відцентрових сил. Вентилятор 3 і крильчатка 4 обертаючись разом з тарілкою 5 засмоктують повітря із нижньої зони внутрішнього корпусу. Частинки матеріалу підхоплюються висхідним потоком повітря, створеним вентилятором 3, і надходять в зону обертання крильчатки 4, де більш крупні з них під дією відцентрових сил відкидаються до стінок внутрішнього корпусу 6 і сповзають донизу.

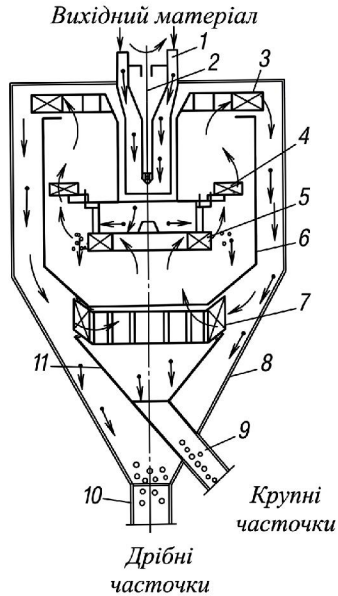


Рис. 4.26. Циркуляційний сепаратор:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – обертовий вал; 3 – лопаті вентилятора;
 4 – крильчатка; 5 – тарілка; 6 – внутрішній корпус;
 7 – жалюзі; 8 – зовнішній корпус; 9 – патрубок для
 вивантаження крупного вихідного продукту; 10 – патрубок для
 вивантаження дрібного вихідного продукту; 11 – лійка

Дрібніші частинки разом з повітрям проходять через вентилятор і попадають у простір між зовнішнім і внутрішнім конусами, де відкидаються відцентровими силами до стінок зовнішнього корпусу 8, втрачають швидкість і вивантажуються вниз патрубком 10, а повітря через жалюзі 7 повертається у внутрішній конус. Крупні часточки, відкинуті з тарілки, падають вниз або притискуються до стінок корпусу 6, де вже зі зменшеною швидкістю через лійку 11 по патрубку 9 вивантажуються із сепаратора. Режим роботи сепаратора регулюється зміною радіуса розведення лопатей крильчатки або кута лопатей жалюзі. Технічна характеристика сепараторів приведена в табл. 4.19.

Таблиця 4.19

Технічна характеристика сепараторів

Показник	Прохідний	Циркуляційний	
Діаметр зовнішнього корпусу, м	6,5	3,2	5,0
Продуктивність (по цементу), т/год.	65	15	40
Витрата газу, м ³ /год.	365·10 ³	–	–
Частота обертання ротору, об/хв.	–	245	180
Потужність, кВт	12,1	9,0	24,6
Маса, т	30,0	9,0	24,6

На рис. 4.27 наведено промислові повітряні сепаратори.



Рис. 4.27. Промислові повітряні сепаратори

Сучасний розвиток технологій подрібнення та класифікації сипких матеріалів у виробництві будівельних матеріалів зумовив появу нових конструкцій повітряних сепараторів, які відзначаються підвищеною ефективністю розділення, енергоощадністю та можливістю точного регулювання гранулометричного складу продукту. На відміну від традиційних прохідних і циркуляційних сепараторів, сучасні апарати забезпечують більш круту сепараційну характеристику та зниження вмісту дрібних фракцій у грубому продукті.

Високоєфективні повітряні сепаратори (рис. 4.28). Вони є найбільш поширеними у промисловості, їх робота базується на використанні обертового класифікаційного органу (ротора) з регульованою частотою обертання. Матеріал, що надходить у сепаратор разом із повітряним потоком, піддається дії відцентрових та аеродинамічних сил. Великі частинки під дією відцентрових сил відкидаються до периферії та виводяться як грубий продукт, тоді як дрібні частинки захоплюються повітряним потоком і відводяться як готовий продукт.

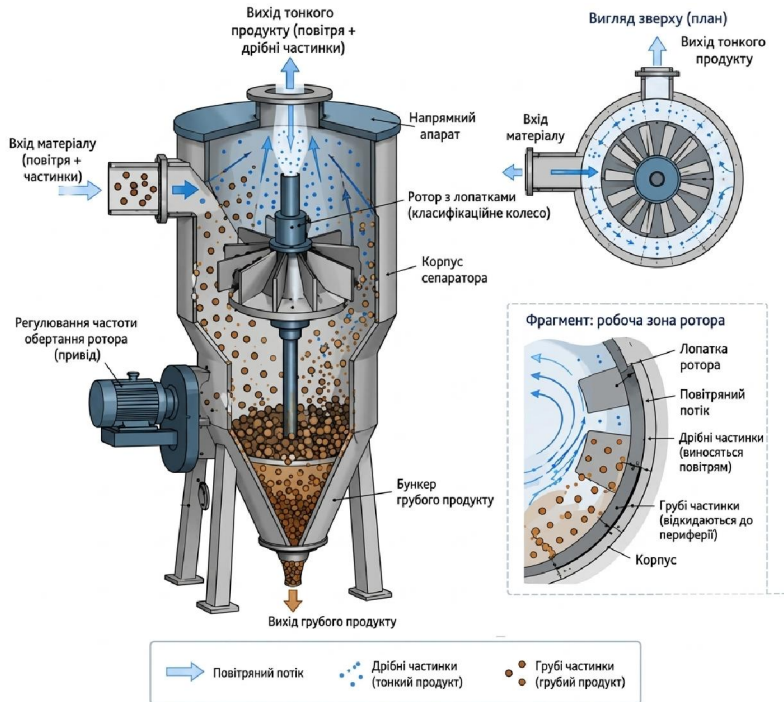


Рис. 4.28. Схема і принцип роботи сучасного високоєфективного повітряного сепаратора

Основними перевагами високоєфективних сепараторів є:

- висока точність класифікації;
- можливість регулювання граничного розміру частинок;

- зниження циркуляційного навантаження в замкнених помольних системах;
- зменшення питомих енерговитрат.

Динамічні повітряні сепаратори. Вони є різновидом вискоефективних апаратів і характеризуються наявністю ротора з лопатками або решітчастими елементами, що обертаються. Частота обертання ротора визначає розмір граничної частинки, яка може пройти через сепаратор. Таким чином, регулювання режиму роботи здійснюється шляхом зміни швидкості обертання ротора та витрати повітря.

Перевагами динамічних сепараторів є стабільність роботи при змінних навантаженнях і можливість оперативного керування процесом класифікації.

Статично-динамічні сепаратори. Ці сепаратори поєднують у собі дві стадії класифікації: попереднє розділення у статичній зоні та тонке розділення у динамічній зоні. У першій зоні відбувається відділення найбільш грубих частинок під дією гравітаційних і інерційних сил, що дозволяє зменшити навантаження на ротор. У другій зоні здійснюється точна класифікація матеріалу.

Застосування комбінованих сепараторів дозволяє підвищити продуктивність апарата та знизити енергоспоживання.

Турбосепаратори. Вони працюють на основі створення інтенсивних турбулентних потоків повітря, які забезпечують ефективне розділення частинок за розмірами та густиною. У таких апаратах досягається високий ступінь диспергування матеріалу, що сприяє покращенню умов класифікації.

Турбосепаратори застосовуються переважно для тонкого та надтонкого подрібнення матеріалів.

Вихрові повітряні сепаратори. Ці сепаратори використовують енергію закрученого повітряного потоку для розділення частинок. У зоні вихору створюються умови, за яких більш важкі та крупні частинки переміщуються до периферії, а дрібні — концентруються в центральній частині потоку та виносяться з апарата.

Такі сепаратори характеризуються простотою конструкції, компактністю та відносно низькими експлуатаційними витратами.

Багатоступеневі сепаратори. Такі сепаратори передбачають наявність кількох послідовних зон класифікації, що дозволяє отримувати продукти з вузьким гранулометричним складом. Кожна ступінь виконує функцію додаткового уточнення розділення.

Застосування багатоступеневих систем є доцільним у випадках, коли пред'являються підвищені вимоги до якості кінцевого продукту.

Інтегровані сепаратори. Такі сепаратори конструктивно поєднані з помольними агрегатами, зокрема з вертикальними валковими млинами. У таких системах процес подрібнення та класифікації відбувається в єдиному апараті, що дозволяє зменшити габарити установки та підвищити її енергоефективність.

Сепаратори з автоматизованим керуванням. Такі повітряні сепаратори оснащуються системами автоматизованого керування, які забезпечують оптимізацію режимів роботи в реальному часі. Використання датчиків контролю дисперсного складу, витрати повітря та навантаження дозволяє підтримувати стабільні технологічні параметри та підвищувати якість продукції.

Гідравлічні класифікатори призначені для поділу гравійно-піщаної суміші на гравій і пісок.

Процес гідравлічної класифікації сипучих матеріалів здійснюється в рідкому (воді) середовищі. Вода використовується в якості робочого середовища та для промивання. Принцип класифікації заснований на різній швидкості осадження, від розміру, форми й густини часток і властивостей рідини. При малих швидкостях руху тіла в рідині основний опір створюється силами тертя рідини й поверхні частки, які по Стоксу дорівнює

$$P_m = 3\pi\mu dV \quad (4.4)$$

де μ – динамічна в'язкість рідини; d – діаметр частки; V – швидкість руху частки.

При значній швидкості руху частки переважне значення має сила динамічного опору

$$P_d = \varphi \rho F V^2 / 2 \quad (4.5)$$

де φ – коефіцієнт гідродинамічного опору; F – площа проекції контуру тіла на площину, перпендикулярну напрямку руху, ρ – густина рідини, кг/м^3 .

Умова рівноваги частки має місце в момент рівності сил опору й сили Архімеда, яка рівна

$$G = \pi d^3 (\rho_c - \rho) g / 6 \quad (4.6)$$

де ρ_c – густина частки, кг/м^3 .

Для часток більших за 1,5 мм досить урахувати тільки динамічний опір середовища. Прирівнявши рівняння (4.4) і (4.6) отримаємо швидкість осідання цих часток

$$\begin{aligned} \varphi \rho F V^2 / 2 &= \pi d^3 (\rho_c - \rho) g / 6 \\ V &= \sqrt{\frac{4d (\rho_c - \rho) g}{3\varphi \rho}} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Якщо розмір часток менше ніж 0,2 мм то швидкість падіння дуже мала, і при такому русі досить урахувати тільки силу тертя P_m та силу ваг G , з рівності яких випливає

$$\begin{aligned} 3\pi\mu dV &= \pi d^3 (\rho_c - \rho) g / 6 \\ V &= \frac{d^2 (\rho_c - \rho) g}{18\mu} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Гідрокласифікатор з висхідним потоком рідини показано на рис. 4.29. Гравійно-піщана суміш потоком води подається в через вхідний патрубок в дифузор 4 і далі надходить у класифікаційну камеру дрібних часток 2. Швидкість потоку в цій камері зменшується й внаслідок чого великі частки направляються вниз у класифікаційну камеру крупних часток 1. По колектору 5 подається чиста вода. Висхідний потік води захоплює дрібні частки й виносить їх через зливальний колектор

з у збезводнювальні установки. Великі частки виводяться по розвантажувальному патрубку 6, збезводнюються й транспортуються на склад. Границя поділу в межах 0,5...3,0 мм регулюється кількістю води, що подається в класифікаційну камеру, і площею її перетину шляхом установки змінних насадок.

