

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

до розділу «Механічні процеси»

з курсу “Процеси та апарати хімічних виробництв”
для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей

Затверджено на засіданні
кафедри процесів та апаратів
хімічної технології.
Протокол № 11 від 25.05.2012.

Дніпропетровськ ДВНЗ УДХТУ 2013

Конспект лекцій до розділу «Механічні процеси» з курсу “Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей / Укл. С.О. Опарін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 112 с.

Укладач С.О. Опарін, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск П.Г. Сорока, доктор техн. наук

Навчальне видання

Конспект лекцій до розділу «Механічні процеси» з курсу “Процеси та апарати хімічних виробництв»

Укладач ОПАРІН Сергій Олександрович

Авторська редакція

Підписано до друку 10.07.13. Формат 60×84 1/16. Папір ксероксн. Друк різнограф. Умовн.-друк. арк. 5,07. Облік.-вид. арк. 5,12. Тираж 100 прим. Зам. № 358. Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, Дніпропетровськ–5, пр. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ЗМІСТ

Розділ I

ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

1. Загальні відомості.....	6
2. Способи подрібнення.....	7
3. Фізико-механічні основи подрібнення. Витрата енергії.....	10
4. Стадії та схеми подрібнення.....	17
5. Класифікація подрібнювачів.....	18
6. Порівняння та вибір подрібнювачів.....	21
7. Шляхи інтенсифікації роботи подрібнювачів.....	23
8. Подрібнювачі.....	24
8.1. Подрібнювачі розколюючої та розламуючої дії.....	24
Щоківі дробарки.....	24
Конусні дробарки.....	29
Зубовалкові дробарки.....	32
8.2. Подрібнювачі роздавлюючої дії.....	35
Гладковалкові дробарки.....	35
Ролико-кільцеві млини.....	37
8.3. Подрібнювачі стираюче-роздавлюючої дії.....	39
Бігуни.....	40
Жорна.....	41
Катково-тарілчасті млини.....	41
Куле-кільцеві млини.....	43
8.4. Подрібнювачі ударної дії.....	44
Молоткові дробарки.....	44
Ударно-відцентрові дробарки.....	45
Роторні дробарки.....	47
Відцентрово-кулеві млини.....	48
Дезінтегратори та дисмембратори.....	48
Барабанні млини.....	49
Струминні млини.....	52
8.5. Подрібнювачі ударно-стираючої дії.....	55
Ударно-відцентрові млини.....	55
Вібраційні млини.....	57
Планетарні млини.....	58
Гіроскопічні млини.....	58
Бісерні млини.....	59
8.6. Подрібнювачі ріжучої дії.....	60
Ножеві млини.....	60
8.7. Колоїдні млини.....	60
Конусні млини.....	61
Бильні млини.....	61
Колоїдні млини з решітчастим ротором.....	62
Віброкавітаційні млини.....	63
8.8. Спеціальні види подрібнення.....	63
Ультразвукове диспергування.....	63
Криогенне подрібнення.....	64
9. Промислові схеми подрібнення.....	64
9.1. Подрібнення рослинних матеріалів.....	64

9.2. Подрібнення залізоокисного пігменту.....	66
9.3. Подрібнення гумотехнічних матеріалів	68
9.4. Подрібнення сірчаної руди.....	70
9.5. Подрібнення вапна у виробництві преципітату.....	70

Розділ II

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА СОРТУВАННЯ

1. Загальні відомості.....	72
2. Сита.....	72
3. Грохоти.....	73
<i>Барабанні грохоти.....</i>	75
<i>Пласкі хитні грохоти.....</i>	76
<i>Гіраційні хитні грохоти.....</i>	77
<i>Вібраційні грохоти.....</i>	77
4. Гідравлічні класифікатори.....	78
<i>Спиральні класифікатори.....</i>	79
<i>Рейкові класифікатори.....</i>	80
<i>Чашкові класифікатори.....</i>	80
<i>Гідроциклони.....</i>	81
<i>Центрифуги.....</i>	82
5. Пневматичні сепаратори	84
<i>Повітряно-прохідні сепаратори.....</i>	84
<i>Повітряно-циркуляційний сепаратори.....</i>	85

Розділ III

ДОЗУВАННЯ

1. Загальні відомості.....	87
2. Бункери та затвори.....	87
<i>Прості важільні затвори.....</i>	88
<i>Пласкі рейкові затвори.....</i>	88
<i>Прості односекторні затвори.....</i>	88
<i>Щелепні затвори.....</i>	89
3. Живильники	89
<i>Живильники з тяговими органами.....</i>	90
<i>Живильники з коливальним рухом.....</i>	90
<i>Обертальні живильники.....</i>	91
4. Дозатори	92
<i>Автоматичні ваги.....</i>	93
<i>Ваговий стрічковий дозатор.....</i>	94
<i>Ваговий стрічковий дозатор з електрорегулюванням.....</i>	95

Розділ IV

ЗМІШУВАННЯ

1. Загальні відомості.....	96
2. Змішувачі.....	96
<i>Барабанний змішувач.....</i>	96

<i>Двовальний шнековий змішувач.....</i>	<i>97</i>
<i>Двовальний змішувач з фасонними лопатями.....</i>	<i>97</i>
<i>Циркуляційний змішувач.....</i>	<i>98</i>
<i>Змішувач відцентрової дії.....</i>	<i>99</i>

Розділ V

ТРАНСПОРТУВАННЯ

1. Загальні відомості.....	101
2. Пристрої для горизонтального переміщення.....	101
<i>Стрічкові транспортери.....</i>	<i>101</i>
<i>Пластинчасті транспортери.....</i>	<i>102</i>
<i>Скребкові транспортери.....</i>	<i>103</i>
<i>Гвинтові транспортери.....</i>	<i>104</i>
<i>Вібраційні транспортери.....</i>	<i>105</i>
<i>Пневматичні транспортні жолоби.....</i>	<i>106</i>
3. Пристрої для вертикального та змішаного переміщення.....	107
<i>Елеватори.....</i>	<i>107</i>
<i>Транспортери із зануреними шкребками.....</i>	<i>108</i>
<i>Пневматичний транспорт.....</i>	<i>108</i>
<i>Гідравлічний транспорт.....</i>	<i>101</i>
<i>Література.....</i>	<i>113</i>

Розділ I

ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

1. Загальні відомості

Інтенсивність фізичних та хімічних процесів з участю твердої фази підвищується зі збільшенням поверхні твердого матеріалу, яке досягається шляхом зменшення його розмірів. У зв'язку з цим різноманітні тверді матеріали піддають в багатьох хімічних виробництвах *механічному подрібненню*.

Подрібнення – процес зменшення розмірів часток матеріалу шляхом їх руйнування під дією зовнішніх сил, які долають внутрішні сили зчеплення, що пов'язують між собою частинки твердої речовини.

В залежності від розмірів часток вихідного та подрібненого матеріалу розрізняють *класи подрібнення* (табл. I.1) [1, 2].

Таблиця I.1.

Класи подрібнення

Клас подрібнення	Розмір часток вихідного матеріалу d_n , мм	Розмір часток подрібненого матеріалу d_n , мм
Здрібнення: - крупне - середнє - мілке	1500-300 300-100 50-10	300-100 50-10 10-2
Помел: - тонкий - надтонкий	10-2 10-0,0075	2-0,0075 >0,0075

Відношення розмірів часток вихідного та подрібненого матеріалу називають *ступінню подрібнення*.

Розрізняють лінійну:

$$i_d = \frac{d_n}{d_k} \quad (\text{I.1})$$

та об'ємну ступінь подрібнення:

$$i_v = \frac{V_n}{V_k} \quad (\text{I.2})$$

де d_n, d_k - розміри частинок до та після подрібнення;

V_n, V_k - об'єм частинок до та після подрібнення.

Характеристиками подрібненого матеріалу є наступні параметри: *дисперсність* (фракційний, гранулометричний склад), *прохід D* (залишок R), *фракція ΔD* або ΔR .

Для визначення повної картини фракційного складу подрібненого матеріалу користуються *функціями розподілення*, які являють собою залежності проходу D або залишку R від діаметра (розміру) частинок. При цьому виконуються наступні співвідношення:

$$D + R = 100\% \text{ або } 1,$$

$$D_{\min} = 0, \quad D_{\max} = 100\% \text{ (або } 1), \quad R_{\min} = 100\% \text{ (або } 1), \quad R_{\max} = 0 \quad (\text{I.3})$$

На практиці користуються також характеристикою матеріалу за *нижньою* ($+d_1$) та *верхньою* ($-d_2$) межею крупності. Нижня межа крупності означає «не дрібніше d_1 », верхня межа – «не крупніше d_2 ». При цьому вказують розмір найбільшого та найменшого розмірів часток матеріалу, а характеристика записується наступним чином ($+ d_n - d_e$).

Однією з характеристик матеріалу є *питома поверхня*, тобто поверхня часток, яка відноситься до одиниці маси або об'єму матеріалу.

В якості умовних показників використовують *середній діаметр часток*, *медіанний діаметр* та інші.

Матеріал також можна охарактеризувати допустимим відсотковим вмістом певної фракції: крупної, середньої та мілкої.

Для визначення фракційного складу розроблені методи та приклади, які описані в спеціальній літературі.

2. Способи подрібнення

Під *способами подрібнення* розуміють такий вид впливу на твердий матеріал, який призводить до його руйнування.

Твердий матеріал можливо зруйнувати наступними способами подрібнення: роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням, ударом та різними комбінаціями цих способів.

Роздавлювання (рис. I.1a) – це вид руйнування, при якому, деформуюче навантаження, яке діє на тіло, призводить до перевищення внутрішнього напруження над межею міцності стискання.

В результаті такого руйнування отримують частинки різного розміру та форми.

Розколювання (рис. I.1б) – тіло руйнується на частинки в місцях концентрації найбільших навантажень, що виникають в результаті дії клиноподібних робочих елементів. Спосіб розколювання в порівнянні з роздавлюванням дозволяє регулювати крупність отриманих частинок.

Розламування (рис. I.1в) – тіло руйнується під дією згинаючих сил. Розміри та форма частинок, які отримуються при розламуванні, приблизно такі ж, як при розколюванні.

Різання (рис. I.1г) – тіло ділиться на частинки заздалегідь заданих розмірів та форми.

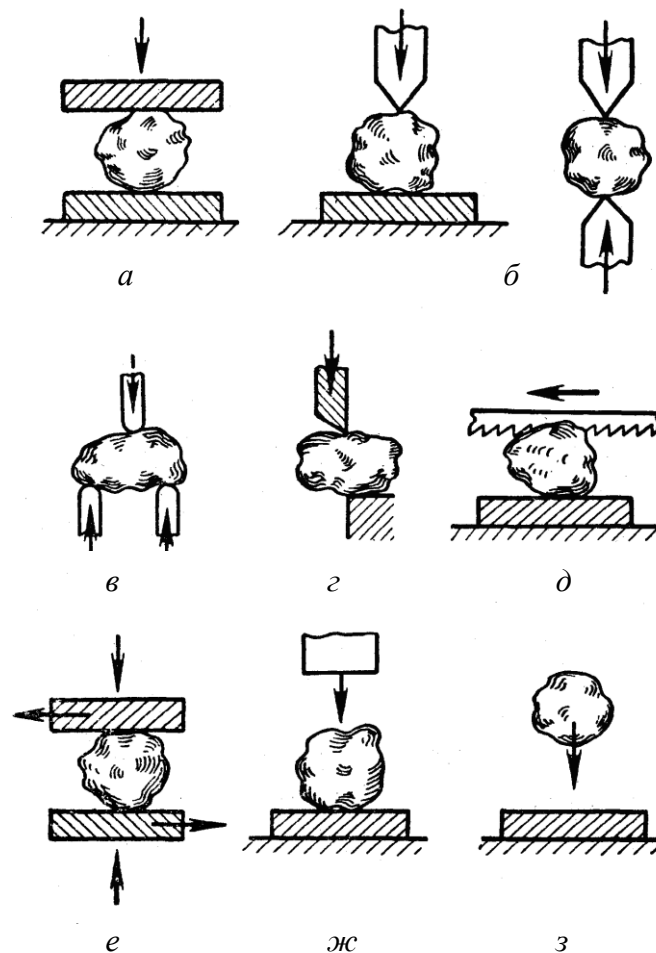


Рис. I.1. Способи подрібнення:

a – роздавлювання; *б* – розколювання; *в* – розламування; *г* – різання; *д* – розпилювання; *e* – стирання; *ж* – стиснений удар; *з* – вільний удар.

При *розпилюванні* (рис. I.1д) результати отримують такі ж, як і при *різанні*.

Стирання (рис. I.1e) – тіло подрібнюється під дією стискаючих, розтягуючих та зрізуючих сил. При цьому отримують мілкий пилоподібний продукт.

Удар – тіло руйнується на частинки під дією динамічного навантаження. Розрізняють стиснений (рис. I.1ж) та вільний удар (рис. I.1з).

При зосередженому навантаженні утворюється ефект, який подібний, до ефекту, що виникає при розколюванні. При розподіленні навантаження по всьому об'єму ефект руйнування аналогічний роздавлюванню.

При стисненому ударі тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача. Ефект від такого руйнування залежить від кінетичної енергії ударного тіла.

При вільному ударі руйнування тіла відбувається в результаті зіткнення його з робочим органом подрібнювача або другими тілами на льоту. Ефект такого руйнування визначається швидкістю їх зіткнення незалежно від того, рухається тіло, яке руйнується, чи робочий орган подрібнювача. В більшості випадків ці види впливу на матеріал використовують комбіновано, при цьому найчастіше вирішальне значення має тільки один з них.

В залежності від фізико-механічних властивостей, розмірів часток вихідного матеріалу та кінцевого продукту вибирають той або інший спосіб подрібнення, при цьому також необхідно враховувати вологість матеріалу та інші властивості.

Один з основних факторів вибору способу подрібнення є твердість (табл. I.2), межа міцності та модуль пружності (табл. I.3).

Таблиця I.2

Шкала твердості Мооса

Твердість	Еталонний матеріал	Примітка
М'які		
1	Тальк	Легко шкрябається нігтем
2	Гіпс	Шкрябається нігтем
3	Кальцит, вапняний шпат	Важко шкрябається нігтем
Середньої твердості		
4	Флюорит, плавиковий шпат	Дуже важко шкрябається нігтем
5	Апатит	Не шкрябається ножом та не черкає скла
6	Ортоклаз, палеовий шпат	Твердість віконного скла
Тверді		
7	Кварц	Шкрябає скло
8	Топаз	Теж саме
9	Корунд	Ріже скло
10	Алмаз	Теж саме

Таблиця I.3

Межа міцності та модуль пружності деяких матеріалів

Матеріал	Межа міцності $10^{-5} \cdot \text{Н/м}^2$	Модуль пружності $10^{-5} \cdot \text{Н/м}^2$
Апатит	800-1500	$3 \cdot 10^5$
Базальт	2500-5000	-

Базальтова лава	300—1500	-
Граніт виборгський	1200	$3 \cdot 10^5$
Граніт уральський	1450	-
Граніт дуже твердий	3500	$6 \cdot 10^5$
Граніт м'який	500	-
Діабаз	1800-2400	-
Вапно	250—1900	-
Кварц	1200—1500	-
Мармур	500—2500	-
Нітрофоска	300—900	-
Сланець даховий	1000—2500	$6 \cdot 10^4 - 24 \cdot 10^5$
Вугілля кам'яне	20-290	$7 \cdot 10^3 - 60 \cdot 10^4$

В залежності від межі міцності матеріали умовно поділяють на групи (табл. I.4).