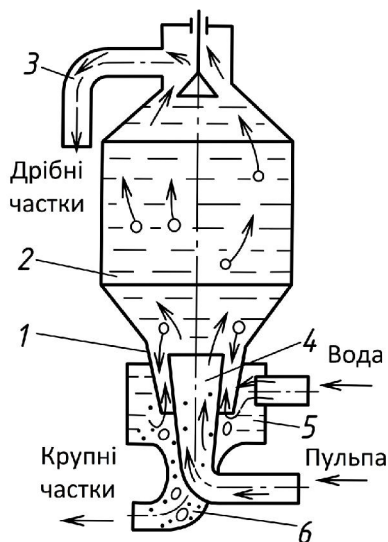


Рис. 4.29. Схема вертикального гідрокласифікатора з висхідним потоком рідини:

1 – класифікаційна камера крупних часток; 2 – класифікаційна камера дрібних часток; 3 – верхній зливний колектор; 4 – дифузор; 5 – колектор чистої води; 6 – розвантажувальний патрубок

Гідроциклони (рис. 4.30) застосовують для фракціонування дрібних пісків з границею поділу менш 0,5 мм.

Водно-піщана суміш подається під тиском 0,1-0,2 МПа по вхідному патрубку 2 по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу камери фракціонування 1, внаслідок чого потік рухається по гвинтовій спіралі з великою швидкістю. Під дією відцентрових сил інерції більш крупні частки відкидаються до периферії, випадають із потоку й вивантажуються через розвантажувальну насадку 5. Дрібні частки підхоплюються

вихровим потоком у центрі циклону й по вертикальній трубі 3 виводяться в зливальний колектор 4.

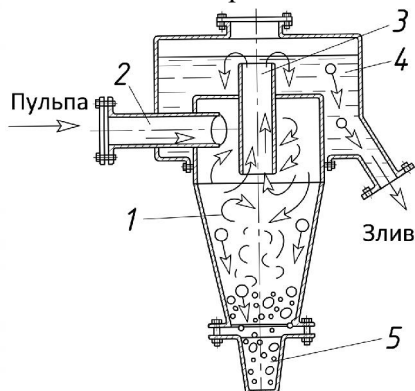


Рис. 4.30. Схема гідроциклону:

- 1 – камера фракціонування; 2 – вхідний патрубок; 3 – вертикальна труба; 4 – зливний колектор; 5 – розвантажувальна насадка

Більш гнучке регулювання процесу поділу забезпечується в установках (рис. 4.31) з декількома камерами фракціонування, що дозволяють одержувати кілька фракцій піску за рахунок різних режимів руху рідини в окремих камерах.

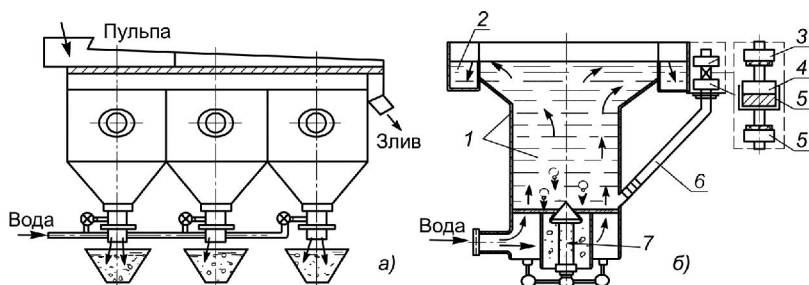


Рис. 4.31. Схема багатокамерної гідрокласифікаційної установки:

- а – компоновка установки; б – схема класифікаційної камери;
1 – камера гідрокласифікатора; 2 – зливальний колектор;
3 – індукційний датчик; 4 – поплавок з феритовою пластиною;
5 – індукційний датчик; 6 – гідростатична трубка; 7 – затвор

На рис. 4.32 показано промисловий гідрокласифікатор.



Рис. 4.32. Промисловий гідрокласифікатор

Водно-піщана суміш подається в камеру 1 знизу й виносить дрібні частки нагору в зливальний колектор 2, великі частки опускаються вниз. Для виміру густини пульпи в кожній камері встановлена гідростатична трубка 6 з індукційними датчиками 3 і 5, між якими поміщений поплавок 4 з феритовою пластиною. При нагромадженні твердих часток у пульпі її густина збільшується й поплавок піднімається до рівня верхнього датчика 3, внаслідок чого виробляється сигнал на відкриття затвору 7. Після розвантаження крупних часток густина пульпи зменшується, поплавок опускається до нижнього датчика 5 і система автоматично закриває затвор.

Технічна характеристика гідрокласифікаторів приведена в табл. 4.20.

Спиральні класифікатори призначені для мокрого очищення піску від глиняних частинок (рис. 4.33 і 4.34). Вони складаються з похилого корита (ванни) та обертової спіралі, яка транспортує грубі частинки (піску) вгору, а тонкий матеріал (глинясті частинки) виходять із зливом через зливний поріг.

Таблиця 4.20

Технічна характеристика гідрокласифікаторів

Показник	ГКД-2-100	ГКД-2-400	ГКД-2-800	ГКД-2-1200	ГКД-2-1600
Продуктивність по вихідній водоґрунтовій суміші (для $d_{гр}=1,2$ мм), м ³ /год	100	400	800	1200	1600
Розрахункова продуктивність по вихідному матеріалу, м ³ /год	20	60	до 125	до 200	до 300
Витрата води на класифікацію (для $d_{гр}=1,2$ мм), м ³ /год.	50-80	550-200	400-800	400-1200	400-1600
Зовнішній діаметр збагачувальної камери, м	0,9	1,5	1,9	2,6	2,9
Маса, кг	1030	2150	3380	7010	10240

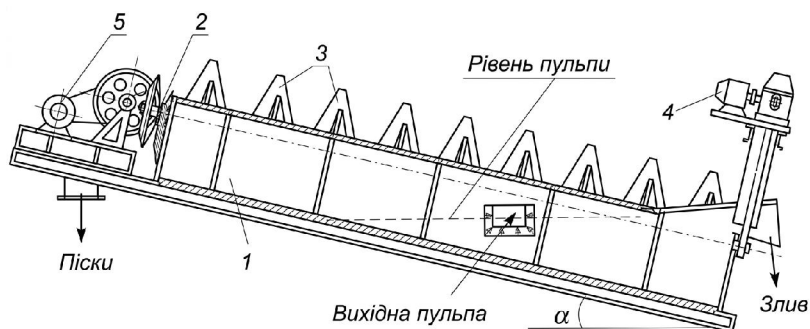


Рис. 4.33. Схема спірального класифікатора:

1 – ванна; 2 – вал; 3 – спіраль; 4 – підймальний механізм спіралі;
5 – привід



Рис. 4.34. Промислові спіральні класифікатори

Технічна характеристика спіральних класифікаторів наведена в таблиці 4.21.

Таблиця 4.21

Технічна характеристика спіральних класифікаторів

Показник	Діаметр спіралі, мм			
	750	1000	1200	1500
Довжина корита, мм	7600	8750	9800	11200
Частота обертання спіралі, об/хв.	11-26	8-20	6,3-12,7	5,1-10,3
Кут нахилу корита, град	17	17	18	18
Продуктивність за піском, т/год.	до 60	до 110	до 125	до 200
Потужність електродвигунів, кВт				
– для обертання спіралі	10,0	14,0	7; 9; 10	9,2; 10,7
– для підймання спіралі	0,6	0,6	0,4	13,5 0,6
Маса, кг	6500	9000	9850	14800

Кут нахилу ванни, швидкість обертання спіралей та концентрація твердого матеріалу у пульпі є основні фактори, які впливають на ефективність класифікації та продуктивність апарату.

Продуктивність (кг/хв.) спірального класифікатора для піску визначається за формулою

$$Q = 100knD^3 \quad (4.9)$$

де k – коефіцієнт який враховує кут нахилу дна ванни до горизонту; n – частота обертання спіралі, об/хв.; D – діаметр спіралі, м.

Кут нахилу дна ванни, градуси	10	14	18	22	26
Значення k	1,09	1,05	1,00	0,83	0,72

Через складність виносу пісків ефективність гідравлічної класифікації низька й становить 35...65 %.

Контрольні питання

1. Що таке повітряна сепарація?
2. При виробництві яких будівельних матеріалів застосовують повітряні сепаратори?
3. Які бувають повітряні сепаратори?
4. Поясніть принцип дії прохідного сепаратора.
5. Поясніть принцип дії циркуляційного сепаратора.
6. Назвіть технічні характеристики повітряних сепараторів.
7. Поясніть роботу високоефективного повітряного сепаратора.
8. Назвіть особливості роботи динамічного повітряного сепаратора.
9. Назвіть особливості роботи статистично-динамічного повітряного сепаратора
10. Назвіть особливості роботи турбосепаратора.
11. Назвіть особливості роботи вихрового повітряного сепаратора.
12. Назвіть особливості роботи багатоступеневого повітряного сепаратора.
13. Назвіть особливості роботи інтегрованого повітряного сепаратора.
14. Назвіть особливості роботи сепаратора з автоматичним керуванням.

15. Поясніть формулу Стокса.
16. Поясніть формулу швидкості осідання часток в сепараторі.
17. Поясніть роботу гідрокласифікатора з висхідним потоком рідини.
18. Поясніть роботу гідроциклону.
19. Поясніть роботу установки з декількома камерами гідрокласифікації.
20. Назвіть основні технічні характеристики гідрокласифікаторів.
20. Поясніть принцип дії спірального класифікатора.
21. Назвіть основні фактори, які впливають на ефективність класифікації та продуктивність спірального класифікатора.

5. ТРАНСПОРТУВАННЯ, ДОЗУВАННЯ, ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для реалізації процесів подрібнення і класифікації в технології виготовлення будівельних матеріалів і виробів необхідне додаткове обладнання. В даному розділі наводяться основні технологічні характеристики цього обладнання.

5.1. Транспортування будівельних матеріалів

У виробництві будівельних виробів для здійснення різних технологічних операцій необхідно перемішувати різні тверді матеріали, які є сировиною, напівпродуктами чи готовими продуктами. Для переміщення твердих матеріалів в межах заводу застосовуються підйомно-транспортні пристрої. Ці пристрої складають внутрішньозаводський транспорт підприємства.

Підйомно-транспортні пристрої поділяються на такі групи:

- 1) пристрої безперервного транспорту, які призначені для переміщення матеріалів безперервним потоком;
- 2) пристрої періодичного транспорту, які призначені для переміщення матеріалів окремими порціями.

За напрямком переміщення матеріалу розрізняють:

- 1) пристрої горизонтального переміщення;
- 2) пристрої вертикального переміщення;
- 3) пристрої змішаного (просторового) переміщення.

В залежності від характеру матеріалу розрізняють пристрої переміщення сипких і штучних вантажів. До сипких матеріалів відносяться порошкоподібні і кускові матеріали, які переміщуються навалом. До штучних матеріалів-вантажів відносяться вироби, які мають визначену форму (сортамент металу, цегла, бетонні вироби), а також матеріали, що упаковані в тару (мішки, бочки, барабани).

Періодичне транспортування здійснюється за допомогою вагонеток, підйомників, кранів та інших пристроїв.

Найбільш поширеними в межах підприємства транспортними засобами є транспортери різних видів і елеватори.

Транспортери. *Стрічковий транспортер* (рис. 5.1 і 5.2) складається з суцільної стрічки 3, яка безперервно рухається навколо двох барабанів 1 і 8, причому стрічка приводиться в рух тертям через поверхню барабану 8, який є приводним: він приводиться в дію електродвигуном через редуктор. Барабан 1 є натяжним і використовується для натягування стрічки. Натягування стрічки досягається дією ваги вантажу 10. Щоб стрічка не провисала, то під нею встановлюють ряд опорних роликів 4 і 9. Матеріал завантажується на верхню частину стрічки через завантажувальну лійку 2 і переміщується при русі стрічки до місця розвантаження. Розвантаження може бути здійснене у будь-якому місці на шляху руху стрічки за допомогою скидального барабанного скидача. Барабанний скидач складається з двох барабанів 5 і 6, що згинають стрічку у вигляді букви S. Матеріал скидається з барабана 6 і видаляється через лоток 7. Барабанний скидач закріплюються нерухомо або монтується на візку, який може бути встановлений в будь-якому місці. Найчастіше застосовують гумово-тканинні стрічки, що складаються з декількох шарів гуми і бавовняної тканини. При транспортуванні гарячих матеріалів застосовують стрічки, які виготовлені з тонкої, термічно обробленої сталі.

Для збільшення продуктивності транспортера при переміщенні сипких матеріалів робочій частині стрічки надають форму у вигляді жолоба шляхом застосування роликів спеціального профілю. Нижня гілка стрічки, що є неробочою, залишається плоскою.

Стрічкові транспортери застосовуються для горизонтального (під кутом до горизонтальної площини до 22°) переміщення сипких і штучних вантажів при довжині транспортування до 150-200 м. Швидкість руху стрічки для сипких матеріалів приймається від 0,5 до 2 м/с; нижчі швидкості вибирають для легких тонкоподрібнених матеріалів (щоб уникнути розпилення при їх переміщенні), а вищі швидкості –

для великозернистих матеріалів. Для штучних вантажів приймають швидкість руху стрічки 0,5-0,8 м/с.

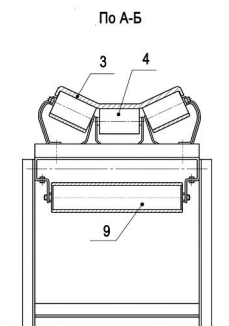
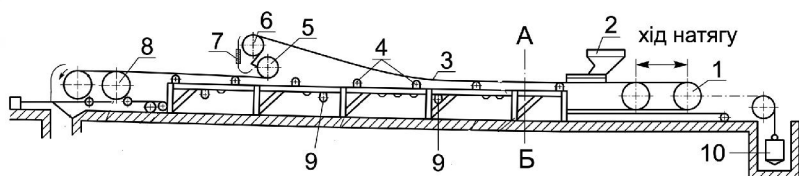


Рис. 5.1. Схема стрічкового транспортеру:

- 1 – натяжний барабан; 2 – завантажувальна лійка; 3 – стрічка; 4 – верхні опорні ролики; 5 – нижній барабан скидача; 6 – верхній барабан скидача;
- 7 – лоток; 8 – приводний барабан;
- 9 – нижні опорні ролики; 10 – вантаж для натягування стрічки

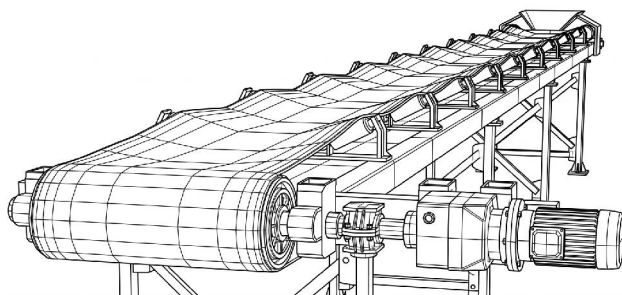


Рис. 5.2. Стрічковий транспортер з гумовою стрічкою

В табл. 5.1 наведені технічні характеристики стрічкових транспортерів.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика стрічкових транспортерів

Ширина стрічки, мм	Швидкість руху стрічки, м/с	Продуктивність, м³/год.
400	0,2-3,0	50-200
500		60-200
650		200-450
800		350-600
1000		500-1000
1200		600-1500
1400		700-1800
1600		600-2200

Пластинчасті транспортери використовуються для транспортування масивних окремих вантажів, які проблематично переміщати стрічковими конвеєрами. На рисунках 5.3 і 5.4 приведено відповідно схему і загальний вид промислового пластинчастого транспортеру.

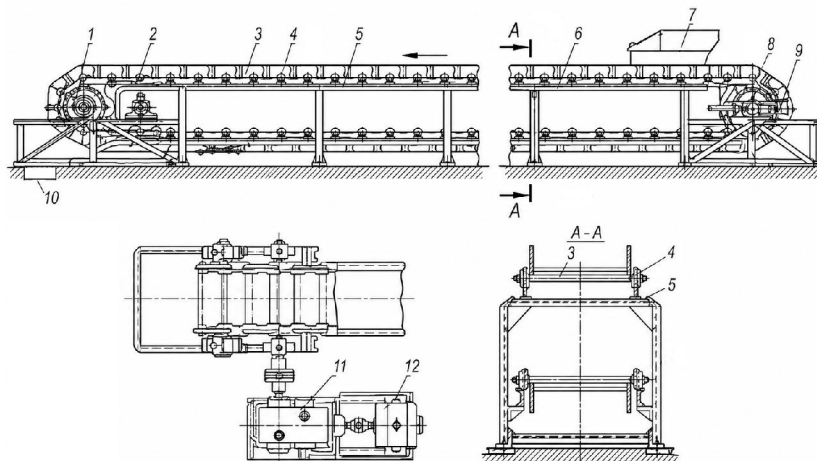


Рис. 5.3. Схема пластинчастого транспортера

- 1 – привідна зірочка; 2 – ланцюг; 3 – пластина; 4 – коток;
 5 – направляюча шина; 6 – станина; 7 – завантажувальний отвір; 8 –
 натяжна зірочка; 9 – натяжна конструкція; 10 – розванта-
 жувальний отвір; 11 – редуктор; 12 – електродвигун

Пластинчастий транспортер являє собою нескінчену стрічку, що складається з шарнірних ланцюгів, до яких прикріплені пластини, що несуть матеріал, який потрібно перемістити. На шарнірах ланцюгів розміщені ролики, які котяться вздовж направляючих елементів, що прикріплені до станини транспортера. Ланцюги транспортера огинають зірочки, з яких одна є приводною, а інша – натяжною.

Завантаження матеріалу може здійснюватися у будь-якій точці вздовж стрічки. Вивантаження здійснюється зі сторони приводної зірочки. При переміщенні сипких матеріалів пластини забезпечуються бортами.

Пластинчасті транспортери є дорожчими від стрічкових транспортерів і застосовуються для переміщення крупнозернистих матеріалів або матеріалів, що мають високу температуру, а також при переміщенні під великим кутом.

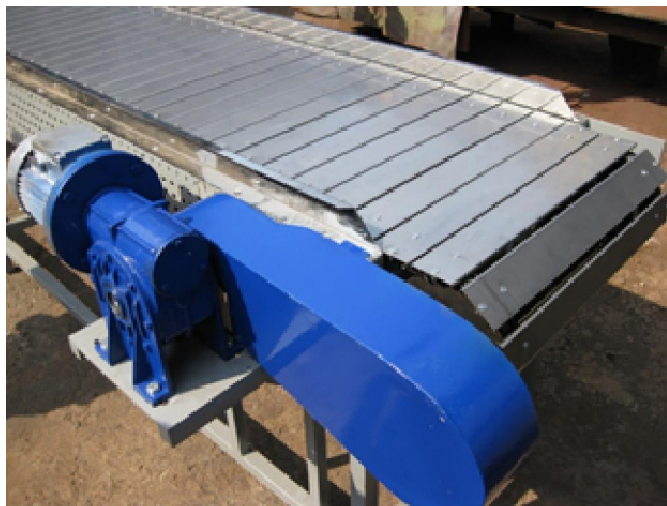


Рис. 5.4. Промисловий пластинчастий транспортер

Технічна характеристика стрічкових транспортерів наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Технічна характеристика пластинчастих транспортерів

Характеристика параметру	Діапазон
Відстань переміщення матеріалу, м	до 150
Ширина стрічки, мм	650-1000
Кут нахилу до горизонту стрічки/(при наявності поперечних перегородок), градуси	20/(30-45)
Швидкість руху стрічки, м/с	0,2-0,6
Продуктивність, т/год	5,7-200
Потужність двигуна, кВт	0,75-5,0

Продуктивність стрічкових і пластинчастих транспортерів визначається за залежністю

$$Q = \rho B h v k \quad (5.1)$$

де Q – продуктивність транспортеру; ρ – густина матеріалу; B – ширина стрічки; h – висота заповнення; v – швидкість переміщення стрічки; k – коефіцієнт заповнення стрічки матеріалом.

Скребковий транспортер (рис. 5.5 і 5.6) складається з нерухомого жолоба 1, в якому рухається нескінченний ланцюг 2 з прикріпленими до нього скребками 3. Ланцюг приводиться в рух за допомогою приводної зірочки 5; зірочка 7 є натяжною. На шарнірах ланцюга закріплені ролики 4, які котяться вздовж направляючих 6. Скребки захоплюють і переміщують по дну жолоба матеріал, що надходить, і який розвантажується або з іншого кінця жолоба, або через розвантажувальний отвір 9. Застосовуються для переміщення дрібнозернистих і порошковоподібних матеріалів.