Таблиця I.4

Групи матеріалів в залежності від міцності

Групи	Межа міцності σ , МПа
Тверді (діабаз, базальт та інш.)	більше 350
Середньої міцності (апатит, сланець та інш.)	100-350
М'які (вугілля, вапняк та інш.)	менше 100

В залежності від твердості матеріалу вибирають способи подрібнення (табл. I.5).

Таблиця I.5

Способи подрібнення в залежності від виду матеріалу

Матеріал	Спосіб подрібнення
Твердий та крихкий	Роздавлювання, удар
Твердий та в'язкий	Роздавлювання
Крихкий, середньої твердості	Удар, розколювання, стирання
В'язкий, середньої твердості	Стирання, стирання з ударом

Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалів в цілому, для отримання шматкових частинок використовують розколювання та розламування; при здрібненні твердих та крихких матеріалів – роздавлювання; для пластичних та волокнистих матеріалів – різання; для тонкого подрібнення м'яких та в'язких матеріалів – стирання, яке завжди комбінують з роздавлюванням або ударом.

3. Фізико-механічні основи подрібнення. Витрата енергії

Основою руйнування часток твердого матеріалу є подолання сил взаємного зчеплення частинок твердої речовини зовнішніми силами.

В частках твердих кристалічних матеріалів існують дві групи зчеплення – внутрішнє кристалічне та міжкристалічне. Сили зчеплення другої групи в декілька разів менше сил першої. Це пов'язане, по-перше, з більшою відстанню між кристалами в порівнянні з відстанню між частинками в кристалі, та, по-друге, з наявністю різноманітних дефектів (макро- та мікротріщин) в кристалічній структурі, які послаблюють міцність частинок матеріалу.

При подрібненні частки твердого матеріалу під дією зовнішніх сил спочатку піддаються об'ємній деформації, а потім руйнуються за ослабленими дефектами, при цьому частки продукту подрібнення вже не містять слабких місць. Тобто при зменшенні розмірів часток матеріалу міцність частинок помалу підвищується, тому з підвищенням степені подрібнення зростає витрата енергії на подрібнення.

Існують декілька теорій подрібнення, які встановлюють залежності між енергією, яка витрачається на подрібнення твердого тіла, та результатом подрібнення, тобто розміром частинок продуктів помелу.

Згідно з *поверхневою теорією (теорія Риттингера)* корисна робота подрібнення витрачається на утворення нових поверхонь, тобто робота утворення нової поверхні пропорційна її зменшенню [1]:

$$A_n = \sigma \Delta F, \quad (I.4)$$

де σ – коефіцієнт пропорційності, який дорівнює роботі, що витрачається на утворення одиниці поверхні (питома поверхнева робота);
 ΔF – величина утвореної поверхні.

Розглянемо тіло кубічної форми з ребром D , яке руйнується будь-яким способом до кубів з ребром d . Число отриманих кубиків пропорційно кубу степені подрібнення:

$$\frac{D^3}{d^3} = i^3 \quad (I.5)$$

Початкова поверхня (F_n) кубу з ребром D :

$$F_n = 6D^2 \quad (I.6)$$

Загальна поверхня отриманих кубиків з ребром d :

$$F_k = 6d^2 \cdot i^3 = 6d^2 \cdot \left(\frac{D^3}{d^3} \right) = 6D^2 \cdot i \quad (I.7)$$

Величина утвореної поверхні :

$$\Delta F = F_k - F_n = 6D^2 \cdot i - 6D^2 = 6D^2(i-1) \quad (I.8)$$

Тоді загальна робота, яка витрачається на подрібнення розглянутого тіла дорівнює:

$$A_n = 6\sigma D^2(i-1) \text{ або } A_n = \sigma_1 D^2, \quad (I.9)$$

де σ_1 – коефіцієнт пропорційності

Теорія Риттингера застосовується для визначення роботи тільки при великих степенях подрібнення, так як враховується тільки робота утворення нових поверхонь.

Припущення про пропорційність роботи подрібнення утвореній поверхні можна вважати правдивим тільки у випадку подрібнення тіла різанням або розпилюванням, коли об'єм матеріалу практично не впливає на втрату енергії. Якщо подрібнення здійснюється роздавлюванням, розколюванням, ударом або комбінованими способами, дане припущення не справедливе, так як по-перше, в даних випадках не враховується енергія, яка витрачається на деформацію тіла без руйнування, та, по-друге, питома поверхнева робота залежить не тільки від природи матеріалу, а й степені, способу подрібнення та ін. факторів.

Згідно з *об'ємною теорією (теорія Кирпичова-Кіка)* корисна робота подрібнення витрачається на об'ємну деформацію часток, які руйнуються, тобто робота деформування об'єму частки, яка руйнується, пропорційна зміні об'єму (деформованому об'єму) [1]:

$$A_{\partial} = K \Delta V \quad (I.10)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, який дорівнює роботі деформування одиниці об'єму твердого тіла.

ΔV – змінення об'єму (деформований об'єм) частки, яка руйнується.

Так як змінення об'єму пропорційно початковому об'єму, а об'єм частки пропорційний третій степені його діаметру, то рівняння (I.10) можливо представити у вигляді:

$$A_{\partial} = K_1 \cdot D^3 \quad (I.11)$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує пропорційні переходи
 D – діаметр частки.

Формула (I.11) виражає теорію подрібнення, згідно з якою робота подрібнення пропорційна об'єму (або масі) подрібнюваної частки.

Згідно з об'ємною теорією відношення робіт A_1 та A_2 , які витрачаються на подрібнення двох тіл з однаковим технологічним складом, що мають об'єми V_1 та V_2 , дорівнює:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{I.12})$$

Так як $V_1 = G_1/\rho$, $V_2 = G_2/\rho$,

то

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{G_1}{G_2} \quad (\text{I.13})$$

Робота подрібнення, яка визначається за формулою (I.11), наближено розраховується тільки для крупного здрібнення з невеликою ступеню подрібнення.

Щоб врахувати роботу подрібнення, яка витрачається на утворення нової поверхні та роботу, яка витрачається на об'ємну деформацію часток, *Бонд* запропонував визначати роботу подрібнення, як величину, що пропорційна середньгеометричній з об'єму та поверхні тіла, яке руйнується:

$$A = k\sqrt{VF} \quad (\text{I.14})$$

так як $V = k_1 D^3$ та $F = k_2 D^2$

тоді

$$A = k \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{D^3 D^2} = k_0 \cdot D^{2.5} \quad (\text{I.15})$$

де k, k_1, k_2, k_0 – коефіцієнти пропорційності.

За рівнянням (I.15) можливо приблизно знайти роботу, яка витрачається на подрібнення при середніх ступенях подрібнення.

На основі рівнянь (I.9), (I.11), (I.15) *Рундквист* запропонував загальне рівняння по визначенню роботи подрібнення [1]:

$$A = k_p \cdot D^m \quad (\text{I.16})$$

де k_p – коефіцієнт, який залежить від способу та ступені подрібнення;
 m – ступінь, $m = 2 \div 3$.

Робота подрібнення матеріалу масою G , який складається з частинок однакового розміру, згідно з рівнянням (I.16) дорівнює:

$$A_G = k_p \cdot D^m \cdot N = k_p \cdot k_\phi \cdot D^m \frac{G}{\rho \cdot D^3} = k_p \cdot k_\phi \cdot D^{m-3} \frac{G}{\rho} \quad (I.17)$$

де k_ϕ – коефіцієнт, який враховує форму частинки матеріалу;
 ρ – густина матеріалу.

Визначимо залежність роботи подрібнення від степені подрібнення та розмірів часток вихідного матеріалу, користуючись рівнянням (I.17).

Якщо D та d – середні розміри часток вихідного та подрібненого матеріалу, n – число стадій подрібнення, i – ступінь подрібнення на кожній стадії, то середні розміри часток, які надходять на кожну стадію подрібнення складають:

$$D_x, \frac{D}{i}, \frac{D}{i^2}, \frac{D}{i^3}, \dots, \frac{D}{i^{n-1}} \quad (I.18)$$

Згідно з рівнянням (I.17), робота подрібнення матеріалу масою G на кожній стадії дорівнює:

$$\begin{aligned} A_{G1} &= k_p \cdot k_\phi \cdot D^{m-3} \cdot \frac{G}{\rho} \\ A_{G2} &= k_p \cdot k_\phi \left(\frac{D}{i} \right)^{m-3} \cdot \frac{G}{\rho} \\ A_{G3} &= k_p \cdot k_\phi \left(\frac{D}{i^2} \right)^{m-3} \cdot \frac{G}{\rho} \\ &\dots\dots\dots \\ A_{Gn} &= k_p \cdot k_\phi \left(\frac{D}{i^{n-1}} \right)^{m-3} \cdot \frac{G}{\rho} \end{aligned} \quad (I.19)$$

При цьому робиться припущення, що на кожну наступну стадію надходить одна й та ж сама кількість матеріалу, тобто відсутні втрати, а подрібнення на всіх n стадіях відбувається з однаковою ступінню подрібнення i .

Загальна робота подрібнення дорівнює сумі робіт кожної стадії:

$$A_G = k_p \cdot k_\phi \cdot D^{m-3} \cdot \frac{G}{\rho} \cdot \left[1 + \frac{1}{i^{m-3}} + \left(\frac{1}{i^{m-3}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{i^{m-3}} \right)^{n-1} \right] \quad (I.20)$$

Сума геометричної прогресії (в квадратних дужках) зі знаменником $\frac{1}{i^{m-3}}$ складає:

$$\Sigma = \frac{\left(\frac{1}{i^{m-3}}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{i^{m-3}} - 1}{\frac{1}{i^{m-3}} - 1} = \frac{i^{m-3}}{1 - i^{m-3}} \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{i^n}\right)^{m-3}}{\left(\frac{1}{i^n}\right)^{m-3}} \quad (I.21)$$

враховуючи, що $\frac{D}{d} = i^n$ – загальна ступінь подрібнення, то:

$$\Sigma = \frac{i^{m-3}}{1 - i^{m-3}} \cdot \frac{1 - \left(\frac{D}{d}\right)^{m-3}}{\left(\frac{D}{d}\right)^{m-3}} \quad (I.22)$$

Підставляючи (I.22) в (I.20), отримаємо:

$$A_G = k_p \cdot k_\phi \cdot D^{m-3} \frac{G}{\rho} \cdot \frac{i^{m-3}}{1 - i^{m-3}} \cdot \frac{1 - \left(\frac{D}{d}\right)^{m-3}}{\left(\frac{D}{d}\right)^{m-3}} \quad (I.23)$$

Вважаючи, що $m=2$, отримаємо залежність для випадку подрібнення в ділянці використання гіпотези Риттингера:

$$A_G = k_p k_\phi \cdot \frac{1}{D} \frac{G}{\rho} \cdot \frac{1}{i-1} \cdot \left(\frac{D}{d} - 1\right) \quad (I.24)$$

Вважаючи, що $m=3$ та $m=2,5$, можливо отримати залежності роботи подрібнення від степені подрібнення в межах використання гіпотез Кирпичова-Кіка та Бонда.

Згідно, з *теорією Ребіндера* робота подрібнення визначається, як сума роботи, яка витрачається на утворення нової поверхні та роботи, яка витрачається на об'ємну деформацію часток [1]:

$$A = A_n + A_o = \sigma \Delta F + K \Delta V = \sigma \Delta F + \frac{\sigma_p^2}{2E} \Delta V \quad (I.25)$$

де σ_p – руйнуюче навантаження (межа міцності);
 E – модуль пружності.

У зв'язку з тим, що процес подрібнення є складним, жодна з наведених формул для розрахунку роботи подрібнення (I.9), (I.11), (I.15), (I.16), (I.17) не знайшли широкого застосування. Визначити абсолютне значення роботи за вказаними формулами практично неможливо, оскільки коефіцієнти, які входять в рівняння, залежать від багатьох факторів. Тому

данні рівняння використовуються тільки для порівняльної характеристики процесів подрібнення.

Наприклад, якщо відома продуктивність G_2 , спожита потужність N_2 , ступінь подрібнення D_2/d_2 працюючого млина, а також продуктивність G_1 та ступінь подрібнення іншого млина D_1/d_1 , тому спожити потужність N_1 останньої машини, якщо ввести припущення про застосування теорії Риттингера та рівності к.к.д. обох машин, можна знайти за формулою (I.24):

$$N_1 = N_2 \cdot \frac{G_1}{G_2} \cdot \frac{D_2 d_2}{D_1 d_1} \cdot \frac{D_1 - d_1}{D_2 - d_2} \quad (\text{I.26})$$

Згідно з теорією пружності, робота пружних деформацій при однократному руйнуванні [1] :

$$A = \frac{\sigma_p^2 \cdot D^3}{2 \cdot E} \quad (\text{I.27})$$

Враховуючи, що:

$$\frac{D^3}{d^3} = i^3 = a^n \quad (\text{I.28})$$

де n - кількість прийомів руйнування

a - кількість часток після однократного руйнування.

З формули (I.28)

$$3 \cdot \lg i = n \cdot \lg a \quad (\text{I.29})$$

$$n = 3 \cdot \frac{\lg i}{\lg a} \quad (\text{I.30})$$

З умови, що при кожному прийомі руйнування теоретично витрачається одна й та ж робота, то для руйнування тіла розміром D до часток розміром d потрібно n прийомів, то загальна робота дорівнює:

$$A = \frac{\sigma_p^2 \cdot D^3}{2 \cdot E} \cdot \frac{3 \lg i}{\lg a} \quad (\text{I.31})$$

Якщо продуктивність подрібнювача G , кг/год , густина матеріалу ρ , кг/м^3 , то годинна робота [1]:

$$A_{\text{год}} = \frac{\sigma_p^2 \cdot G}{2 \cdot E \cdot \rho} \cdot \frac{3 \lg i}{\lg a} \quad (\text{I.32})$$

Для переведення роботи в потужність (в кВт) рівняння (I.32) потрібно домножити на $1/(3600 \cdot 1000)$.

Враховуючи загальний ККД подрібнювача η , потужність (в кВт) визначається:

$$N = 0,42 \cdot 10^{-6} \frac{\sigma_p^2 \cdot G}{\eta \cdot E \cdot \rho} \cdot \frac{\lg i}{\lg a} \quad (\text{I.33})$$

Так як a не може бути більше двох, тоді при $a = 2$ маємо максимальну теоретичну витрату енергії (в кВт) на подрібнення:

$$N_{\text{max}} = 1,39 \cdot 10^{-6} \frac{\sigma_p^2 \cdot G}{\eta \cdot E \cdot \rho} \cdot \lg i \quad (\text{I.34})$$

4. Стадії та основні схеми подрібнення

Здрібнення та особливо помел вимагають значної витрати енергії. Тому при виборі схеми проведення процесу необхідно дотримуватись принципу «не здрібнювати нічого зайвого». З практичної точки зору ця вимога полягає в тому, щоб перед кожною стадією подрібнення відділяти дріб'язок, тобто частинки, які рівні (або менші) за розміром кінцевого продукту подрібнення, що отримується в даному подрібнювачі.

Таким чином вдається зменшити витрату енергії на подрібнення, однак при цьому зростає вартість обладнання.

В результаті попереднього відділення дріб'язку уникають перевантаження та зношення подрібнювача, а також надподрібнення матеріалу та отримують продукт рівномірної крупності.

Подрібнення проводять за двома основними схемами – у відкритому та замкненому циклі. При роботі у відкритому циклі (рис. I.2) частки матеріалу проходять через подрібнювач тільки один раз, не повертаючись в нього.

Найчастіше у відкритому циклі проводять крупне та середнє подрібнення, при умові, якщо відсутня необхідність в отриманні кінцевого продукту точних розмірів (рис. I.2 а). При наявності дріб'язку у вихідному

матеріалі проводять попередню класифікацію (рис. I.2 б), після якої крупну фракцію направляють на подрібнення, а мілка є кінцевим продуктом.

При подрібненні в замкнутому циклі (рис. I.3) матеріал кілька разів проходить через подрібнювач. Здрібнений продукт після подрібнення направляється на класифікацію, де виділяється крупна фракція, яка повертається в подрібнювач (рис. I.3 а). Найчастіше при подрібненні у замкнутому циклі проводять попередню класифікацію (рис. I.3 б).

Така схема широко використовується при тонкому подрібненні, коли необхідно отримати однорідний кінцевий продукт заданого розміру. Робота при замкнутому циклі дозволяє знизити витрату енергії подрібнення та підвищити продуктивність подрібнювача.

5. Класифікація подрібнювачів

Подрібнююче обладнання можна класифікувати за розміром отриманих часток, тобто за класом подрібнення, та за способом подрібнення.

В залежності від класу подрібнення, подрібнювачі умовно поділяють на дробарки крупного, середнього, мілкового здрібнення та млини тонкого та надтонкого помелу.

Класифікація подрібнювачів в залежності від класу подрібнення наведена на рис. I.4.

Недоліком такої класифікації є відсутність зазначення про спосіб подрібнення, який є основою роботи здрібнювача, а також те, що подрібнювач одного типу можна віднести до різних класів.

Найбільш доцільно класифікувати машини подрібнення за головним способом, за рахунок якого матеріал руйнується, розділивши їх на наступні групи:

- 1) подрібнювачі розколююче-розламуючої дії;
- 2) подрібнювачі роздавлюючої дії;
- 3) подрібнювачі стираюче-роздавлюючої дії;
- 4) подрібнювачі ударно-стираючої дії;
- 5) подрібнювачі ударної дії;
- 6) подрібнювачі ріжучої дії;
- 7) колоїдні млини.

Класифікація подрібнювачів в залежності від способу подрібнення наведена на рис. I.5.

Класифікація за способом подрібнення є більш зручною, так як дозволяє спочатку визначати спосіб подрібнення, на основі якого і визначається тип здрібнювача.

Звісно, головному способу подрібнення завжди супроводжують другорядні способи. Наприклад, в подрібнювачах роздавлюючої або ударної дії відбувається стирання, яке виникає довільно, тому не є основним способом подрібнення.

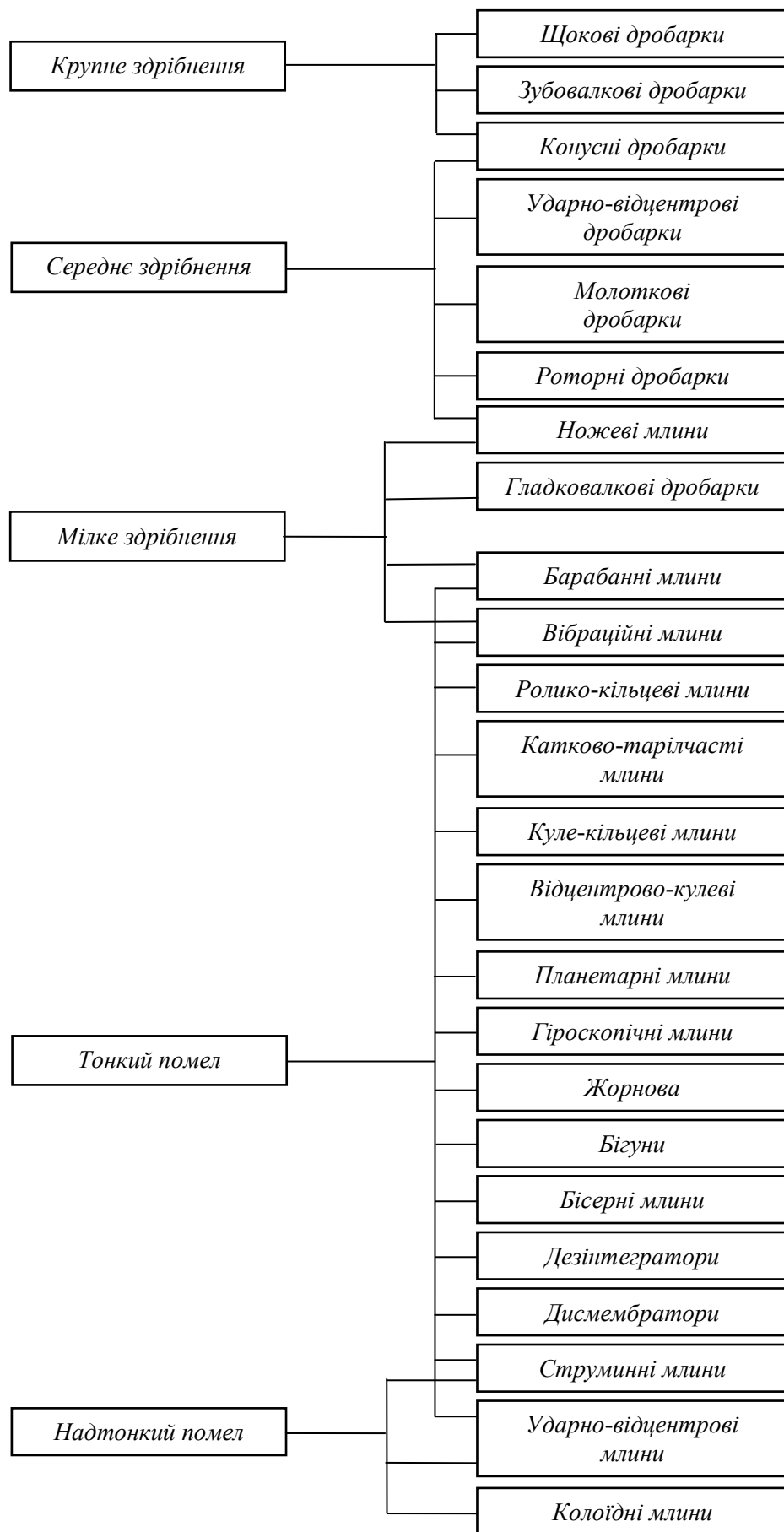


Рис. І.4. Класифікація подрібнювачів в залежності від класу подрібнення

6. Порівняння та вибір подрібнювачів

Вибір дробарок та млинів проводять в залежності від класу подрібнення (рис. I.4), способу подрібнення (рис. I.5), степені подрібнення (табл. I.6), фізико-механічних властивостей матеріалу (твердість, крихкість, абразивність, вологість та інші), а також характеристики продукту подрібнення (однорідність, дисперсність, вологість, вміст намелу та інші).

Табл. I.6

Рекомендовані способи подрібнення в залежності від степені подрібнення

Ступінь подрібнення	Рекомендовані способи подрібнення
2-5	Роздавлювання, розколювання
5-10	Роздавлювання, розколювання, удар
10-50	Роздавлювання, удар, стирання, різання
Більше 50	Удар в поєднанні зі стиранням

Для крупного здрібнення найбільш широко використовуються щоківі дробарки. Конусні дробарки мають більшу продуктивність, ніж щоківі, потребують меншої витрати енергії, отриманий продукт більш однорідний, з меншим вмістом дріб'язку та відрізняються більш рівномірною роботою. Але за рахунок більш складної конструкції, великої маси та вартості конусні дробарки доцільно використовувати для крупного здрібнення тільки при великій продуктивності.

Гладковалкові дробарки значно поступаються за продуктивністю конусним, але при невеликій продуктивності та низькій степені подрібнення доцільно використовувати гладковалкові дробарки, які відрізняються простою конструкцією, компактністю та надійністю роботи.

Для крихких матеріалів більш придатні високопродуктивні зубовалкові дробарки, які мають просту конструкцію та не вимагають великої витрати енергії.

Молоткові дробарки менш придатні для подрібнення дуже твердих та абразивних матеріалів, через швидке зношення робочих елементів, або вологих матеріалів з містом вологи більше 15%, через захарашування решітки.

Для тонкого помелу матеріалів широке впровадження, особливо в будівельній промисловості, отримали кулеві та вібраційні млини, але вони непридатні для подрібнення липких та в'язких матеріалів.

Для середнього та мілкового здрібнення в'язких та волокнистих матеріалів використовують ножеві млини.

Ударно-відцентрові та струминні млини використовують для отримання продукту високої дисперсності, головним чином, з крихких матеріалів.

В залежності від типу матеріалу та певних вимог до продукту помелу застосовують колоїдні млини.

7. Шляхи інтенсифікації роботи подрібнювачів

1. Своєчасне виведення матеріалу заданої дисперсності з зони помелу.

В машинах крупного, середнього та мілкового здрібнення руйнування матеріалу відбувається в 1-3 прийоми, а в машинах тонкого помелу необхідно 10-20 прийомів для досягнення певної дисперсності. При цьому витрата енергії при тонкому подрібненні теоретично повинна бути в 3-4 рази більшою, ніж при здрібненні. Однак, як показує практика, фактична витрата енергії більше в 15-20 разів. Це пояснюється гальмівною дією матеріалу, який досягнув необхідної дисперсності, але який залишається певний час в зоні подрібнення, або втратою додаткової енергії, яка йде на непотрібне перездрібнення матеріалу. Тому, зменшення часу перебування готового продукту в камері млина призведе до зниження енерговитрат на здрібнення. Це досягається шляхом використання певних конструктивних або технологічних рішень в залежності від типу та конструкції млина.

2. Використання замкнутого циклу подрібнення.

При періодичному процесі встановлено, що навіть при довготривалому подрібненні в готовому продукті залишається певна кількість часток, які мають більший розмір, ніж необхідний. При подрібненні в замкнутому циклі подрібнений матеріал направляється в класифікатор, де відбувається його розділення на мілку (готовий продукт) та крупну фракцію, яка повертається на домел в подрібнювач. Це дозволяє отримувати продукт певного дисперсного складу. Подрібнення в замкнутому циклі дозволяє також значно підвищити ефективність за рахунок усунення перездрібнення матеріалу шляхом зменшення часу перебування матеріалу в млині, підвищуючи кратність рециркуляції в помольній машині. Наприклад, в деяких типах кулевих млинів кратність рециркуляції досягає 25, а отриманий продукт має вузький дисперсний склад. Підвищення кратності рециркуляції призводить до зростання продуктивності та ефективності млина. Однак при цьому прямо пропорційно зростають витрати на транспортування матеріалу та підвищується навантаження на класифікуючі пристрої.

3. Використання поверхнево-активних речовин та спеціальних добавок.

Під час тонкого та, особливо, під час понадтонкого помелу відбувається злипання тонкодисперсних часток між собою, що призводить до сповільнення процесу подрібнення та досягнення границі подрібнення, тобто швидкість утворення агломератів з часток мілкої фракції досягає швидкості утворення нових часток.

На злипання часток при сухому подрібненні значно впливає вологість матеріалу. Так, підвищення вологості природних пігментів на 1-3% відносно регламентованої, знижує продуктивність та ефективність кулевих млинів на 15-20%. Тому, необхідно в кожному випадку встановити оптимальну вологість при сухому подрібненні.

В останні часи для зниження злипання тонкодисперсних часток використовують введення поверхнево-активних речовин (ПАР) та спеціальних добавок. Вплив ПАР пов'язаний з їх розклинюючою дією в мікротріщинах матеріалу та зі зниженням сил адгезії між частинками.

В цементній промисловості при подрібненні клінкеру на кулевих млинах введення добавки 0,02-0,03% тристаломіну призводить до підвищення продуктивності млина на 20-25%.

Значне підвищення продуктивності досягається при введенні у матеріал низки інших ПАР: милонафти, каніфолі, лігніну та інше. Існує оптимальне співвідношення добавки та матеріалу, яке залежить від ступені подрібнення, типу млина та властивостей матеріалу.

Важливим є спосіб введення ПАР. Найкращий ефект показує введення ПАР не у вихідний матеріал до подрібнення, а безпосередньо в млин у вигляді розсіяного розчину ПАР. При цьому ПАР швидко та рівномірно розподіляється по всій масі матеріалу. В деяких випадках ПАР вводять в пароподібному стані.

На ефективність подрібнення також впливає середовище, в якому відбувається подрібнення. Встановлено, що мокре подрібнення підвищує продуктивність кулевих млинів на десятки відсотків.

Отже, шляхом підбору оптимальної вологості матеріалу, введення ПАР або інших добавок можливо підвищити продуктивність млинів.

8. Подрібнювачі

8.1. Подрібнювачі розколююче-розламуючої дії

Подрібнення або руйнування часток матеріалу розколюванням або розламіванням відбувається за рахунок дії на тіло зосереджених навантажень. При цьому виникають місцеві руйнуючі навантаження, які викликають поділ тіла на частини.

Подрібнювачі розколюючої та розламуючої дії є найбільш ефективними при крупному та середньому здрібненні, а також при отриманні продукту з мінімальним вмістом дріб'язку.

До подрібнювачів, принцип дії яких оснований на розколюючих та розламуючих способах подрібнення відносяться шокові, конусні та зубовалкові дробарки (рис. 1.6).

Шокові дробарки

Робочими елементами шокових дробарок є дві шоки: рухома та нерухома. При зближенні щік, частки матеріалу, які знаходяться між щоками, руйнуються, а при їх розходженні подрібнений матеріал висипається через розвантажувальний отвір.

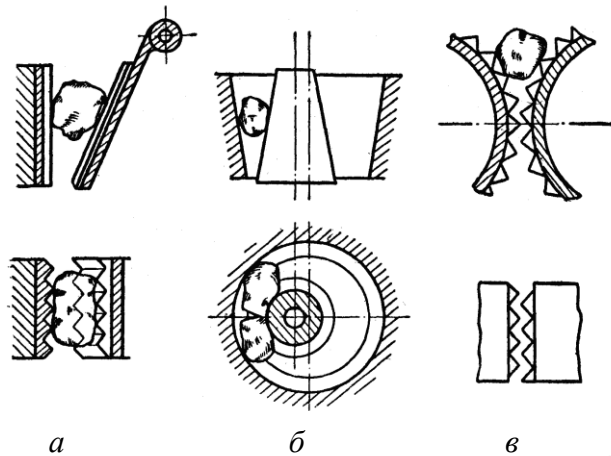


Рис. 1.6. Схеми подрібнення розколюючої та розламуючої дії:
а – щокова дробарка;
б – конусна дробарка;
в – зубовалкова дробарка.