Основна перевага скребкового транспортера у його продуктивності, а також можливості переміщати вантаж на значні відстані та на складних трасах з поворотами. Крім того, агрегат може переміщувати матеріали високої температури. Скребкові транспортери надійні та невибагливі в експлуатації, можуть працювати просто неба. Під замовлення комплектуються верхніми і нижніми захисними екранами для

захисту вантажу, що переміщується, від атмосферних опадів або зменшення запиленості в приміщенні.

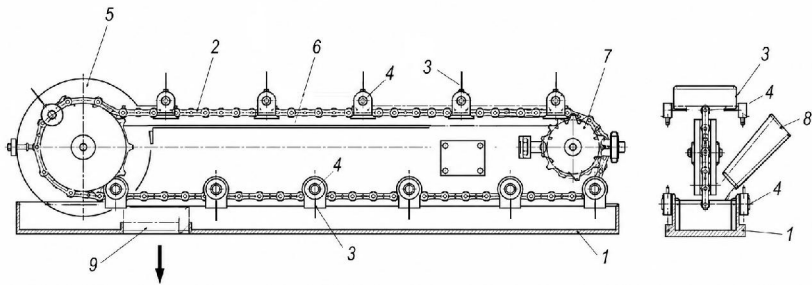


Рис. 5.5. Схема скребкового транспортеру:

- 1 – жолоб; 2 – ланцюг; 3 – скребки; 4 – ролики; 5 – привідна зірочка;
6 – направляюча; 7 – натяжна зірочка; 8 – завантажувальний лоток;
9 – розвантажувальний отвір



Рис. 5.6. Промислові скребкові транспортери

Перевагами скребкових транспортерів, порівняно зі стрічковими транспортерами, є простота пристрою, зручність завантаження і розвантаження матеріалу в будь-якій точці.

До недоліків відносяться: – підвищена витрата енергії, велике зношення скребків.

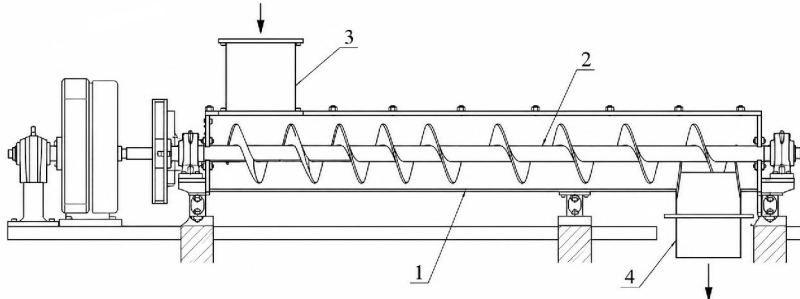
Технічна характеристика скребкових транспортерів наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Технічна характеристика скребкових транспортерів

Характеристика параметру	Діапазон
Відстань переміщення матеріалу, м	3-60
Ширина стрічки, мм	650-1000
Температура матеріалу, градуси Цельсія	до 500
Кут нахилу до горизонту стрічки, градуси	до 45
Швидкість руху стрічки, м/с	0,25-0,75
Продуктивність, т/год	20-175
Потужність двигуна, кВт	0,75-5,0

Гвинтові транспортери — це механізми безперервної дії, призначені для переміщення сипких, дрібнокускових та пилоподібних матеріалів за допомогою обертового гвинта (шнека). Конструкція (рис. 5.7 і 5.8) може включати жолоб або трубу, а гвинти можуть бути суцільними або у вигляді окремих лопаток для різних матеріалів, а також транспортери можуть мати різні типи приводів.

**Рис. 5.7.** Схема гвинтового транспортеру:

1 — жолоб; 2 — обертовий гвинт (шнec); 3 — завантажувальний патрубок; 4 — розвантажувальний патрубок

Працює транспортер наступним чином: продукт подається через завантажувальний отвір і просувається обертовим валом (шнеком) на вивантаження до вивантажувального патрубку.

Максимальне число обертів гвинта визначається за формулою ($n_{\max}$, об./хв.):



Рис. 5.8. Загальний вид гвинтового транспортеру

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

де $a = 30-60$ (малі значення вибираються для важких стираючих матеріалів, більші – для дрібних); D – діаметр гвинта, м.

Швидкість руху матеріалу в гвинтовому транспортері, м/с:

$$V = \frac{Sn}{60}, \quad (5.3)$$

де S – крок гвинта.

Технічна характеристика гвинтових транспортерів залежать від моделі та призначення, приведена в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Технічна характеристика гвинтових транспортерів

Технічний параметр	Діапазон
Відстань переміщення матеріалу, м	30-40
Діаметр жолоба (труби), м	110-400
Кут нахилу до горизонту, градуси	до 60
Частота обертання гвинта (шнека), об/хв.	10-120
Швидкість руху стрічки, м/с	0,25-0,75
Продуктивність, т/год.	1-100
Потужність двигуна, кВт	1,1-11,0

До переваг гвинтових транспортерів відносяться:

- 1) компактність, простота пристрою й обслуговування;

2) герметичність, особливо важлива при переміщенні токсичних матеріалів.

Недоліками гвинтових транспортерів є:

- 1) висока витрата енергії;
- 2) значне зношення стінок жолоба і поверхні гвинта;
- 3) підвищений знос гвинта та корпусу при роботі з абразивними матеріалами, що переміщується.

Пневматичні транспортери застосовуються при переміщенні сухих порошковоподібних і дрібнозернистих матеріалів. Вони приводяться в дію за допомогою повітря, що рухається в трубопроводі. Переміщуваний матеріал вводиться у трубопровід через завантажувальні пристрої, захоплюється струменем повітря і транспортується до місця розвантаження.

Всмоктувальний пневматичний транспортер приведено на рис. 5.9. При включеному вакуумному насосі 5 у трубопроводі 2 створюється розрідження і повітря всмоктується в нього разом з переміщуваним матеріалом. Всмоктування відбувається через приймальне сопло 1; далі суміш повітря з матеріалом трубопроводом 2 надходить у розвантажувальний бункер 3, де повітря відокремлюється від матеріалу, який надходить потім у приймальний бункер 6. Розвантажувальний бункер будуються у вигляді циклонів. З розвантажувального бункера повітря надходить у фільтр 4, де від повітря відокремлюються невилучені в розвантажувачі частинки матеріалу.

Всмоктувальні пневматичні установки застосовуються для переміщення матеріалу на відстань до 100 м з різних місць до однієї точки розвантаження. Установки застосовуються при розрідженнях не більше 0,5-0,6 ат.

Нагнітальний пневматичний транспортер (рис. 5.10) працює наступним чином. Компресор 1 нагнітає повітря в трубопровід 2, в який через спеціальний живильник 3 подається переміщуваний матеріал. Суміш повітря з матеріалом трубопроводом 2 надходить у розвантажувальний бункер 4, де відбувається відокремлення матеріалу, після чого повітря через фільтр 5 виводиться в атмосферу. Надлишковий тиск повітря в нагнітальних установках досягає 3-4 ат.

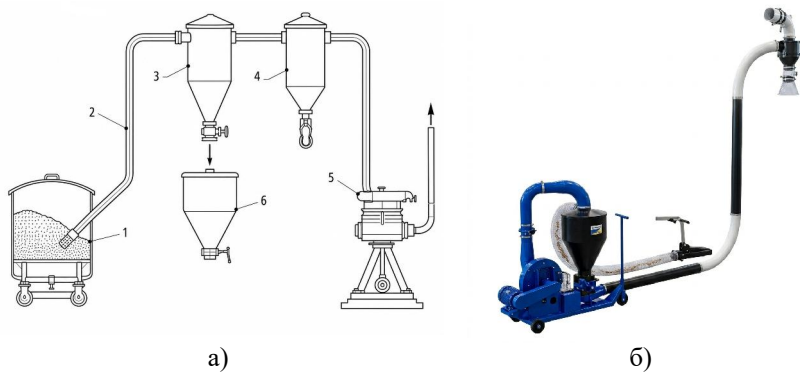


Рис. 5.9. Всмоктувальний транспортер:

а) технологічна схема; б) загальний вид;

1 – приймальне сопло; 2 – трубопровід; 3 – розвантажувальний бункер (циклон); 4 – фільтр; 5 – вакуумний насос; 6 – приймальний бункер

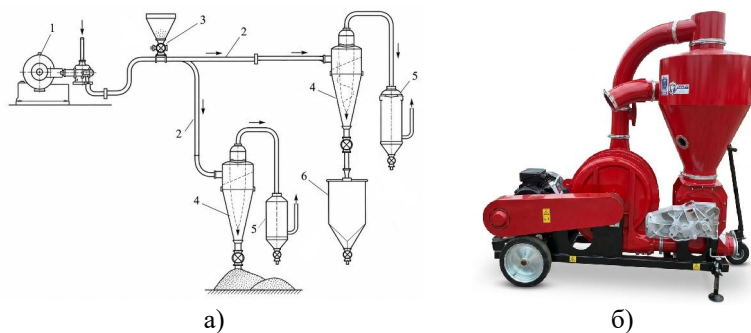


Рис. 5.10. Нагнітальний пневматичний транспортер:

а) технологічна схема; б) загальний вид;

1 – компресор; 2 – трубопровід; 3 – живильник; 4 – розвантажувальний бункер; 5 – фільтри; 6 – приймальний бункер

Переваги пневматичного транспортера полягають у простоті, надійності, повній герметичності і компактності установки.

Основними недоліками пневматичних транспортерів є підвищена витрата енергії а також зношення трубопроводів при переміщенні абразивних матеріалів. Для переміщення вологих, липких і крупнозернистих матеріалів він непридатний.

Технічні характеристики пневматичних транспортерів наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Технічна характеристика пневматичних транспортерів

Характеристика параметру	Діапазон
Виробнича потужність, т/год.	до 25
Максимальна відстань транспортування, м	70
Швидкість переміщення суміші, м/с	до 10
Концентрація суміші, кг/кг	250/250
Розрідження у всмоктувальних транспортерах, ат	05-06
Тиск у нагнітальних транспортерах, ат	3-4
Потужність двигуна, кВт	38,5
Напруга, В	380
Діаметр трубопроводу, мм	160
Маса, кг	720

Ковшові елеватори призначені для підйому по вертикалі або крутому нахилу (понад 60°) насипних вантажів (пилоподібних, зернистих, шматкових).