В залежності від розміщення вісі рухомої щоки розрізняють дробарки з верхнім та нижнім підвішуванням рухомої щоки. При верхньому підвішуванні рухома щока має найбільший розлом в місці виходу здрібненого продукту, ширина розвантажувального отвору при цьому є змінною. Нижнє підвішування забезпечує постійну ширину розвантажувального отвору, що гарантує певний максимальний розмір часток продукту, але обмежує продуктивність цих дробарок в порівнянні з дробарками з верхнім підвішуванням рухомої щоки.

На рис. 1.7 наведена щокова дробарка з верхнім підвішуванням та простим рухом щоки.

Дробарка складається з литої або зварної станини 1, броньованих плит 2, рухомої щоки 4, яка підвішена на вісі 5, маховика 6, шатуна 8, який встановлений на ексцентричному валу 7, гвинта 9 для підйому клина 10, натискних плит 12 та тяги 13, яка забезпечує контакт між рухомою щокою, натискними плитами, шатуном та опорним клином 11. Внутрішні стінки та рухома щока утворюють зону подрібнення. Для зменшення зношення рухомої та рухомої щоки на робочі поверхні встановлюють броньовані плити 2 та розпірні клини 3. Плити та клини виготовляють з зносостійкої сталі або загартованого чавуну. Переріз робочих поверхонь плит виготовляють з поздовжніми виступами трикутної форми. При обертанні ексцентрикового вала 7, здрібнююче зусилля передається через натискні плити 12 рухомій щоці.

Процес руйнування матеріалу, який знаходиться в зоні помелу, відбувається під час наближення рухомої щоки до нерухомої (робочий хід). За рахунок тяги 13, яка створює в дробарці натяг, рухома щока віддаляється від нерухомої (холостий хід), при цьому подрібнений матеріал висипається через нижній отвір.

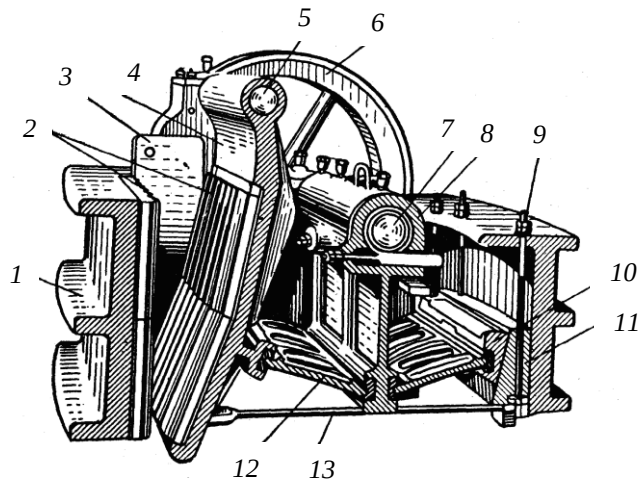


Рис. І.7. Щокова дробарка:

1 – станина; 2 – броньові плити; 3 – розпірні клини; 4 – рухома щока; 5 – вісь коливання щоки; 6 – маховик; 7 – ексцентриковий вал; 8 – шатун; 9 – підйомний гвинт; 10 – рухомий клин; 11 – упорний клин; 12 – натискні плити; 13 – тяга.

В деяких конструкціях щоккових дробарок рухома щока не тільки наближається та віддаляється від нерухомої, але й під час робочого ходу рухається вниз, в сторону розвантаження матеріалу, тобто виконує складний рух. При цьому відбувається не тільки роздавлювання а й стирання матеріалу, за рахунок чого продуктивність цих дробарок по відношенню до щоккових дробарок других конструкцій дещо підвищується, а витрати енергії зменшуються.

В промисловості найбільш розповсюдженні щоккові дробарки з верхнім підвищенням зі складним рухом щоки. Дробарки з нижнім підвищенням рухомої щоки мають низку продуктивність, тому використовуються, в основному, в лабораторних умовах.

Основними перевагами щоккових дробарок є: простота та надійність конструкції, широка область застосування (в тому числі для здрібнення матеріалів розмірами до 1,5 м та з великою міцністю), компактність та легкість обслуговування.

Основні недоліки щоккових дробарок: підвищений шум та вібрація при здрібненні, які виникають за рахунок періодичного характеру роботи дробарки та неврівноваженість рухомих мас, перерви в роботі через поломки окремих деталей, захаращування робочого простору матеріалом при нерівномірній його подачі.

Розрахунок щоккової дробарки.

Основні технологічні характеристики щоккових дробарок: кут захвату, швидкість обертання колінчастого(ексцентрикового) валу, продуктивність, споживана потужність.

Кут захвату (α) — це кут між площинами здрібнюючих щік при їх максимальному зближенні (рис. I.8).

Від кута захвату залежить ступінь подрібнення, яка зростає з підвищенням α . Однак для того щоб частки матеріалу не виштовхувались з дробарки під дією тиску щік, необхідно щоб кут захвату не перевищував подвійного кута тертя матеріалу 2φ , тобто повинна виконуватись умова [1,2]:

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (\text{I.35})$$

Якщо прийняти середнє значення коефіцієнта тертя сухого матеріалу по сталі $f \approx 0,3$, що відповідає куту тертя $\varphi = 16^\circ$ (так як $f = \operatorname{tg}\varphi$), то кут захвату α складає 32° .

В більшості випадків кут захвату приймають в межах $15\text{--}25^\circ$.

Число обертів вала дробарки n (число повних коливань щоки), що відповідає найбільшій продуктивності дробарки, складає (об/хв) [2]:

$$n \leq \sqrt{\frac{450 \cdot g \cdot \operatorname{tg}\alpha}{S}} \quad (\text{I.36})$$

або

$$n \leq 66,5 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{S}}, \quad (\text{I.37})$$

де S — довжина ходу щоки, м.

g — прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Практично приймають

$$n = (60 \div 63) \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{S}}. \quad (\text{I.38})$$

При n ходів щоки (число обертів вала), годинна об'ємна продуктивність (в $\text{м}^3/\text{год}$) складає [1,2]:

$$Q = 60 \cdot n \cdot V \cdot \mu = 60 \cdot n \cdot \mu \frac{B \cdot S \cdot (2e + S)}{2 \cdot \operatorname{tg}\alpha} = \frac{30 \cdot n \cdot \mu \cdot B \cdot S \cdot (2e + S)}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad (\text{I.39})$$

де V — об'єм, який утворюється між щоками, м^3 ;

μ — коефіцієнт розпушення матеріалу на виході з дробарки.

Практично приймають $\mu = 0,35 \div 0,65$.

B — довжина завантажувального отвору (ширина пащі), м;

e — мінімальна ширина випускної щілини, м.

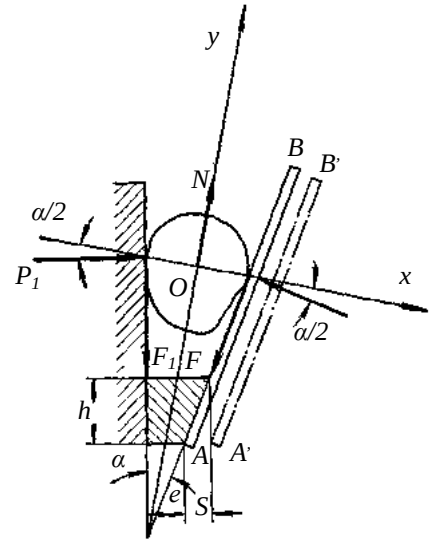


Рис. I.8. До розрахунку щокової дробарки

Враховуючи, що середній діаметр часток подрібненого матеріалу в щоківій дробарці:

$$d_{cp} = \frac{(e+S)+e}{2} = \frac{2e+S}{2}, \quad (I.40)$$

то масову продуктивність в ($m/год$) можна визначити за формулою:

$$G = \frac{0,06 \cdot n \cdot \mu \cdot B \cdot S \cdot d_{cp} \cdot \rho}{tg \alpha}, \quad (I.41)$$

де ρ — густина матеріалу ($кг/м^3$).

Для орієнтовних розрахунків споживаної потужності (в $кВт$) щоківій дробарки з простим коливанням щоки користуються емпіричною формулою [2]:

$$N = C \cdot A \cdot B \quad (I.42)$$

де B та A — довжина та ширина завантажувального отвору, $м$.

C — коефіцієнт, який приймають в межах від 80 (для дробарок з розмірами розвантажувального отвору 900×1200 мм та більше) до 160 (для дробарок невеликого розміру).

В формулі (I.42) не входять характеристики матеріалу, який подрібнюється, тому її практичне застосування обмежується матеріалами середньої міцності. Рекомендується для визначення потужності дробарки ($кВт$) користуватися залежністю, в якій враховуються характеристики матеріалу [3]:

$$N = \frac{\sigma^2 \cdot n \cdot B \cdot (d_n^2 - d_k^2)}{2,3 \cdot 10^5 \cdot E} \quad (I.43)$$

де σ — межа міцності матеріалу при стисканні, $Па$.

d_n, d_k — діаметри часток вихідного матеріалу та продукту здрібнення, $м$.

n — число коливань, $об/хв$.

E — модуль пружності, $Па$.

Середню споживану потужність (в $кВт$) для дробарок з простим коливанням щоки можна визначити за формулою [1]:

$$N = 11,7 m B H S n, \quad (I.44)$$

де m — конструктивний коефіцієнт, $m = 0,56 - 0,6$;

H — висота нерухомої щоки, $м$.

Для щокочових дробарок зі складним коливанням щокоч споживана потужність (в kBm) визначається за формулою [1]:

$$N=12BHrn, \quad (I.45)$$

де r – ексцентриситет валу, m .

Установча потужність двигуна повинна бути на 50% більше розрахункової.

Конусні дробарки

Конусні дробарки поділяють на дробарки крупного, середнього та мілкоого здрібнення (рис. I.9).

Робочими елементами конусних дробарок є зовнішній конус 1 та внутрішній конус 2, який ексцентрично встановлений в стакані 4.

При обертанні внутрішній конус дробарки наближається до нерухомого внутрішнього конусу, при цьому відбувається руйнування матеріалу, який знаходиться між конусами.

В конусній дробарці крупного здрібнення (рис. I.10) на внутрішній конічній поверхні литого корпусу 1 розміщені броньовані плити 4, дробильна головка 2 у вигляді крутого конусу, закріплена на головному валі 3. Верхній кінець валу встановлений в кулеву (або конічну) втулку 7, яка закріплена в хрестовині 6. Піднімаючи або опускаючи вал за допомогою гайки 8, регулюють ширину вихідної щілини, та, відповідно, розмір подрібненого матеріалу. Нижній кінець валу розміщений в стакані-ексцентрику 5, який приводиться в дію за рахунок конічної зубчатої передачі.

При обертанні стакана-ексцентрика вал з дробильною головою здійснює колові обертання навколо вісі ексцентрика, описуючи конічну поверхню з кутом при вершині 8-12%. Матеріал, що подрібнюється, надходить в простір між дробильною головою та броньованими плитами 4, подрібнюється та виводиться через нахилений лоток.

Дробарки крупного здрібнення характеризуються розміром найбільшої ширини завантажувального (верхнього) кільцевого отвору. Дробарки середнього та мілкоого здрібнення характеризуються розміром діаметра основи внутрішнього конусу.

В дробарках середнього та мілкоого здрібнення чаша закріплена до корпусу за допомогою пружин, що дозволяє запобігти можливую поломку у випадку потрапляння в зону подрібнення тіл, що не подрібнюються.

Конусні дробарки в порівнянні з щокочовими мають наступні переваги: висока продуктивність, врівноважена робота, висока ступінь подрібнення (для дробарок мілкоого здрібнення).

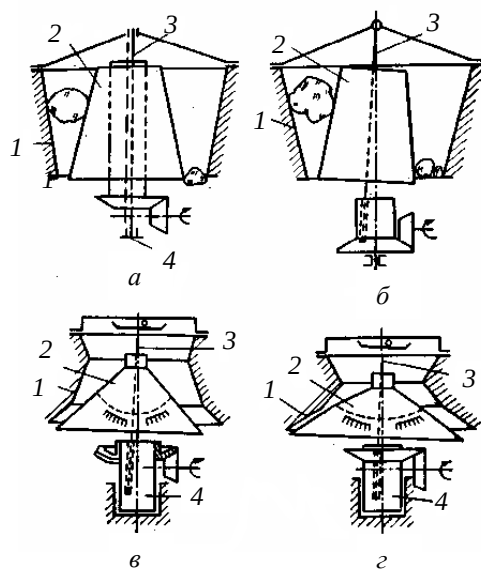


Рис. I.9. Схеми основних конусних дробарок:

а, б – крупного здрібнення; *в* – середнього здрібнення; *г* – мілкоого здрібнення;

1 – зовнішній конус; *2* – внутрішній конус; *3* – вісь; *4* – стакан.

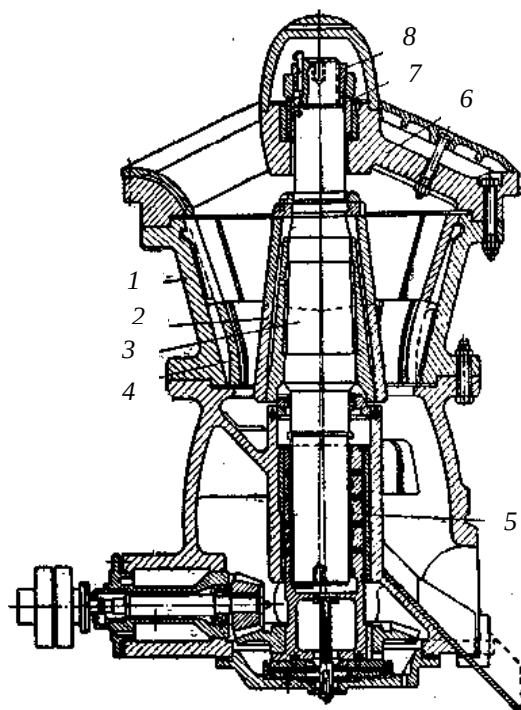


Рис. I.10. Конусна дробарка крупного здрібнення:

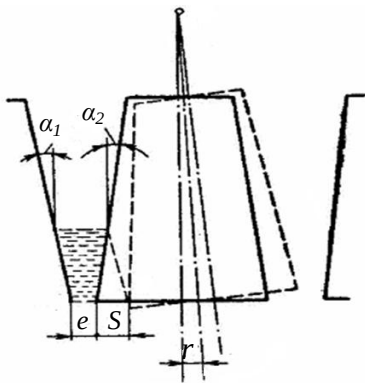
1 – корпус; *2* – дробильна головка; *3* – вертикальний (головний) вал; *4* – броньована плита; *5* – стакан-ексцентрик; *6* – хрестовина; *7* – конічна втулка; *8* – гайка.

В порівнянні з щоковими конусні дробарки мають такі недоліки: більш складна та дорога конструкція, значні габаритні розміри та більш складне обслуговування.