Ланцюговий елеватор (рис. 5.11 а) складається з нескінченної ланцюгової стрічки 2, на якій закріплені ковші 3. Ланцюги огинають дві зірочки, які розташовані у верхньому і нижньому кінцях елеватора. Вал привідного барабана обертається в нерухомих підшипниках, тоді як вал натяжного барабана встановлений у рухомих підшипниках, які за допомогою гвинта 5 можна переміщати по вертикалі, чим і досягається натягування стрічки чи ланцюга. Весь пристрій розміщений у кожусі 4. У нижній частині кожуха міститься лійка 7, через яку завантажуються переміщуваний матеріал. Далі матеріал захоплюється ковшами і піднімається нагору; при переході через верхній барабан ковші перекидаються, і матеріал

під дією відцентрової сили та сили тяжіння висапається в приймальний жолоб 8. Для полегшення розвантаження тихохідних елеваторів їх часто встановлюють похило, під кутом $45-70^0$ до горизонту. Ланцюговий елеватор застосовують при високих температурах.

На відміну від ланцюгового елеватора *стрічковий елеватор* (рис. 5.11 б), в конструктивному відношенні, замість ланцюгів оснащений полотняною замкнутою стрічкою. Стрічковий елеватор застосовують при температурах до 140°C .

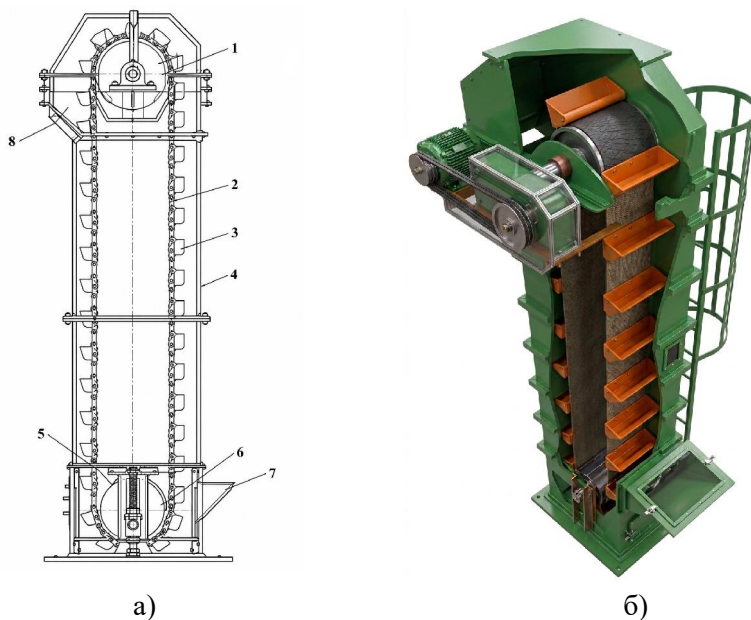


Рис. 5.11. Схеми ковшових елеваторів:

а) ланцюговий елеватор; б) стрічковий елеватор

1 – привідний барабан; 2 – ланцюгова стрічка (полотняна стрічка);

3 – ківш; 4 – кожух; 5 – гвинт; 6 – натяжний барабан; 7 – лійка;

8 – приймальний жолоб

Технічні характеристики ковшових елеваторів наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Технічна характеристика ковшових елеваторів

Показник	Значення
Максимальна висота підйому матеріалу, м	до 60
Місткість ковша, л	1-3
Коефіцієнт заповнення ковша, %	60-80
Швидкість руху ланцюга (полотна), м/с	1-4
Максимальна продуктивність, м ³ /год	до 5

Контрольні питання

1. Назвіть основні групи прийомно-транспортних пристроїв.
2. Поясніть роботу стрічкового транспортера.
3. Назвіть технічні характеристики стрічкових транспортерів.
4. Поясніть роботу пластинчастого транспортера.
5. Назвіть технічні характеристики пластинчастих транспортерів.
6. Поясніть формулу продуктивності стрічкових і пластинчастих транспортерів.
7. Поясніть роботу скребкового транспортера.
8. Назвіть технічні характеристики скребкових транспортерів.
9. Поясніть роботу гвинтового транспортера.
10. Поясніть формулу швидкості руху матеріалу в гвинтовому транспортері.
11. Назвіть технічні характеристики гвинтових транспортерів.
12. Поясніть роботу всмоктувального пневматичного транспортера.
13. Поясніть роботу нагнітального пневматичного транспортера.
14. Назвіть технічні характеристики пневматичних транспортерів.
15. Поясніть роботу ланцюгового елеватора,
16. Назвіть технічні характеристики ковшових елеваторів.

5.2. Живильники

Живильники стабілізують технологічний процес і роботу машин, дають змогу механізувати й автоматизувати виробництво. Їх застосовують для рівномірної і безперервної подачі матеріалів із бункерів на транспортувальні машини, дозатори й інше технологічне устаткування.

Живильники (рис. 5.12) за характером руху робочих органів розрізняють з безперервним рухом по замкненому контуру (пластинчасті, стрічкові, ланцюгові), коливальним (лоткові, вібраційні, секторні) та обертальним рухами (гвинтові, дискові, барабанні). Вибір типу живильника залежить від розміру матеріалу, що транспортується, його густини, заданої продуктивності й надійності в роботі.

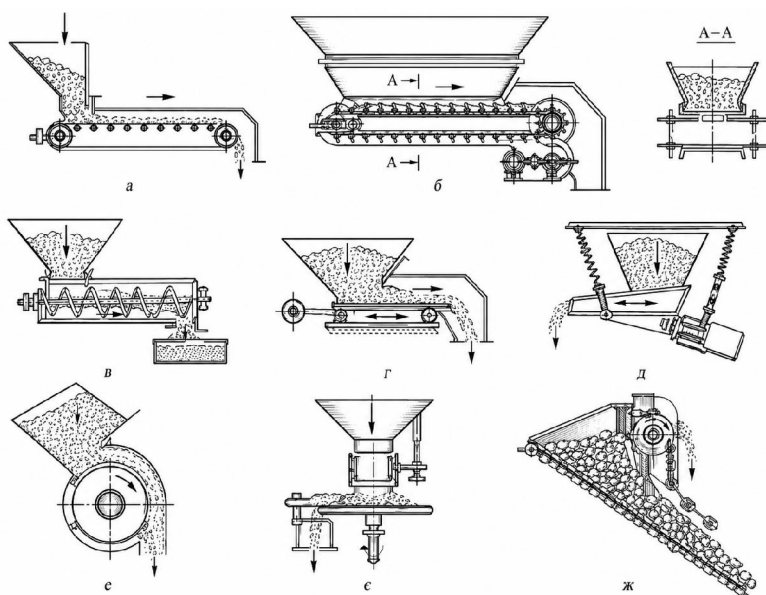


Рис. 5.12. Схеми живильників:

- а – стрічковий; б – пластинчастий; в – гвинтовий;
г – хитний; д – вібраційний; е – барабанний;
є – дисковий; ж – ланцюговий

Стрічкові живильники (рис. 5.13) застосовують для видачі з бункерів матеріалів усіх видів – від пилоподібних до середньо-кускових. Стрічка живильника приводиться в рух електродвигуном. Продуктивність живильника регулюють підніманням чи опусканням шибер.

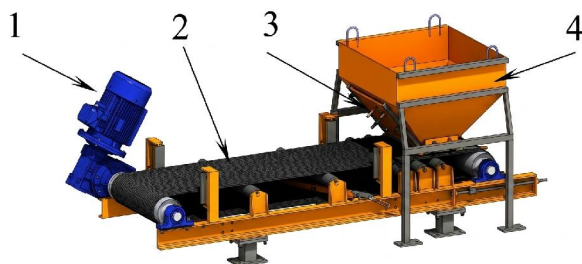


Рис. 5.13. Стрічковий живильник:

1 – електродвигун; 2 – стрічка живильника; 3 – шибер;
4 – завантажувальний бункер

Пластинчасті живильники (рис. 5.14) мають вигляд конвеєра. Їх застосовують для рівномірної подачі кускового матеріалу в дробарки, а також для транспортування матеріалу після випалювання в печах. Живильник може встановлюватися горизонтально чи під кутом 15° при гладеньких пластинах і до 25° при пластинах з виступами.

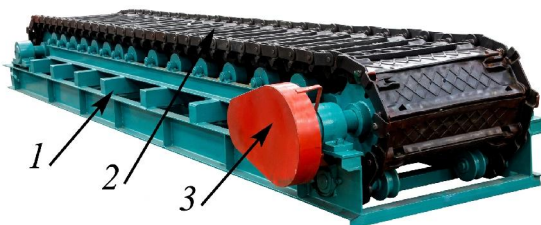
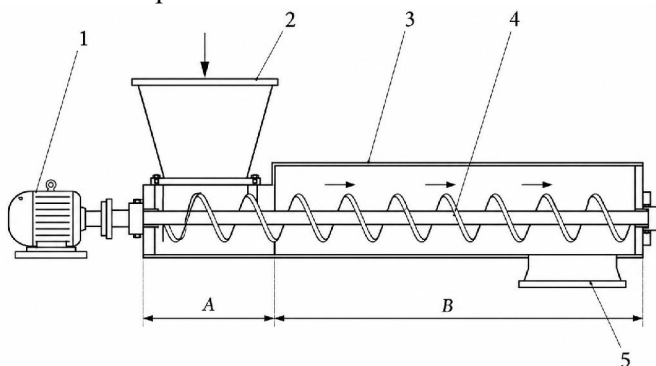


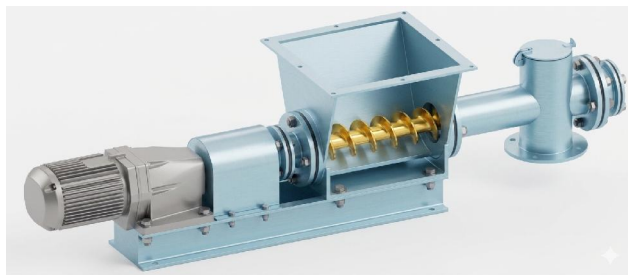
Рис. 5.14. Пластинчастий живильник:

1 – рама; 2 – пластинчаста стрічка 3 – електродвигун

Гвинтові (шнекові) живильники (рис. 5.15) застосовують для рівномірної подачі дрібно-кускових чи порошкових матеріалів.



а)



б)

Рис. 5.15. Гвинтовий живильник:

- а – схема живильника; б – загальний вид живильника;
 1 – електродвигун; 2 – завантажувальний бункер;
 3 – кожух; 4 – шнек; 5 – розвантажувальний отвір;
 А – зона завантаження матеріалу; В – зона переміщення матеріалу

Для подачі матеріалу шнек приводиться в обертний рух електродвигуном через редуктор. В межах бункера знаходиться зона завантаження матеріалу А, а в межах кожуха – зона його переміщення В. В зоні завантаження шнек має менший діаметр ніж в зоні переміщення матеріалу. Зменшення діаметра шнека в

зоні завантаження дає можливість зменшити потужність електродвигуна.