При визначенні основних технологічних характеристик конусної дробарки (кута захвату, числа обертів, продуктивності, споживаної потужності) керуються тим, що процес здрібнення в конусній дробарці принципово подібний з процесом здрібнення в щоковій дробарці. Відмінність полягає в безперервності дії навантажень на матеріал, що подрібнюється..

Розрахунок конусної дробарки.

Для конусних дробарок кут захвату α дорівнює сумі кутів обох конусів (рис. I.11), тобто:



$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (I.46)$$

Кут захвату приймають в межах $\alpha = 21-23^\circ$

За аналогією з щоковою дробаркою:

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (I.47)$$

Рис. I.11. До розрахунку конусної дробарки.

де φ — кут тертя матеріалу, який подрібнюється, по здрібнюючим поверхням.

Число обертів ексцентрика (число коливань внутрішнього конуса), яке відповідає найбільшій продуктивності дробарки, визначається за формулою (в об/хв) [2]:

$$n = \sqrt{\frac{450 \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S}} = 66,5 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{S}} = 47 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{r}}, \quad (I.48)$$

де S — величина ходу внутрішнього конуса, м;

$S = 2r$ (r — ексцентриситет гойдань внутрішнього конуса).

Продуктивність конусної дробарки (в $\text{м}^3/\text{год}$) орієнтовно визначається за формулою [2]:

$$Q = \frac{340 \cdot \mu \cdot n \cdot D_n \cdot r \cdot d}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (I.49)$$

де μ — коефіцієнт розпушення матеріалу, $\mu = 0,3-0,5$;

D_n — діаметр нижньої частини розвантажувального конуса, м.

r — ексцентриситет головного валу, $r = 0,005 \div 0,020$ м.

d — середній діаметр часток подрібненого матеріалу, м.

Масова продуктивність (в $m/год$) конусної дробарки з урахуванням, що $\alpha = 22^\circ$:

$$G = 340 \cdot \mu \cdot n \cdot D_n \cdot r \cdot d \cdot \frac{\rho}{1000 \cdot \operatorname{tg} 22} = 0,84 \cdot \mu \cdot n \cdot D_n \cdot r \cdot d \cdot \rho \quad (I.50)$$

де ρ — густина матеріалу, $кг/м^3$.

Потужність (в $кВт$) конусної дробарки визначається приблизно за формулою [3]:

$$N = \frac{\sigma^2 \cdot n \cdot D_n (d_n^2 + d_k^2)}{7,46 \cdot 10^4 \cdot E} \quad (I.51)$$

Позначення такі ж, як і в формулі (I.43).

Для попередніх розрахунків потужності (в $кВт$) конусних дробарок використовують емпіричні залежності [1]:

- при крупному здрібненні:

$$N = 85 D_n^2 \quad (I.52)$$

- при середньому та мілкому здрібненні:

$$N = 50 D_n^2 \quad (I.53)$$

Зубовалкові дробарки

Зубовалкові дробарки використовуються для крупного та середнього здрібнення крихких неміцних матеріалів (кокс, вугілля, сіль та т.п.).

В залежності від кількості валків дробарки поділяються на одновалкові та двовалкові. М'які породи з домішками в'язких матеріалів більш доцільно здрібнювати одновалковими зубчастими дробарками. Одновалкова дробарка не тільки подрібнює матеріал, але й примусово витісняє його з зони подрібнення, що є значною перевагою в порівнянні з щоківними та конусними дробарками.

Для підвищення степені подрібнення виготовляють зубовалкові дробарки з декількома парами зубчастих валків, які розміщуються одна над одною.

На рис. I.12. наведена двовалкова зубчаста дробарка.

Робочими елементами дробарки є зубчасті вали 1, 2, які обертаються на зустріч один одному з однаковою швидкістю. Зусилля за допомогою зубчастої передачі 3 передається на ведучий зубчастий валок 1, при цьому обертається ведений зубчастий валок 2 за рахунок пари зубчастих коліс 4.

Матеріал, який подрібнюється, потрапляє між зубцями валків, розколюється та висипається через щілину між валками.

Ведений валок встановлений на рухомі підшипники з амортизаційними пружинами 5, для того щоб захистити дробарку від поломок при потраплянні тіл, які не подрібнюються.

Ступінь подрібнення на валкових дробарках для крихких та середньої міцності матеріалів досягає $i=10\div 15$, а розмір часток продукту подрібнення знаходиться в межах $5\div 10$ мм. Для твердих матеріалів ступінь подрібнення значно менше $i=3\div 4$.

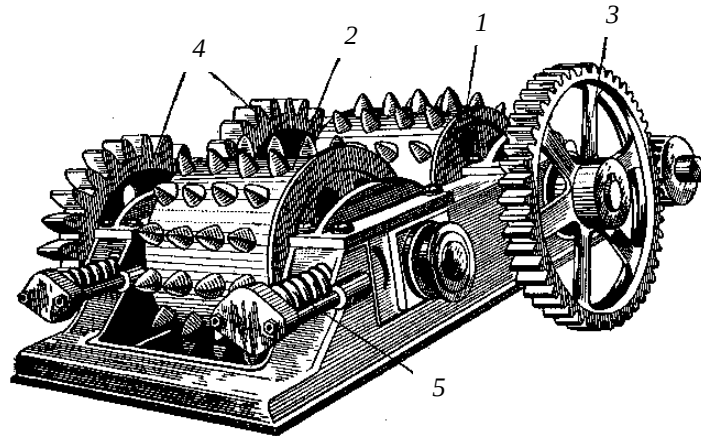


Рис. І.12. Двовалкова зубчаста дробарка:
1,2 – зубчасті валки; 3 – зубчаста
передача; 4 – зубчасті колеса; 5 – пружина.

Розглянута зубовалкова дробарка має значний недолік, який пов'язаний з односторонньою амортизацією, при якій виникає невірноваженість конструкції, а зосередження коливальної маси тільки з одного боку потребує надійного фундаменту. Цей недолік усувається в зубовалкових дробарках, в яких обидва валки встановлені на амортизаційні рухомі підшипники. Однак двостороння амортизація ускладнює конструкцію та збільшує габаритні розміри і вартість дробарки.

Основні переваги зубчастих дробарок: простота та компактність конструкції, надійність в роботі.

Основні недоліки: незначна придатність для здрібнення матеріалів високої міцності, що пов'язано з частою необхідністю відновлення зубців при подрібненні твердих або абразивних матеріалів.

Розрахунок зубовалкової дробарки.

Кутом захвату α зубовалкової дробарки називають кут, який утворюється двома дотичними в точках зіткнення частки подрібнювального матеріалу з валками (рис. І.13). Як і в раніше розглянутих дробарках кут захвату повинен бути менше двох кутів тертя:

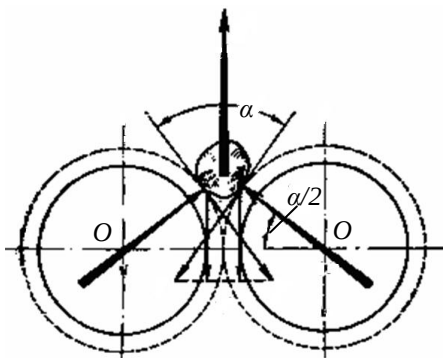


Рис. І.13. До розрахунку зубовалкової дробарки.

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (I.54)$$

Під визначенням розмірів дробарки розуміють визначення діаметрів та ширини валків.

Діаметр зубчастих валків, згідно з рис.8.8, знаходять за формулою [1]:

$$D_{\varphi} = \frac{d_n \cdot \cos \alpha / 2}{1 - \cos \alpha / 2} \quad (I.55)$$

де d_n — діаметр часток вихідного матеріалу, м.

Діаметр зубчастого валка залежить від висоти зубців, яку вибирають в залежності від міцності матеріалу, що подрібнюється. Для здрібнення твердих матеріалів зубці повинні бути короткими з тупим кутом та зі зрізаною вершиною, для більш м'яких порід зубці виготовляють довгими з гострим кутом при вершині.

Граничне число обертів валків n (в об/хв) знаходять з умови недопустимості відставання матеріалу від поверхні валків [3]:

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho \cdot d_n \cdot D_{\varphi}}} \quad (I.56)$$

де f — коефіцієнт тертя матеріалу по валку, $f \approx 0,2$;

ρ — густина матеріалу, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Багаторічною практикою експлуатації зубовалкових дробарок встановлено, що вони найбільш ефективно працюють при колових швидкостях (м/с) [1]

$$\omega = \frac{\pi \cdot D_{\varphi} \cdot n}{60} = 1,5 \div 2. \quad (I.57)$$

Теоретична продуктивність (в $\text{т}/\text{год}$) зубовалкової дробарки визначається за формулою [2,4]:

$$G = 0,06 \cdot \pi \cdot D_{\varphi} \cdot n \cdot B \cdot d_k \cdot \mu \cdot \rho \quad (I.58)$$

де B — довжина валків, м;

μ — коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу, (для матеріалів середньої міцності $\mu = 0,2 \div 0,3$);

ρ — густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Споживана потужність зубовалкової дробарки не піддається теоретичному розрахунку, але її можна визначити за емпіричною формулою [1, 4] (кВт):

$$N = K \cdot B \cdot D_g \cdot n \quad (I.59)$$

де K —коефіцієнт, який визначається дослідним шляхом.

Коефіцієнт K враховує фізико-механічні властивості матеріалу, що подрібнюється та ступінь його подрібнення.

Потужність валкових дробарок (в κBm) для середніх умов ($\sigma = 1250 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$), можливо приблизно визначити за формулою [3]:

$$N = \frac{B \cdot D \cdot n}{35300} \cdot \left(\frac{d_n}{2} + \frac{D^2}{24000} \right), \quad (I.60)$$

В формулу (I.60) геометричні розміри підставляють в см .

8.2. Подрібнювачі роздавлюючої дії

Основним способом подрібнення в машинах цього типу є роздавлювання матеріалу між двома робочими поверхнями. При цьому одна з поверхонь або обидві повинні бути рухомими. Головною відмінністю машин роздавлюючої дії в порівнянні одна з одною є положення робочих елементів та принцип створення роздавлюючих зусиль: в одних ці зусилля створюються пружинами, у інших — відцентровими силами.

До числа подрібнювачів роздавлюючої дії відноситься гладковалкові дробарки та ролико-кільцеві млини.

Гладковалкові дробарки

Гладковалкові дробарки призначені для мілкового здрібнення м'яких та середньої міцності матеріалів (крейда, шамот, вапно).

Вихідний матеріал надходить в валкову дробарку (рис. I.14), зтягується парою гладких циліндричних валків 1, 2, які обертаються назустріч один одному, в проміжок між ними та подрібнюється шляхом роздавлювання. Валки розміщені на підшипниках в корпусі 3, при чому валок 1 обертається у встановленому нерухомому підшипнику, а валок 2 в рухомому підшипнику з амортизаційними пружинами 4, які забезпечують захист дробарки від поломок при потраплянні сторонніх предметів.

Валки звичайно виготовляють з чавуну та футерують зовнішню поверхню бандажами з вуглецевої або марганцевистої сталі. Колова швидкість валків складає 2-4,5 м/сек .

Для того щоб, частки матеріалу втягувались за рахунок тертя між валками, розмір часток повинен бути приблизно в 20 разів менший за діаметр валків.

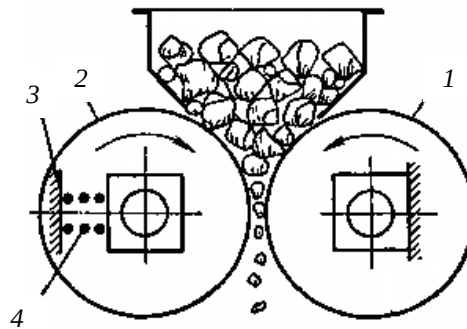


Рис. І.14. Гладковалкова дробарка:
1 – валок з нерухомими підшипниками;
2 – валок з рухомими підшипниками;
3 – корпус дробарки; 4 – пружина.

В промисловості використовують валкові дробарки, які відрізняються числом валків (одно-, дво- та чотирьох валкові) та швидкістю обертання.

Для підвищення стираючої дії у валкових дробарках при подрібненні в'язких матеріалів (наприклад глинистих) використовують диференційні валки, тобто валки, які обертаються з різною швидкістю.

Виготовляють дробарки з гладкими та рифленими валками.

Основні переваги валкових дробарок: компактність та надійність в роботі; продукт подрібнення має в своєму складі мало дріб'язку; ефективні при подрібненні м'яких матеріалів, які схильні до налипання (під час роботи матеріал зрізується очисними скребками).

Основні недоліки: не призначені для подрібнення матеріалів підвищеної міцності; низька продуктивність.

Розрахунок гладковалкової дробарки

Частоту обертання валків та продуктивність гладковалкової дробарки визначають за формулами (І.56) та (І.58).

В дробарці енергія витрачається на подрібнення матеріалу (N_1) на тертя валків в підшипниках (N_2) та на тертя матеріалу по поверхні валків (N_3).

Згідно з [4]:

$$N_1 = \frac{n \cdot \sigma_p^2 \cdot B \cdot D \epsilon \cdot (d_n^2 - e^2)}{72 \cdot 10^3 \cdot E \cdot d_n} \quad (І.61)$$

$$N_2 = \frac{B \cdot D \epsilon^3 \cdot n}{4,6} \quad \text{та} \quad N_3 = f N_1$$

Таким чином, споживана потужність (в κBm) гладковалкової дробарки:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = \frac{(1+f) [\sigma_p^2 \cdot n \cdot B \cdot D e (d_n^2 - e^2)]}{73 \cdot 10^3 \cdot E \cdot d_n} + \frac{B \cdot D e}{4,6}, \quad (I.62)$$

де e – зазор між валками, m .

Споживана потужність гладковалкової дробарки, яка розрахована за формулою (I.62) завищена або максимально можлива.

Ролико-кільцеві млини

Ролико-кільцеві млини призначені для подрібнення м'яких матеріалів та матеріалів середньої міцності, які схильні до налипання на робочих поверхнях.

В залежності від розміщення робочих елементів розрізняють вертикальні (рис. I.15) та горизонтальні (рис. I.16) ролико-кільцеві млини.

Робочими елементами ролико-кільцевого вертикального млина є ролики 2, 8 та розмельне кільце 1, яке висить на роликах. Ролик 8, який є ведучим, з'єднаний з приводом. Ролики 2 встановлені на осях та пружинами 6 через важіль 4 притискаються до кільця 1. Зусилля пружин, які діють на ролики, регулюють за допомогою гвинтів 3. Кільце та ролики розміщуються в корпусі 5, який закритий кришкою 7.

Матеріал через живильну воронку 11 потрапляє між кільцем, який обертається, та роликами, де відбувається подрібнення. Частина подрібненого матеріалу скидається з кільця та потрапляє в нижню частину корпусу, інша частина матеріалу за рахунок обертання кільця піднімається до другого ролика, а потім до ведучого ролика.

Подрібнений матеріал, який знаходиться між роликами та кільцем поступово витісняється вихідним матеріалом, який безперервно направляється в млин.