Хитні живильники (рис. 5.16) застосовують для рівномірної подачі дрібних матеріалів і матеріалів середнього розміру. Хитний рух бункеру живильника завдає кривошипно-шатунний механізм, який приводиться в дію електродвигуном.

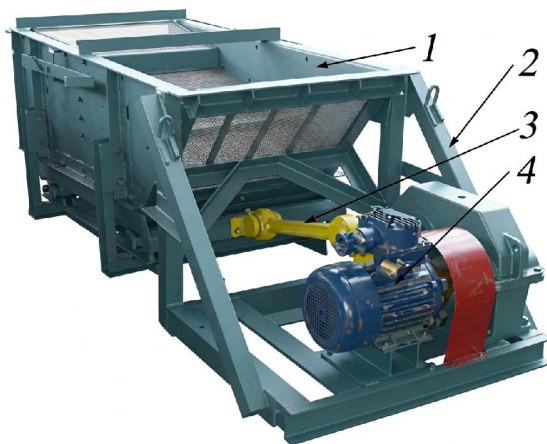


Рис. 5.16. Хитний живильник:

1 – завантажувальний бункер; 2 – рама;
3 – кривошипно-шатунний механізм; 4 – електродвигун

Вібраційні живильники (рис. 5.17 і 5.18) з електромагнітним приводом призначені для дозування дрібних і кускових матеріалів розміром до 400 мм. Вібраційний живильник складається із лотка 2 і прикріпленого до нього електромагнітного вібратора 3. Живильник підвішується на чотирьох пружинних підвісках-амортизаторах 1. Живильники випускають із верхнім і нижнім розміщенням. По лотку матеріал рухається під дією сил інерції в період його зворотного ходу.

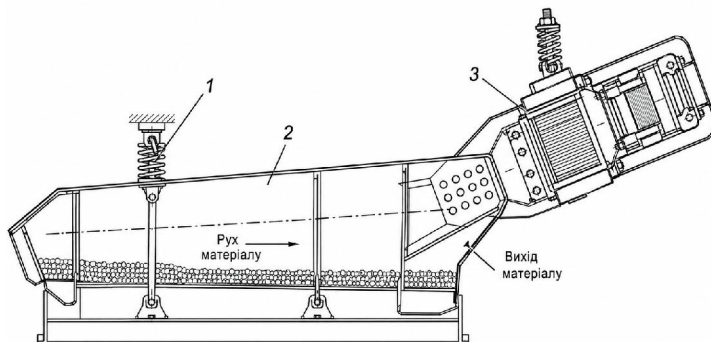


Рис. 5.17. Схема вібраційного живильника:

1 – амортизаційна підвіска;
2 – лоток; 3 – електромагнітний вібратор



Рис. 5.18. Загальний вид вібраційних живильників

Барабанні живильники (рис. 5.19) застосовують для подачі порошкових і дрібнокускових матеріалів. Їх використовують як самостійні пристрої або разом із дозаторами.

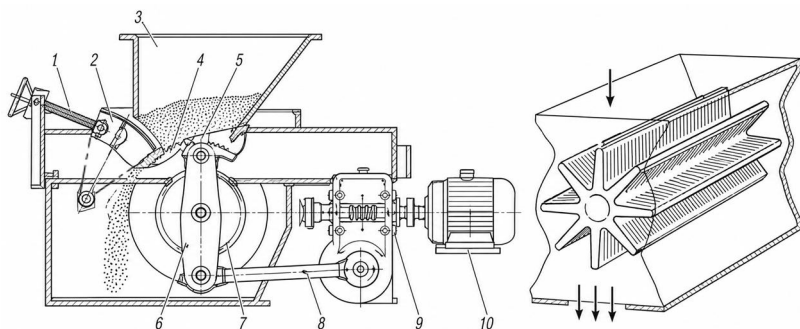


Рис. 5.19. Барабанный живильник:

- 1 – гвинтовий пристрій; 2 – секторна засувка;
 3 – завантажувальний бункер; 4 – барабан; 5 – собачка;
 6 – двоплечний важіль; 7 – храпове колесо; 8 – кривошипно-шатунний механізм; 9 – черв'ячний редуктор; 10 – електродвигун

Дискові (тарілчасті) живильники (рис. 5.20) застосовують для безперервної і рівномірної подачі матеріалів розміром до 150 мм. Вони мають вигляд горизонтально розміщеного диска 2 на вертикальному валу 1, що приводиться в рух електродвигуном 8 через редуктор 9.

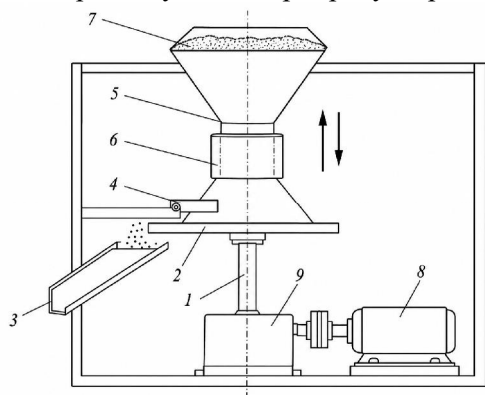


Рис. 5.20. Дисковий живильник:

- а – схема живильника; б – зовнішній вигляд промислового живильника; 1 – вертикальний вал; 2 – диск (тарілка); 3 – лоток;
 4 – скидальний ніж; 5 – бункер; 6 – обойма; 7 – сипкий матеріал;
 8 – електродвигун; 9 – редуктор

Матеріал з бункера 5 висипається на диск, набуває форму конуса і скидається ножем 4 у розвантажувальний лотік 3. Розміри конуса визначаються кутом природного укосу матеріалу і відстанню від рухомої обойми 6 до диска.

Продуктивність живильника регулюють двома способами – підніманням чи опусканням рухомої обойми, або зміною положення скидального ножа. Змінивши положення скидального ножа, який регулює кільце матеріалу, що скидається, змінюють і продуктивність живильника.

Ланцюгові живильники (рис. 5.21) застосовують для безперервної і рівномірної подачі сипучих матеріалів. Матеріал із бункера або приймального пристрою надходить у похилий жолоб (лоток). Тут він накопичується шаром і під дією сили тяжіння частково просувається вниз до робочої зони живильника. Усередині жолоба рухається нескінченний ланцюг. Ланцюг приводиться в рух від привідного барабана (зірочки). Ланцюг захоплюють матеріал і примусово переміщує його вздовж жолоба в напрямку розвантаження.

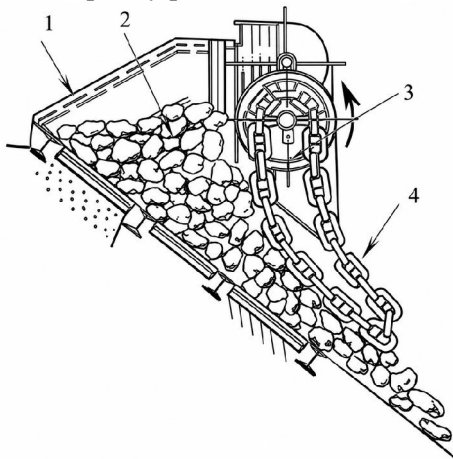


Рис. 5.21. Ланцюговий живильник:
1 – похилий жолоб; 2 шар матеріалу;
3 – привідний барабан; 4 – ланцюг

У верхній частині розміщено привід (електродвигун із редуктором), який обертає приводну зірочку. Вона передає рух ланцюгу. Швидкість руху ланцюга може регулюватися, що дозволяє змінювати продуктивність живильника. У нижній частині жолоба матеріал сходить під дією сили тяжіння у приймальний пристрій (конвеєра, дробарки тощо).

Контрольні питання

1. Яке призначення мають живильники?
2. Як поділяють живильники за характером їх руху?
3. Поясніть призначення і роботу стрічкових живильників.
4. Поясніть призначення і роботу пластинчастих живильників.
5. Поясніть призначення і роботу гвинтових живильників.
6. Поясніть призначення і роботу хитних живильників.
7. Поясніть призначення і роботу вібраційних живильників
8. Поясніть призначення і роботу дискових (тарілчастих) живильників.
9. Поясніть призначення і роботу барабанних живильників.
10. Поясніть призначення і роботу ланцюгових живильників.

5.3. Апарати пиловловлювання

Апарати пиловловлювання включають циклони, рукавні фільтри та електрофільтри.

Циклони (рис. 5.22) застосовують для сухого очищення газу (повітря), що використовувався енергоносієм в сепараторах, від пилу з метою запобігання забрудненню навколишнього середовища.

Запилений газ (повітря) надходить по дотичній у циклон через тангенціально вмонтований патрубок 5. Завдяки цьому повітря рухається по спіралі в середині циліндричної 3 і конічної частин корпусу 5. Пил відцентровими силами відкидається до внутрішніх стінок корпусу й переміщається

вниз у бункер 1. Очищений газ (повітря) відводиться випускною трубою 6 в атмосферу.

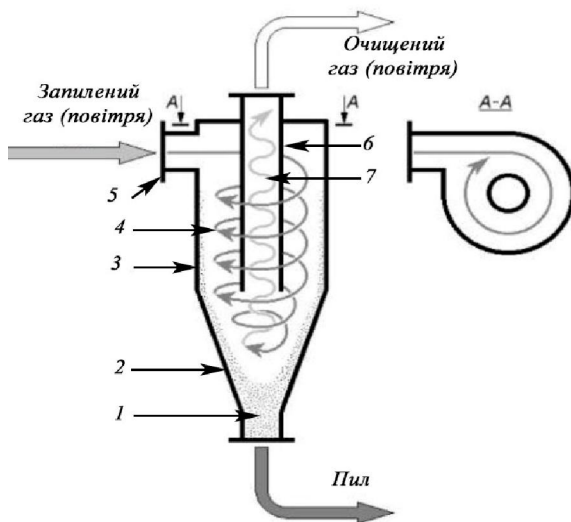


Рис. 5.22. Схема циклону:

1 – бункер пилу; 2 – конічна частина корпусу; 3 – циліндрична частина корпусу; 4 – течія запиленого газу (повітря); 5 – вхідний тангенціальний патрубок; 6 – випускна труба; 7 – течія очищеного газу (повітря)

При великих витратах запиленого газу замість одного циклону великого діаметра застосовують кілька циклонів меншого діаметра, об'єднаних в одному корпусі. Такі апарати називають *батарейними циклонами* (рис. 5.23). У загальному корпусі батарейного циклону розташовані циклонні елементи, що герметично закріплені в трубних решітках 4. Запилений газ через вхідний патрубок надходить у газорозподільну камеру 2, а з неї – в циклонні елементи 3. У кільцевому просторі між корпусом елемента і патрубком для виведення очищеного газу розміщені лопатеві пристрої 6, що надають вхідному газовому потоку обертальний рух. Пил відкидається відцентровою силою до стінок апарату, рухається вниз і зсипається з усіх елементів у загальний бункер. Очищений газ виходить з елементів труб у загальну камеру і видаляється з апарата через верхній патрубок

у атмосферу.