Подрібнений матеріал, який потрапив в нижню частину корпусу, має в своєму складі, крім цільового продукту, більш крупну фракцію. Тому ролико-кільцеві млини встановлюють в замкнутому циклі з сепаратором, в якому відбувається розділення подрібненого матеріалу на крупну фракцію, яку повертається в млин, та мілку.

Існують ролико-кільцеві вертикальні млини, в яких ведучим є розмельне кільце, а ролики змонтовані на відкидній кришці. Це дозволяє проводити більш ретельний огляд дробарки та полегшує зміну зношених елементів.

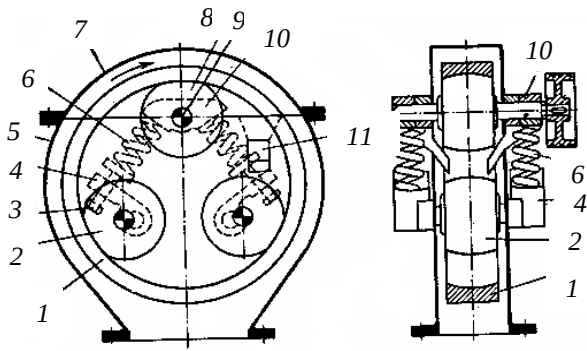


Рис. I.15. Ролико-кільцевий вертикальний млин:
 1 – розмельне кільце; 2 – ролики; 3 – гвинт; 4 – важіль, 5 – корпус; 6 – натискна пружина; 7 – кришка; 8 – ведучий ролик; 9 – вісь ролика; 10 – коромисло; 11 – живильна воронка.

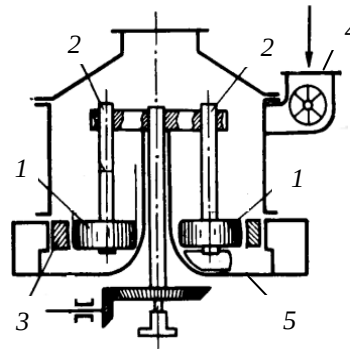


Рис. I.16. Ролико-кільцевий горизонтальний млин:
 1 – ролики; 2 – вали роликів; 3 – розмельне кільце; 4 – завантажувальний патрубок; 5 – корпус.

На відміну від ролико-кільцевого вертикального млина у горизонтальному (рис. I.16) розмельне кільце 3 та ролики 1 розміщені горизонтально, а притиснення їх до кільця відбувається за рахунок відцентрових сил, які виникають при обертанні роликів відносно вертикального валу.

Можливість подрібнення матеріалів схильних до налипання є основною перевагою ролико-кільцевих млинів.

Основні недоліки: не призначені для подрібнення матеріалів високої міцності, низька продуктивність та складність конструкції.

Розрахунок ролико-кільцевих млинів

Кут захвату матеріалу повинен α бути меншим двох кутів тертя φ [1]:

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (I.63)$$

З другого боку, згідно з [1], кут захвату залежить від розмірів кільця, ролика та розмірів часток вихідного матеріалу:

$$\operatorname{tg}^2 \alpha/2 = \frac{r(R_1 - R_2 - r)}{R_1 \cdot R_2} \quad (I.64)$$

де R_1 – радіус кільця, м;

R_2 – радіус ролика; м

$r = d/2$, d – розмір частинки матеріалу, м.

Кут захвату визначається за коефіцієнтом f або кутом тертя. Співвідношення між R_1 та R_2 приймають конструктивно. Найчастіше користуються співвідношенням: $R_2 = (0,4 \div 0,6)R_1$.

Формули (I.63) та (I.64) дозволяють визначити граничний розмір часток вихідного матеріалу або розміри кільця та ролика при відомому коефіцієнті тертя.

За рекомендаціями [1] колова швидкість розмельного кільця визначається за формулою:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{1}{f}(gR_1(\sin \alpha - f \cos \alpha))} \quad (\text{I.65})$$

Для максимально можливого випадку, тобто при $\alpha=90^\circ$, колова швидкість складає:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{gR_1}{f}} \quad (\text{I.66})$$

За формулою (I.66) знаходять нижню межу колової швидкості кільця подрібнювача.

Продуктивність (в кг/год) ролико-кільцевої дробарки визначають за формулою [1]:

$$G = 60 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D_1 \cdot n \cdot B \cdot d_k \cdot \rho \quad (\text{I.67})$$

де D_1 – внутрішній діаметр кільця, м;
 n – кількість роликів;
 B – ширина кільця, м.

Споживану потужність в першому наближенні можна визначити за формулою (I.34), ввівши коефіцієнт корисної дії η . При цьому слід врахувати, що коефіцієнт корисної дії η залежить від степені подрібнення, умов експлуатації дробарки, рівномірності живлення та відводу з зони подрібнення готового продукту. Встановлено, що при степені подрібнення $i=40$, коефіцієнт корисної дії складає від 0,05 до 0,06.

8.3. Подрібнювачі стираюче-роздавлюючої дії

Відмінною особливістю машин даної групи є подрібнення матеріалів в результаті одночасної дії прямого роздавлювання та стирання. Роздавлювання досягається зближенням робочих поверхонь, а стирання — за рахунок різниці лінійних швидкостей цих поверхонь. Найбільше розповсюдження серед цих машин отримали бігуни, жорна, катково – тарілчасті, куле–кільцеві млини.

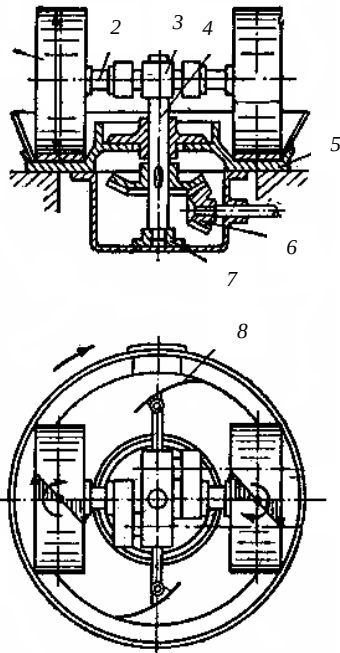
До машин даної групи також відносяться гладко - валкові дробарки, в яких робочі вали обертаються з різною швидкістю.

Бігуни

Бігуни (рис. І.17) складаються з катків 1, що закріплені на піввісях 2, водила 3, центрального валу 4, що опирається на підшипниках 7, та чаші 5. Водило 3, обертаючись тягне за собою катки 1, змушуючи їх бігати (звідси назва «бігуни») по дну чаші. Вихідний матеріал подається в чашу, де подрібнюється катками до необхідного розміру. В процесі подрібнення, відцентрові сили зміщують матеріал до зовнішньої стінки чаші, звідки за рахунок скребків матеріал знову повертається під катки.

В бігунах матеріал подрібнюється роздавлюванням та стиранням. Роздавлювання відбувається при потраплянні часток матеріалу під катки, а стирання за рахунок постійного повертання катків відносно їх вертикальних вісей.

В теперішній час бігуни використовують рідко, лише для подрібнення в'язких матеріалів в поєднанні з перемішуванням.



Розрахунок бігунів

Як і в раніше розглянутих машинах, в бігунах необхідно, щоб кут захвату α був менше двох кутів тертя φ :

$$\alpha < 2\varphi \text{ або } \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} < f \quad (\text{I.68})$$

Враховуючи умову формули (I.68), отримаємо:

$$D/d = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{f^2} \quad (\text{I.69})$$

де D — діаметр катка, м;

d — діаметр частинки матеріалу, м.

За формулою (I.69), знаючи розмір вихідного матеріалу, можна визначити мінімальний діаметр катків, або навпаки.

Якщо бігуни мають z катків, то продуктивність бігунів (в кг/год) визначають за формулою [1]:

$$G = 188,4 \cdot \mu \cdot D_0 \cdot B \cdot d_k \cdot n \cdot z \cdot \rho_n \quad (\text{I.70})$$

де μ — коефіцієнт розпушування.

D_0 — відстань між вісями катків, м.

B — ширина катків, м.

d_k — розмір часток подрібненого матеріалу, м.

ρ_n — насипна густина матеріалу, кг/м³.

n — частота обертання, об/хв.

Установчу потужність двигуна бігунів (в кВт) визначають за формулою [1]:

$$N = (N_c + N_k) / \eta_m = \left(\frac{G \cdot f_c \cdot B \cdot n \cdot z}{19,1 \cdot 10^3} + \frac{G \cdot f_k \cdot \pi \cdot D_0 \cdot n \cdot z}{60 \cdot 10^3 R} \right) / \eta_m \quad (I.71)$$

де N_c — потужність, яка витрачається на тертя ковзання;

N_k — потужність, яка витрачається на тертя кочення;

η_m — к.к.д. привідного механізму;

G — сила тяжіння катків;

$G = mg$ (m — маса катків);

f_c — коефіцієнт тертя ковзання;

f_k — коефіцієнт тертя кочення;

R — радіус катка, м.

Жорна

Основними робочими елементами жорнового подрібнювача (рис. I.18) є два кам'яних круга 3 та 4, які називаються жорнами. Один з жорен обертається, а другий залишається нерухомим. Верхнє жорно своєю масою, а також за допомогою пружин 8 притискається до нижнього рухомого. Матеріал, який подрібнюється, через живильний патрубок 6 потрапляє в середину верхнього жорна, а потім за рахунок насічок на робочих поверхнях зтягується між жорнами та подрібнюється. Подрібнений матеріал потрапляє в кожух 7 та видаляється з подрібнювача через розвантажувальний штуцер 2. Розмір часток вихідного матеріалу регулюється маховиком 1, який дозволяє переміщувати один із жорен в основному напрямку.

Жорнові подрібнювачі мали широке використання в борошномельному виробництві. На даний час вони витіснені більш продуктивними подрібнювачами - валковими.

Основною перевагою жорнових подрібнювачів є інертність матеріалу робочих елементів — жорен, до матеріалу, який подрібнюється, тому їх використовують для розтирання пігментів.

Катково-тарілчасті млини

На рис. I.19 наведений катково-тарілчастий млин. Робочими елементами подрібнювача є чаша 1, в якій закріплене кільце 2 та катки 3, що обертаються на осях 4. Катки притискаються до розмельного кільця за

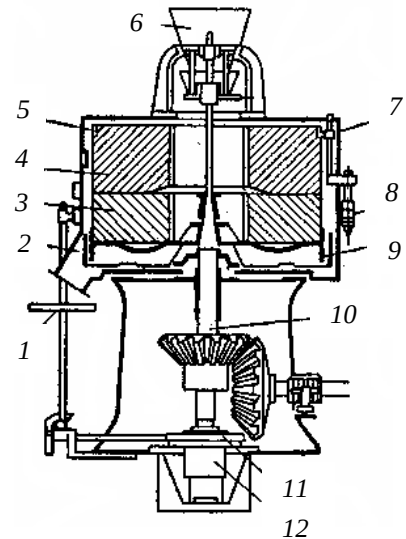


Рис. I.18. Жорна.

1 — маховик; 2 — розвантажувальний штуцер; 3 — нижнє жорно; 4 — верхнє жорно; 5 — бандаж; 6 — живильний патрубок; 7 — кожух; 8 — притискні пружини; 9 — опорно-привідне колесо; 10 — центральний вал з приводом; 11 — черв'ячна пара; 12 — підп'ятник.

допомогою пружин 7. Вихідний матеріал подається в чашу 1, що обертається, відкидається відцентровою силою до розмельного кільця 2, потрапляє під катки 3, подрібнюється та викидається з чаші.

В цей же час потік газу, який йде знизу, потрапляє в кільцеву щілину між тарілкою та корпусом млина, підхоплює подрібнений матеріал та виносить його в сепаратор. Крупні частки, які відділяються в сепараторі повертаються в чашу, а цільовий продукт з газовим потоком направляється на подальшу обробку.

Катково-тарілчасті млини за способом подрібнення подібні до бігунів. Суттєва відмінність полягає в тому, що катки в катково-тарілчастих млинах значно меншого розміру, та до сили тяжіння катків додається зусилля, яке створюється за допомогою пружин. Завдяки цим відмінностям катково-тарілчасті млини більш компактні в порівнянні з бігунами.

Катково-тарілчастий млин використовують для сухого та тонкого подрібнення матеріалів, які не злипаються.

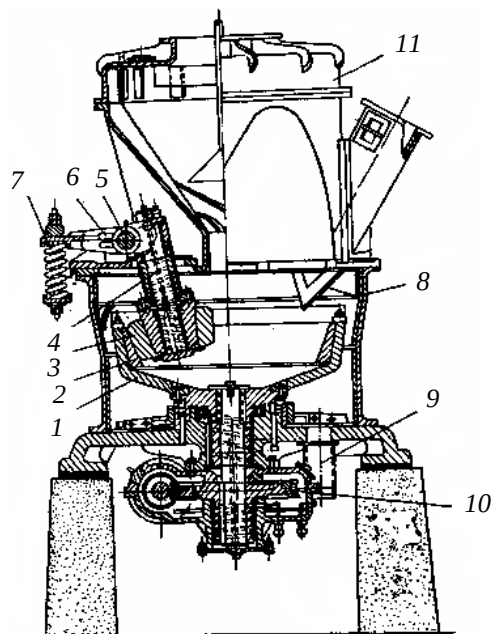


Рис. І.19. Катково-тарілчастий млин:

1 – чаша; 2 – розмельне кільце; 3 – каток; 4 – вісь катка; 5 – вісь натискного важеля; 6 – натискний важіль; 7 – натискна пружина; 8 – корпус млина; 9 – опірня плита; 10 – привід; 11 – сепаратор.

Розрахунок катково-тарілчастого млина

Продуктивність катково-тарілчастих млинів залежить від ширини b та числа катків z , частоти обертання чаші n , умов живлення млина та своєчасного відведення готового продукту.

Якщо в подрібнювачі z катків, а насипна густина матеріалу ρ_m , то масову продуктивність подрібнювача (в $кг/год$) можна визначити за формулою [1]:

$$G = 188,4 \cdot \mu_1 \cdot D_0 \cdot b \cdot d_k \cdot n \cdot \rho_m \cdot Z, \quad (I.72)$$

де D_0 – середній діаметр обертання катка по чаші, $м$;

Витрату енергії катково-тарілчастих млинів при подрібненні крихких матеріалів визначають за формулами (І.33) та (І.34), приймаючи загальний к.к.д. машини в межах від 0,03 до 0,06, або розраховують як суму енергій, які витрачаються на подолання тертя ковзання (N_c) та кочення (N_k) катків

по матеріалу з врахуванням тертя в рухомих елементах машини (в кВт) [1]:

$$N = \frac{1}{\eta_m} (N_c + N_k) = \frac{1}{\eta_m} \left[\frac{(G + N) f_c \Delta \omega}{2040} + \frac{(G + N) \cdot f_k \cdot \pi \cdot D_0 \cdot n}{61200 \cdot R_c} \right], \quad (I.73)$$

де η_m – коефіцієнт тертя в механічних передачах, $\eta_m = 0,75-0,85$;

G – сила тяжіння катка;

N – вертикальна складова зусилля пружин;

f_c – коефіцієнт тертя ковзання;

f_k – коефіцієнт тертя кочення;

R_c – середній радіус катка, м.

Куле-кільцеві млини

Принцип дії куле-кільцевих млинів полягає в тому, що матеріал подрібнюється між кільцем та низкою металічних шарів. В одних конструкціях шари притискаються до кільця пружинами, в інших — відцентровими силами.

На рис. I.20 схематично зображений куле-кільцевий млин з горизонтальним розташуванням розмельного кільця, в якому притискання шарів до кільця відбувається під дією відцентрових сил.

Матеріал що подрібнюється, надходить на водило 3, відкидається відцентровою силою до розмельного кільця 8, потрапляє під шари 7 та подрібнюється. Вихідний потік повітря підхоплює подрібнений матеріал, та направляється в сепаратор 4, в якому відбувається розділення на крупну та мілку фракції. Мілка фракція відводиться в якості готового продукту, а крупна повертається на повторне подрібнення. Точність подрібнення можна регулювати швидкістю повітря, оскільки розмір унесених часток залежить від їхньої швидкості витання.

Існують варіанти дво-, чотири- та шестирядних шаро-кільцевих млинів як для сухого, так і для мокрого подрібнення матеріалу.

Куле-кільцеві млини використовують для подрібнення м'яких та крихких матеріалів (вапно, гіпс, крейда, вугілля і т. інше).

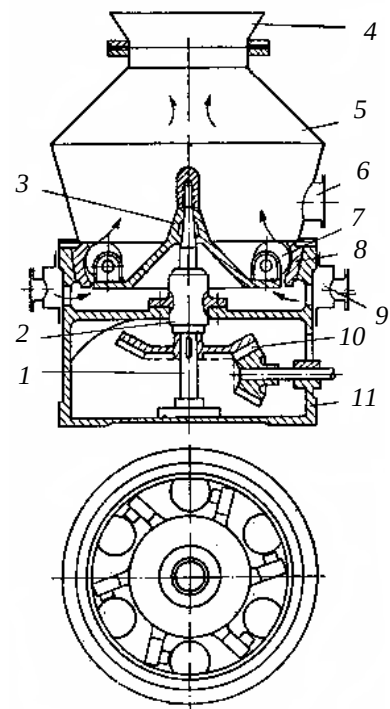


Рис. I.20. Куле-кільцевий млин:

1 – центральний вал; 2 – підшипник; 3 – водило; 4 – сепаратор; 5 – кожух; 6 – штуцер живлення; 7 – шари; 8 – розмельне кільце; 9 – короб повітря; 10 – зубчата пара; 11 – корпус.

8.4. Подрібнювачі ударної дії

В подрібнювачах даного класу руйнування матеріалу відбувається за рахунок ударних навантажень. Дані навантаження виникають при дії подрібнюючих тіл на матеріал, зіткненні летючого матеріалу з нерухомою поверхнею, зіткненні матеріалу та подрібнюючих тіл на льоту, зіткненні на льоту здрібнюючих часток один з одним.

Схеми ударного подрібнення наведені на рис. І.21.

До подрібнювачів ударної дії відносяться молоткові подрібнювачі, ударно-відцентрові, роторні дробарки, відцентрово - кулеві, барабанні, струминні млини, дезінтегратори та дисмембратори.

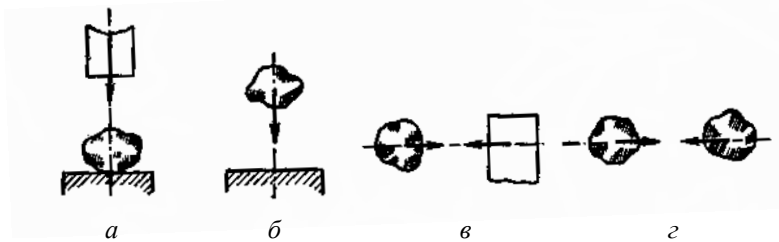


Рис. І.21. Схеми ударного подрібнення:

а – удар робочого тіла по матеріалу (стиснений удар); б – удар вільно летючого матеріалу по нерухомій поверхні (вільний удар); в – зіткнення робочого тіла та матеріалу на льоту; г – зіткнення часток матеріалу на льоту.

Молоткові подрібнювачі

До числа молоткових подрібнювачів відносяться молоткові дробарки, бильні та шахтні млини.

Основними робочими елементами молоткових подрібнювачів є ротор з молотками та статор – корпус.

Молоткова дробарка (рис. І.22) складається з корпусу 1, який футерований сталевими відбійними плитами 4, на валу 2 вставлені диски 3, між якими шарнірно підвішені молотки 5. Матеріал подрібнюється під дією ударних навантажень молотків. Частинки матеріалу, які досягли певного розміру проходять через колосникову решітку 6 та виводяться з дробарки.

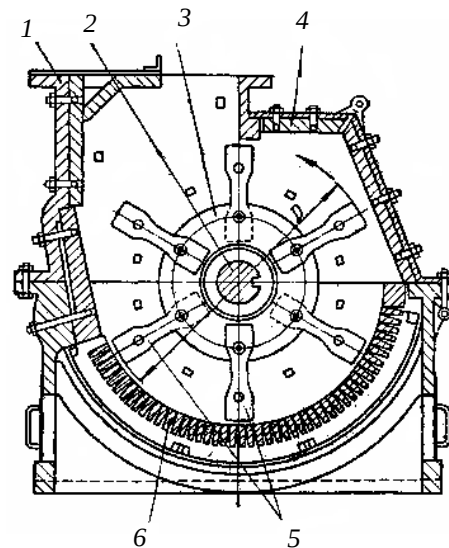


Рис. І.22. Молоткова дробарка:
1 – корпус; 2 – вал; 3 – диск; 4 – відбійна плита; 5 – молотки; 6 – колосникова решітка.

Молотки, плити та решітка виготовляються з зносостійкої сталі (вуглецевої з твердосплавними напайками або марганцевистої).

Молоткові дробарки використовуються для подрібнення різних крихких матеріалів низької та середньої міцності (шамот, шлак, вапняк, сланці та т. інше.). Ступінь подрібнення в молоткових дробарках досягає 10-15 при кінцевому розмірі часток 3-5 мм.

В бильному млині (рис. I.23) матеріал через штуцер 5 живильником *Б* подається в подрібнювач. Повітряний потік, який створюється вентилятором *В*, виносить подрібнений матеріал через штуцер 4 в сепаратор *Г*, де відбувається його розділення на крупну та мілку фракцію. Крупна фракція повертається знову на подрібнення, а цільовий продукт направляється на подальшу обробку.

Бильні млини використовують для подрібнення вугілля, крейди, вохри та інших матеріалів з отриманням часток до 100 мкм.

Шахтні млини призначені для роботи в циклі з сепараторами-сушарками шахтного типу.

Матеріал через штуцер живлення 4 (рис. I.24) потрапляє на ротор 1, де руйнується.

Через штуцер в торцевій стінці 7 подається газ або сушильний агент.

Продукти подрібнення підхоплюються газовим потоком та піднімаються по шахті в гору, де відбувається одночасне розділення та сушіння матеріалу.

Шахтні млини використовують переважно для грубого помелу м'яких матеріалів (буре вугілля, торф, крейда, і т. п.).

Переваги молоткових подрібнювачів в порівнянні з щокowymi та конусними є знижена витрата енергії та висока ступінь подрібнення.

Швидке зношення молотків та відбійних плит є основним недоліком молоткових подрібнювачів.

Ударно-відцентрові дробарки

Ударно-відцентрові дробарки використовуються для грубого та середнього подрібнення гірських порід, руд середньої міцності і т. інш.

Електроповід 1 ударно-відцентрової дробарки «Вагмас», яка наведена на рис. I.25, обертає ротор 2, що футерований твердосплавними лопатками. За рахунок відцентрових сил матеріал відкидається на стінки камери подрібнення. Нерухома стінка камери подрібнення розділена зносостійкими стрижнями на секції, які під час подрібнення заповнюються матеріалом, утворюючи футеровку 4. Руйнування матеріалу відбувається при ударі матеріалу по футеровці, а також при взаємному співударі часток матеріалу в камері. Подрібнений матеріал видаляється з дробарки через розвантажувальний патрубок 6.

Принциповою відмінністю ударно-відцентрової дробарки «Титан Д», яка наведена на рис. I.26, від вище описаної, є гнучке з'єднання електродвигуна 1 з ротором 4.

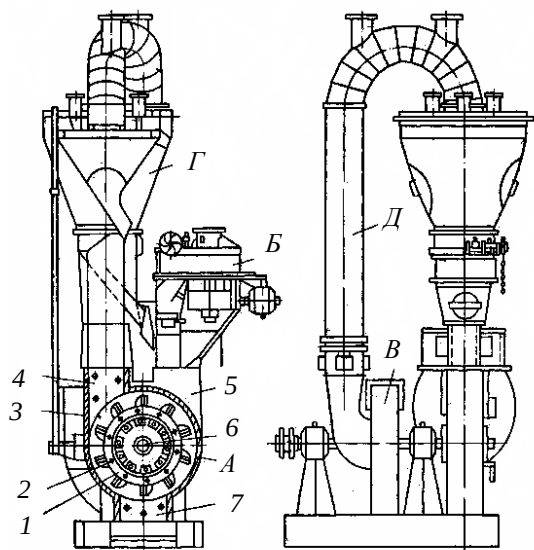


Рис. І.23. Бильний млин:

А – млин; Б – живильник; В – вентилятор; Г – сепаратор; Д – повітровід;

1 – диск; 2 – біла ; 3 – корпус; 4 – вихідний штуцер; 5 – штуцер живлення; 6 – вал; 7 – штуцер відходів.

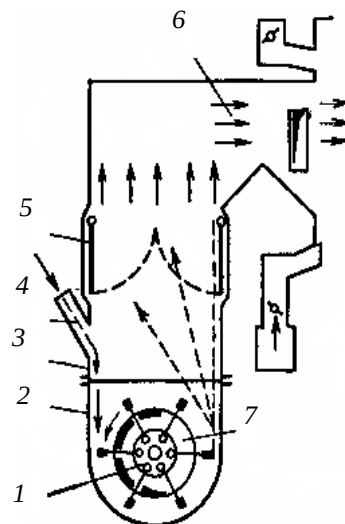


Рис. І.24. Шахтний млин:

1 – ротор; 2 – кожух; 3 – шахта; 4 – штуцер живлення; 5 – шибер; 6 – вихідний патрубок; 7 – штуцер вводу газу.

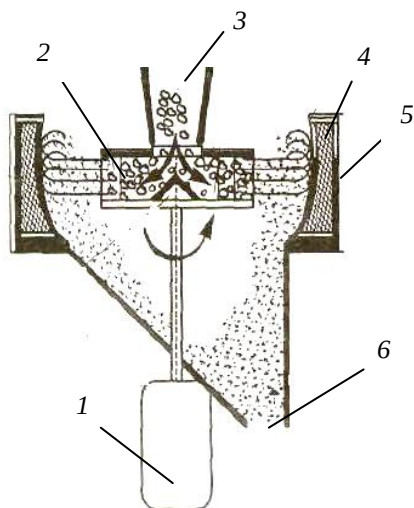


Рис. І.25. Ударно-відцентрова дробарка «Вармас»:

1 – електродвигун; 2 – ротор; 3 – завантажувальний патрубок; 4 – футеровка; 5 – корпус; 6 – розвантажувальний патрубок.

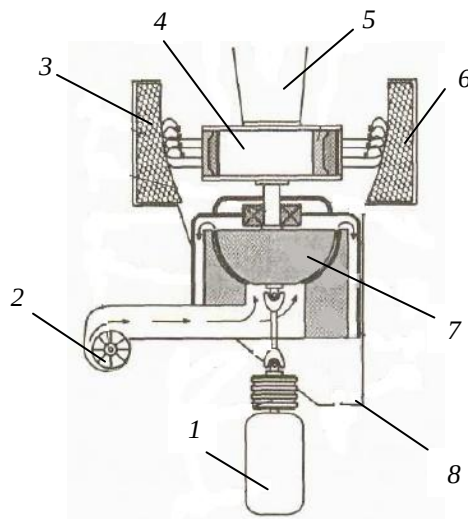


Рис. І.26. Ударно-відцентрова дробарка «Титан Д»:

1 – електродвигун; 2 – вентилятор; 3 – футеровка; 4 – ротор; 5 – завантажувальний патрубок; 6 – корпус; 7 – підшипник; 8 – розвантажувальний патрубок.

Крутильний момент з електродвигуна на вал ротора передається через карданний вал ротора та плаваючий підшипник 7. Плаваючий підшипник складається з рухомої та нерухомої частин, які розділені повітряним зазором, що створюється вентилятором 2.

Основні переваги дробарок в порівнянні з конусними та зубовалковими: висока продуктивність, низькі енерговитрати.

Основні недоліки: швидке зношення робочих елементів ротора та футеровки, підвищене шумовиділення.

Роторні дробарки

В роторних дробарках руйнування матеріалу відбувається за рахунок швидко обертаючих бил, які жорстко закріплені на зовнішній поверхні ротора.

Конструктивні схеми роторних дробарок наведені на рис. I.27.

Найбільше розповсюдження отримали однороторні дробарки, які є найбільш простими, компактними та більш зручними при експлуатації.

В роторній дробарці (рис. I.28) з матеріалу, який надходить на подрібнення, на решітці 1 відсіюється мілка фракція і матеріал направляється на ротор 2.

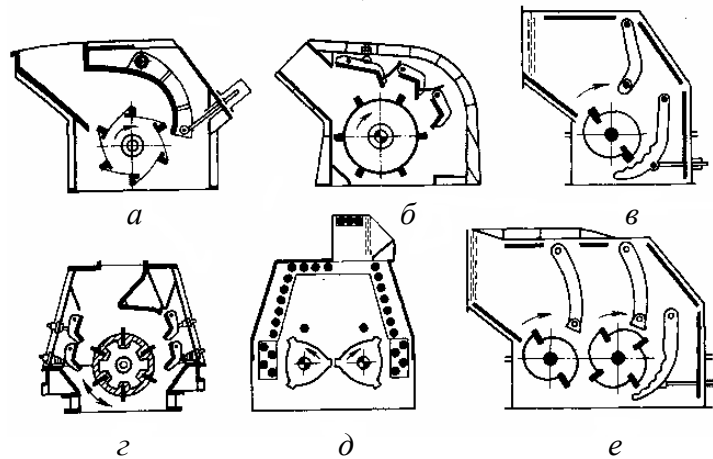


Рис. I.27. Схеми роторних дробарок:

- а) – однороторна з відбивною плитою;*
- б) – однороторна з відбивними плитами;*
- в) – однороторна двокамерна;*
- г) – реверсивна;*
- д) – двороторна одноступеневого дроблення;*
- е) – двороторна двоступеневого дроблення.*

Лопатками 3 ротора, частки матеріалу відкидаються на відбивні плити 4. Подрібнення відбувається ударами лопаток та при ударах часток об плити. Для запобігання вильоту часток матеріалу з завантажувальної воронки в дробарці передбачена ланцюгова завіса 5.

Роторні дробарки високопродуктивні, дозволяють отримувати високу ступінь подрібнення.

Швидке зношення робочих елементів, велике пилоутворення, необхідність точного балансування роторів є недоліками цих машин.