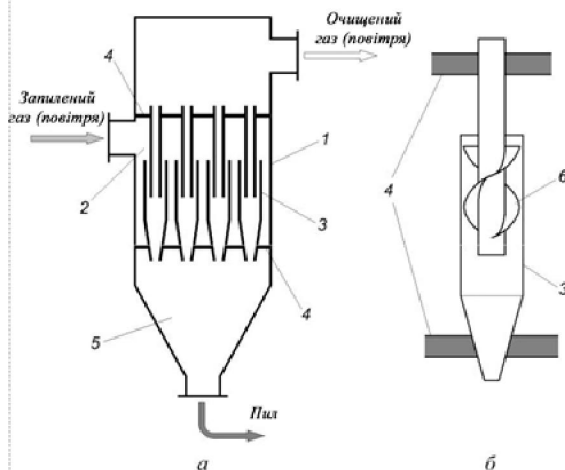


Рис. 5.23. Схема батарейного циклона (а) і його елемента (б):

1 – корпус; 2 – газорозподільча камера; 3 – корпус циклонного елемента; 4 – трубна решітка; 5 – бункер для пилу; 6 – лопатеві пристрої для закручування газового потоку всередині циклонних елементів

На рис. 5.24 показано загальний вид промислових циклонів.



Рис. 5.24. Загальний вид промислових циклонів

Батарейний циклон забезпечує більш високу ступінь очищення, порівняно із звичайним циклоном, проте має більш складну конструкцію та більш високий гідродинамічний опір. Технічні характеристики циклонів приведена в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Технічна характеристика циклонів

Показники	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11
Кут нахилу кришки і вхідного патрубку циклона, град	15	15	24	11
Внутрішній діаметр циклону, мм	400-800	200-800	400-1000	400-800
Висота вхідного патрубку (внутрішній розмір), мм	0,06D	0,06D	1,11D	0,48D
Висота циліндричної частини корпусу, мм	2,26D	1,51D	2,11D	2,08D
Висота конуса циклона, мм	0,3D	0,3D	0,4D	0,3D
Коефіцієнт гідравлічного опору, H/m^2	1025	1075	588	1760
Діаметр циклона, мм	400	600	800	1000
Продуктивність циклона, $m^3/год$	1690	3810	6760	12800

Рукавні фільтри – це високоефективні промислові апарати (установки) безперервної дії, які призначені для сухого видалення дрібнодисперсного пилу з повітря, технологічних газів, та аспіраційних викидів від різних технологічних агрегатів (до 99,99% очищення). Для затримання дрібнодисперсних частинок вони використовують тканинні рукави. Схема рукавного фільтра показана на рис. 5.25, загальний вид на рис. 5.26.

Рукавний фільтр складається з металевого корпусу 2, вхідного 1 і вихідного 3 патрубків, струшуючого механізму 4, рукавів 5, горизонтальної перемички 6 і бункера 7 з шлюзовим затвором 8. Корпус фільтра розділений вертикальними перегородками на окремі секції, які горизонтальною перемичкою відділені від пилового бункера. Перемичка обладнана патрубками, до яких кріпиться нижня частина тканинних рукавів. Струшуючий механізм призначений для

періодичного струшування пилу, який осів на внутрішній поверхні рукавів.

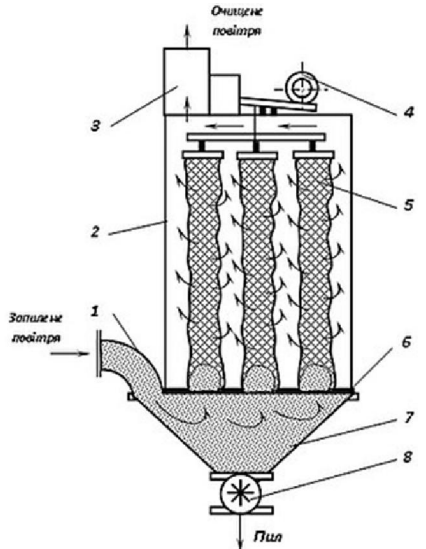


Рис. 5.25. Схема рукавного фільтра:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – корпус; 3 – вихідний патрубок;
- 4 – струшувальний механізм; 5 – тканинний рукав;
- 6 – горизонтальна перемичка; 7 – бункер; 8 – шлюзовий затвор

Запилене повітря подається по вхідному патрубку в приймальну камеру, з якої розподіляється по рукавах. Пил утримується на внутрішній поверхні рукавів, а повітря проходить крізь пори тканини і відводиться з фільтра через вихідний патрубок. Зі збільшенням товщини шару пилу на поверхні рукавів збільшується опір руху повітря і знижується продуктивність фільтра, тому через 3...8 хв. (залежно від крупності пилу) автоматично здійснюється струшування пилу, який осів на поверхні рукавів. При струшуванні рукавів секції відключається подача пило-газової суміші і під тиском подається стиснене повітря для кращого видалення пилу з поверхні рукавів. Пил під дією сили ваги зсипається в пиловий бункер і виводиться з фільтра. Після очистки рукавів від пилу секція знов включається до роботи. В момент струшування пилу

в секції запилене повітря надходить на очистку в паралельну секцію.



Рис. 5.26. Розріз і загальний вид рукавних фільтрів

Технічна характеристика рукавних фільтрів для цементного пилу приведена в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Технічна характеристика рукавних фільтрів для цементного пилу

Показник	Значення
Матеріал рукавів	Поліестер (РЕ) з антистатичним покриттям для запобігання накопиченню статичної електрики від тертя частинок пилу
Робоча температура, °С	130-150
Щільність фільтрувального матеріалу, г/м ²	від 300 до 550
Ступінь очищення, мкм	від 1 до 10
Продуктивність, залежно від моделі, м ³ /год.	від 500 до 14 000

Електрофільтри використовуються для високоефективного очищення технологічних газів від пилу та аерозолів. Вони забезпечують екологічну безпеку, працюючи при температурах від 250 до 330°C.

Електрофільтри працюють на основі впливу електрично заряджених сил, що дозволяє утримувати частинки пилу будь-якого розміру. Схема електрофільтра приведена на рис. 5.27.

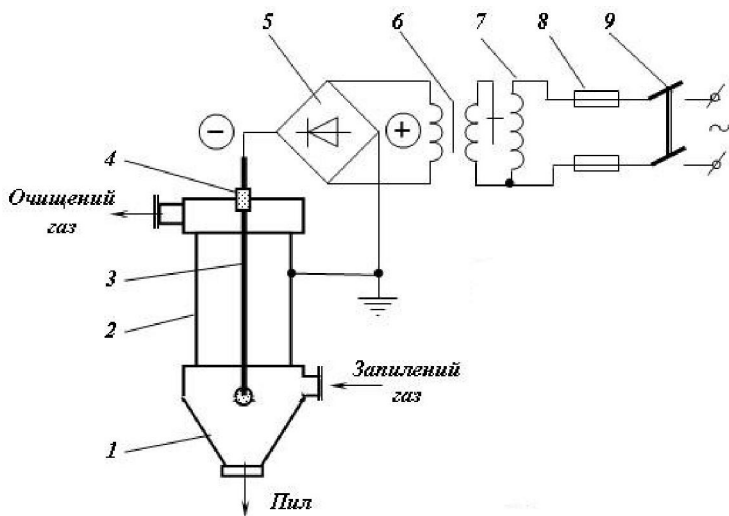


Рис. 5.27. Схема електричного фільтра:

- 1 – пиловий бункер; 2 – відсаджувальний електрод;
- 3 – коронуючий електрод; 4 – ізолятор; 5 – випрямляч;
- 6 – трансформатор; 7 – регулятор напруги; 8 – запобіжник;
- 9 – рубильник

Суть процесу електростатичного очищення газів ґрунтується на іонізації газу, тобто розщепленні його молекул на позитивно і негативно заряджені іони. Запилені газу пропусають через неоднорідне електричне поле, яке утворюється між осаджувальним 2 і коронувальним 3 електродами. До електрода, розташованого в ізоляторі 4 підводиться випрямлений електричний струм при напрузі

30 – 60 кВ. Осаджувальний електрод звичайно заземлюють і підключають до позитивного полюсу випрямляча. Агрегат живлення складається з рубильника 9, запобіжників 8, регулятора напруги 7, перетворювача напруги 6 і випрямляча 5.

Процес ловлення пилу в електричному полі складається з таких підпроцесів:

- зарядження завислих у газі частинок;
- руху заряджених частинок до електродів;
- осадження частинок на електродах і видалення частинок з електродів.

При великій різниці потенціалів швидкість руху, а значить і кінетична енергія іонів та електронів є значною, що спричиняє ударну іонізацію. При цьому спостерігається потріскування і слабе світіння газу (корона) навколо одного з електродів, який і отримав назву коронувального. Негативно заряджені іони і електрони, що утворюються при коронному розряді рухаються до протилежно зарядженого електрода, що отримав назву осаджувального. Пил періодично струшується з осаджувальних електродів у пиловий бункер, а очищений газ викидається в атмосферу. Технічна характеристика електрофільтрів серії EDTP приведена в табл. 5.9, а зовнішній вид показано на рис. 5.28.

Таблиця 5.9

Технічна характеристика електрофільтрів серії EDTP

Показник	Значення
Продуктивність, м ³ /год.	до 1965000
Висота електродів, м	до 16
Площа активного перерізу, м ²	до 545
Залишкова запиленість, мг/м ³	до 50
Газовий прохід, мм	400
Маса залежно від моделі, т	1-5



Рис. 5.28. Загальний вид електрофільтра серії EDTP

Контрольні питання

1. Поясніть принцип дії циклонів.
2. Поясніть роботу батарейного циклону.
3. Назвіть основні технічні показники циклонів.
4. Поясніть принцип дії рукавних фільтрів.
5. Назвіть основні технічні показники рукавних фільтрів для цементного пилу.
6. Поясніть принцип дії електрофільтрів.
7. Назвіть основні технічні показники електрофільтрів.

5.4. Складування будівельних матеріалів

Бункери являють собою ємності для короткочасного зберігання матеріалів. Їх встановлюють на початкових та кінцевих постах при транспортуванні матеріалів та в містах їх перевантаження. Застосовують для забезпечення стабільної

роботи обладнання при нерівномірному надходженні матеріалів. Вони мають наступні форми та види розвантаження (рис. 5.29).

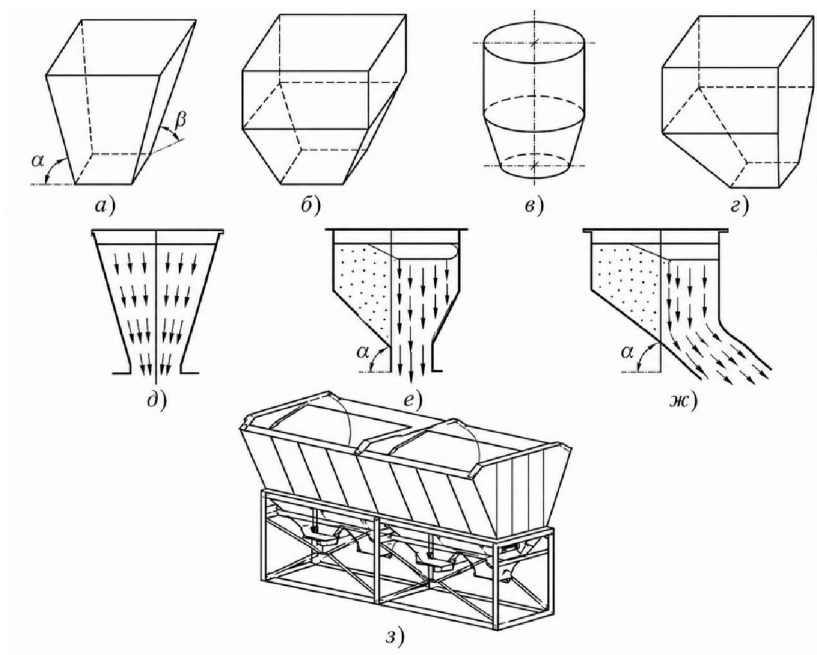


Рис. 5.29. Бункери:

Форма бункерів: а – пірамідальний; б – призматично-пірамідальний; в – циліндричний; г – призматично-пірамідальний.

Види розвантаження: д – нормальне; е – гідравлічне; ж – змішане
з – загальний вид бункера

Витрата матеріалу з бункера в $\text{м}^3/\text{год}$. визначається за залежністю

$$\Pi = 3600 FV \quad (5.11)$$

де F – площа вихідного отвору, м^2 ; V – швидкість витікання матеріалу, $\text{м}/\text{с}$.

Для забезпечення вільного витікання матеріалу з бункера необхідно виконувати умову $\text{tg} \delta \geq f$, де δ – кут нахилу ребра бункера; f – коефіцієнт тертя матеріалу об стінку.

З метою уникнення утворення аркових склепінь отвір вихідного отвору необхідно приймати не менше трьох середніх діаметрів зерен матеріалу $3d_{сер}$. Для полегшення розвантаження матеріалу стінкам бункера надають вібрацію.

Для попередження самовільного розвантаження матеріалу вихід бункера облаштовують затвором або живильником.

Затвори призначені для перекривання випускних отворів бункерів. Розрізняють наступні схеми затворів (рис. 5.30).

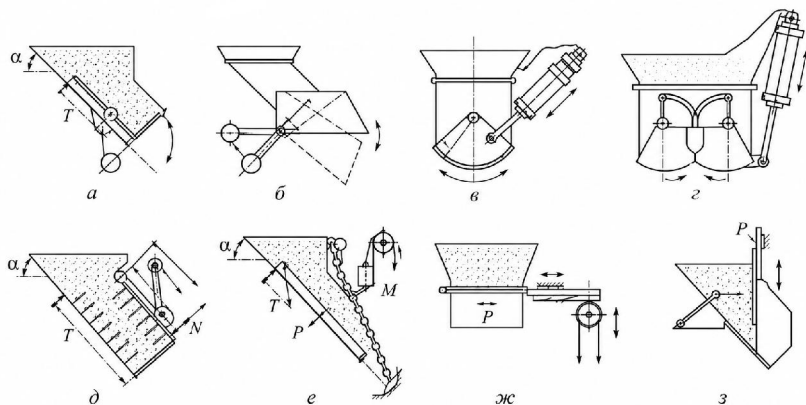


Рис. 5.30. Схеми затворів:

а – клапанный відкидний; б – клапанный підпінний;
в – секторний з одним затвором; г – секторний з спареними затворами;
д – пальцевий; е – ланцюговий; ж – з горизонтальною засувкою; з – з вертикальною засувкою

Клапанный відкидний затвор застосовують для бункерів малого об'єму, коли його розвантажують за один прийом.

Клапанный підпінний затвор застосовують в бункерах малої та середньої ємності при розвантаженні сипких матеріалів. Кутом нахилу лотка регулюють швидкість розвантаження матеріалу.

Секторні затвори застосовують в бункерах при розвантаженні дрібнозернистих та литих матеріалів (лити бетони, розчини).

Пальцевий та ланцюговий затвори застосовують в бункерах при розвантаженні крупнозернистих матеріалів.

Затвори з засушкою застосовують у бункерах при розвантаженні порошкоподібних матеріалів.

Цементні силоси – це спеціалізовані герметичні ємності для приймання, тривалого зберігання та дозованої видачі сухого цементу та інших дрібнодисперсних матеріалів. Вони є ключовим елементом складів цементу на бетонних заводах та будівельних майданчиках.

За конструкцією та способом встановлення розрізняють такі типи силосів:

- *вертикальні силоси*: найпоширеніший тип у вигляді металевого циліндра на опорах з конічним дном. Забезпечують вивантаження матеріалу самопливом.
- *горизонтальні силоси*: легші в транспортуванні та встановленні, не потребують потужного фундаменту. Зручні для мобільних об'єктів та важкодоступних місць.
- *суцільнозварні та розбірні*: малі силоси (до 100 м³) часто роблять монолітними, тоді як великі (до 3000 тонн) – болтовими/розбірними для зручності логістики.
- *мобільні*: встановлюються на спеціальній рамі, що дозволяє швидко переміщувати їх без демонтажу складних фундаментів.

Технічні характеристики та комплектація.

Стандартний силос включає сталевий корпус (товщиною 4–8 мм), опори, сходи та огорожу. Додатково обладнання комплектується:

- *системами аерації та вібрування*: для запобігання злежуванню та "зависанню" цементу в конусі.
- *фільтрами та клапанами*: Фільтри очищують повітря при закачуванні, а аварійні клапани запобігають надлишковому тиску.
- *датчиками рівня*: Дозволяють дистанційно контролювати залишок матеріалу в ємності.

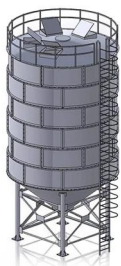
На рис. 5.31 показано загальний вид цементних силосів.



Вертикальні силоси



Горизонтальні силоси



Суцільний (болтовий) силос



Розбірний силос



Мобільні силоси

Рис. 5.31. Загальний вид цементних силосів

Контрольні питання

1. Що являє собою бункер для сипучих матеріалів?
2. Які існують форми бункерів?
3. Які існують види розвантаження бункерів?
4. Поясніть формулу витрати матеріалу з бункера.
5. Із яких умов приймають розміри вихідного отвору у бункерів?
6. Яким обладнанням облаштовують вихідний отвір бункеру?
7. Яке призначення мають затвори бункерів?
8. Назвіть основні схеми затворів.
9. У яких бункерах застосовують клапанний відкидний затвор?
10. У яких бункерах застосовують клапанний підпірний затвор?
11. Коли в бункерах застосовують секторний затвор?
12. Коли в бункерах застосовують пальцевий або ланцюговий затвори?
13. Коли в бункерах застосовують затвори з засувкою?
14. Яке призначення мають цементні силоси?
15. Назвіть основні типи цементних силосів.
16. Якими пристроями комплектуються цементні фільтри?

Рекомендована література

1. Безсмертний М. П. Процеси і апарати в технології будівельних матеріалів : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2014. 202 с.
2. Дворкін Л. Й. Бетони і будівельні розчини. Київ : Основа, 2008. 448 с.
3. Дворкін Л. Й., Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : Кондор-Видавництво, 2017. 447 с.
4. Дубінін А. І., Атаманюк В. М., Дулеба В. П., Симак Д. М. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. 292 с.
5. Назаренко І. І. Машина для виробництва будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 1999. 488 с.
6. Назаренко І. І., Туманська О. В. Машина і устаткування підприємств будівельних матеріалів: конструкції та основи експлуатації : підруч. Київ : Вища шк., 2004. 590 с.
7. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'яжучі речовини : підручник. Київ : Основа, 2012. 446 с.
8. Рунова Р. Ф. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Київ : Основа, 2017. 528 с.
9. Сівко В. Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів : підруч. Київ : ІСДО, 1994. 357 с.
10. Сівко В. Й., Поляченко В. А. Обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів і виробів. Київ : ТОВ «АВЕГА», 2004. 280 с.
11. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., ГАТЛІНСЬКА А. П., ЛЕЩЕНКО В. О. та ін. Процеси та апарати хімічної технології : підруч. : у 2 ч. Харків : НТУ «ХПІ», 2007. Ч. 1. 616 с.; Ч. 2. 540 с.
12. Хмара Л. А., Кравець С. В., Нікітін В. Г. та ін. Машина та обладнання промисловості виробництва будівельних матеріалів, виробів і конструкцій : атлас конструкцій. Рівне : НУВГП, 2006. 300 с.

- 13.Хмара Л. А., Шипілов О. С., Онищенко О. Г. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування : навч. посіб. Полтава : ПолтНТУ, 2009. 209 с.
- 14.Ящишин Й. М. Технологія скла. Львів : Бескид БІТ, 2004. 250 с.
- 15.Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8th ed. Oxford : Elsevier, 2015.
- 16.Gupta A., Yan D. S. Mineral Processing Design and Operation: An Introduction. 1st ed. Amsterdam : Elsevier, 2006.
- 17.Cecala A. B., O'Brien A. D., Schall J. et al. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. 2nd ed. Pittsburgh : NIOSH, 2019.

Навчальне видання

*Дворкін Леонід Йосипович
Безусяк Олександр Володимирович
Бордюженко Олег Михайлович*

**Подрібнення та класифікація
в технології будівельних матеріалів і
виробів**

Навчальний посібник

Керівник видавничих проєктів: А. О. Ястребов
Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 02.06.2026 р.
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. аркушів – 10,34
Обл.-вид. аркушів – 7,48
Тираж 100 прим.

ТОВ «Видавничий дім «КОНДОР»
Свідоцтво серія ДК № 5352 від 23.05.2017 р.
03067, м. Київ, вул. Гарматна, 29/31
тел./факс (044) 408-76-17, 408-76-25
www.condor-books.com.ua