Відцентрово-кулеві млини

Подрібнення матеріалу у відцентрово-кулевому млині (рис. I.29) відбувається за рахунок стисненого удару.

При обертанні чаші 3, шари 10 та матеріал відкидаються відцентровими силами до розмеленого кільця 4, вдаряються по ньому та повертаються назад, описуючи замкнуті криві.

Матеріал головним чином руйнується на розмельному кільці та частково в чаші при зворотному падінні шарів.

Таким чином, при руйнуванні матеріалу використовується кінетична енергія шарів.

Подрібнений матеріал видаляється з млина повітряним потоком який створюється вентилятором 8, та розділяється в сепараторі 6.

Відцентрово-кулевий млин є високоефективною машиною, однак значне зношення шарів та робочих поверхонь є її значним недоліком.

Дезінтегратори та дисембратори

Дезінтегратор (рис. I.30) складається з двох барабанів, які входять один в одний. Барабани обертаються в протилежні сторони від самостійних приводів. Кожен барабан складається з диску 8, на якому по концентричним колам закріплені пальці 9 (найчастіше круглого перерізу). Відстань між пальцями на кожному колі зменшується по мірі віддалення від центру. Ряди пальців одного барабану розміщені між рядами пальців іншого.

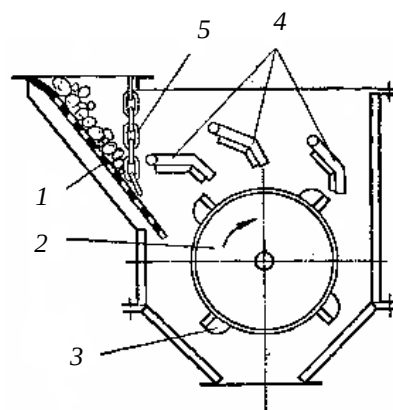


Рис. I.28. Роторна дробарка:
1 – решітка; 2 – ротор; 3 – лопатки; 4 – відбивні плити; 5 – ланцюгова завіса.

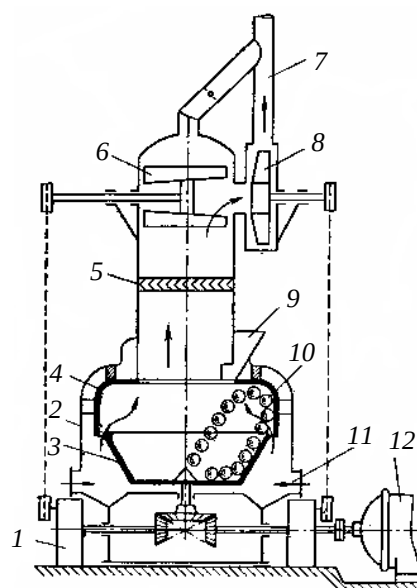


Рис. I.29. Відцентрово-кулевий млин:

1 – редуктор; 2 – корпус; 3 – чаша; 4 – розмельне кільце; 5 – відбійна решітка; 6 – сепаратор; 7 – вихідний штуцер; 8 – вентилятор; 9 – штуцер живлення; 10 – шари; 11 – штуцер вводу повітря; двигун.

Матеріал, що подрібнюється, надходить через воронку 6 в центральну частину одного з барабанів та потрапляє між пальцями, які рухаються назустріч один одному, та просувається до периферії за рахунок відцентрової сили. За рахунок зменшення відстані між пальцями та збільшення їх колової швидкості інтенсивність подрібнення збільшується. Подрібнений матеріал потрапляє в кожух дезінтегратора та направляється до вихідного патрубку.

На відміну від дезінтегратора у дисмембратора (рис. І.31) обертається тільки один диск барабана а другий, який також має пальці, є нерухомим та утворює відкидну кришку. За рахунок цього дисмембратор є більш компактною машиною, зберігаючи при цьому принцип дії дезінтегратора.

Значним недоліком дезінтеграторів та дисмембраторів є швидке зношення пальців барабанів, а їх заміна є трудомісткою операцією. Тому враховуючи цей недолік, дезінтегратори та дисмембратори переважно використовують для подрібнення крихких та м'яких матеріалів з низькою абразивністю (азбест, сірка, барвники, глина, каолін, вапно і та ін.).

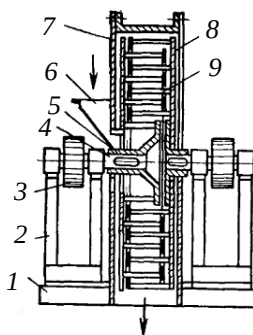


Рис. І.30. Дезінтегратор:

1 – станина; 2 – стійки з підшипниками; 3 – шків; 4 – вал; 5 – втулка; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – кожух; 8 – диск; 9 – палець.

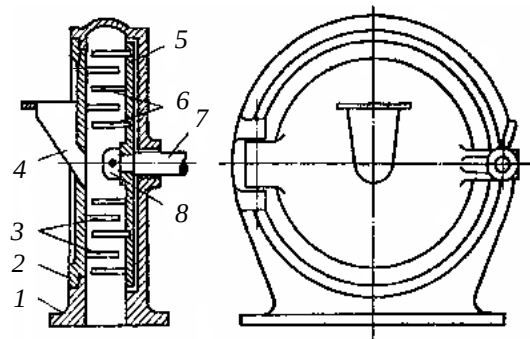


Рис. І.31. Дисмембратор:

1 – корпус; 2 – відкидна кришка; 3 – пальці кришки; 4 – завантажувальний патрубок; 5 – диск; 6 – пальці диска; 7 – вал; 8 – гайка.

Барабанні млини

Барабанні млини представляють собою футерований барабан, який частково заповнений мелючими тілами (шари, стержні, морська галька і т.п.).

Барабанні млини класифікуються за наступним основними ознаками:

- 1) за принципом роботи – млини періодичної та безперервної дії.
- 2) за способами подрібнення – млини сухого та мокрого подрібнення.
- 3) за характером роботи – млини, які працюють в відкритому або закритому циклі.

4) за лінійними розмірами барабана - короткі при $L/D < 2$ та трубні багатоканерні $L/D > 2$ (де L – довжина, D – діаметр барабану млина).

В барабанних млинах періодичної дії завантаження мелючими тілами, матеріалом, а також розвантаження млина відбуваються через люк в циліндричній частині барабана при його зупинці. Млини періодичної дії використовують в помольних установках з низькою продуктивністю або при поєднанні подрібнення матеріалу та інших процесів при необхідності дотримання певного часу перебування матеріалу в зоні подрібнення.

В крупних та середніх виробництвах використовують барабанні млини безперервної дії, які мають порожні цапфи, одна з яких використовується для безперервного завантаження матеріалу, а інша – для безперервного розвантаження подрібненого матеріалу потоком газового або рідкого носія (рис. I.32).

Для відділення подрібненого матеріалу від носія використовують циклони, відстійники або фільтри. Матеріал, який виноситься з млина, має в своєму складі частини більш крупного розміру, ніж потрібні, тому барабанні млини працюють в замкнутому циклі з класифікуючими пристроями.

В барабанному млині безперервної дії (рис. I.33) горизонтальний барабан 3 обертається через зубчасту пару привідним двигуном. Барабан та кришки футеровані плитами (футеровка), поверхня яких має хвилеподібну або ступінчасту форму. Матеріал живильником подається в млин через завантажувальну цапфу 6. Подрібнений матеріал видаляється через розвантажувальну цапфу 1 на іншому кінці апарату.

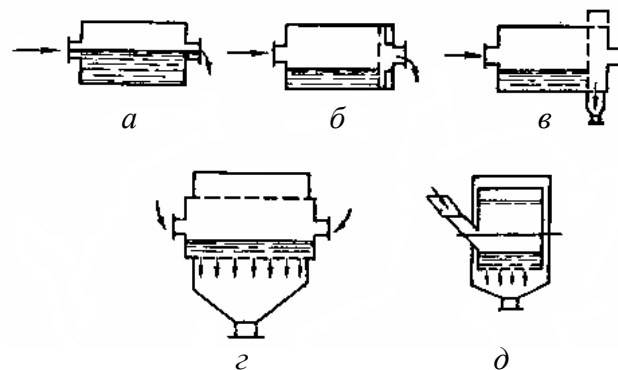


Рис. I.32. Схеми барабанних млинів безперервної дії:

- а) через цапфу;
- б) через цапфу з решіткою;
- в) через решітку;
- г) через отвори барабану;
- д) через сита.

Для отримання подрібненого матеріалу з певним розміром часток без допомоги класифікуючих пристроїв, використовують багатокамерні барабанні млини (рис. I.34). Барабан даного типу млинів поділений кільцевими діафрагмами на низку камер, які заповнюються мелючими

тілами різних розмірів. Таке розподілення мелючих тіл покращує процес та знижує енерговитрати на одиницю подрібнення.

Наявність в барабані діафрагм ускладнює конструкцію та виникає необхідність регулювання рівномірного розподілення навантаження на кожну камеру.

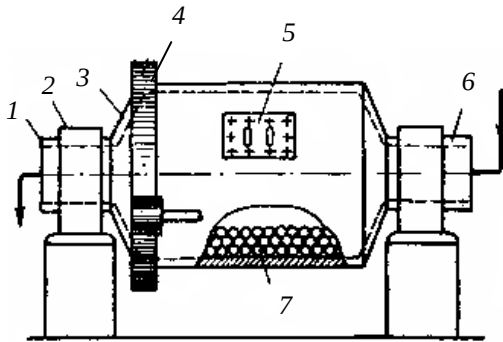


Рис. І.33. Барабанний млин безперервної дії:

1 – розвантажувальна цапфа; 2 – опори; 3 – барабан; 4 – зубчата пара; 5 – люк; 6 – завантажувальна цапфа; 7 – мелючі тіла.

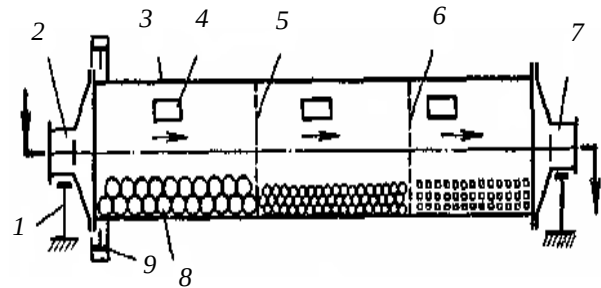


Рис. І.34. Багатокамерний барабанний млин:

1 – опора; 2 – завантажувальна цапфа; 3 – барабан; 4 – люк; 5, 6 – діафрагми; 7 – розвантажувальна цапфа; 8 – мелючі тіла; 9 – зубчатий привід.

Одним з типів барабанних млинів є стрижневі млини, в яких в якості мелючих тіл в барабан завантажують металеві стрижні, довжиною дещо меншою довжини барабану. При падінні шарів в барабанних кулевих млинах відбуваються точкові удари, тоді як в стрижневих удар розподіляється по лінії, що дозволяє вести процес без перездрібнення, та отримувати більш однорідний продукт з меншим вмістом пилу.

Відмінною особливістю барабанних ситових млинів є наявність циліндричного сита, яке пропускає частки необхідного розміру. Це дозволяє використовувати ситові млини без класифікуючих пристроїв. Головний недолік млинів даної конструкції – часте захаращення сит, особливо при подрібненні вологих матеріалів, а також швидке зношування сит та низька продуктивність.

Високі степені подрібнення деяких видів матеріалу без використання мелючих тіл досягаються в барабанних млинах самоподрібнення. Подрібнення матеріалу в млинах даного типу відбувається за рахунок ударної дії, яка виникає при співударянні часток матеріалу між собою.

Незважаючи на низький коефіцієнт корисної дії, та значний намел мелючих тіл в продукті подрібнення, барабанні млини знайшли широке впровадження в гірничій, будівельній, лакофарбовій та інших галузях промисловості.

Розрахунок барабанних млинів.

Частота обертання барабанних млинів визначається за формулою [1]:

$$n = \frac{40\varphi + 16}{\sqrt{D_6}}, \quad (I.74)$$

де φ – коефіцієнт заповнення барабану, $\varphi = 0,3-0,45$;

D_6 – діаметр барабану, м.

При максимальному заповненні барабану мелючими тілами, тобто при $\varphi = 0,45$, частота обертання барабану визначається за формулою [1]:

$$n_{\max} = \frac{32}{\sqrt{D_6}} \quad (I.75)$$

Для визначення продуктивності (в $m^3/год$) барабанних млинів в гірничодобувній промисловості користуються емпіричною залежністю [3]:

$$Q = k \cdot V \cdot D_6^{0,6}, \quad (I.76)$$

де k - коефіцієнт пропорційності;

V – об'єм барабану;

L - довжина барабану, м.

Для приблизної оцінки витрати енергії на подрібнення (в kBm) в барабанних млинах користуються формулою [1]:

$$N = 8,9 \cdot m_{ш} \cdot \sqrt{D_6}, \quad (I.77)$$

де $m_{ш}$ - маса кулевого завантаження, т.

Струминні млини

В струминних млинах подрібнення матеріалу відбувається за рахунок енергії стисненого повітря, перегрітого пару або інертного газу.

Подрібнення відбувається за рахунок удару та стирання часток в потоці газу.

Відомі дві групи струминних млинів:

– з зустрічним потоком струменів та винесеним сепаратором.

– з пересіканням струменів під кутом та пласкою або трубчатою кільцевою помельною камерою.

До першої групи відноситься протитечійний двоструминний млин з верхнім виведенням продукту подрібнення (рис. I.35).

До розгінних трубок 2 приєднані рукава живлення 4, по яким надходить матеріал для подрібнення, та сопла 3, через які надходить енергоносіє. Вихідний матеріал подається живильником 8 в нижню частину сепаратора та по рукавах живлення направляється до розгінних трубок. В помольній камері 1 зустрічні потоки енергоносія зіштовхуються,

за рахунок чого відбувається подрібнення матеріалу. Подрібнений матеріал з помольної камери виноситься потоком повітря через вивідну трубу 5 в сепаратор, де відбувається розділення на дві фракції. Крупна фракція осаджується на дно сепаратора, по рукавах 4 спускається до розгінних трубок та знову потрапляє в камеру 1. Мілка фракція, яка представляє собою цільовий продукт, потоком газу виноситься з сепаратору через верхній штуцер 7 та направляється на розділення.

До другої групи відносяться струминний млин з плоскою помольною камерою та струминний млин з трубчатою кільцевою камерою.

В струминному млині з плоскою камерою (рис. I.36) вихідний матеріал через штуцер живлення 5 подається в зону подрібнення *A*. В цю ж зону через сопла 2 надходить енергоносіє. Сопла направлені таким чином, що струмені газу в середині камери пересікаються, що призводить до подрібнення матеріалу. Так як сопла розміщені під певним кутом, вся маса пилогазової суміші набуває обертального руху, в наслідок чого частинки матеріалу опиняються в полі відцентрових сил та розділяються на фракції. Пилогазовий потік, обертаючись, потрапляє в корпус циклону *B*, де відбувається розділення готового продукту від енергоносія.

В струминному млині з трубчатою кільцевою камерою (рис. I.37) вихідний матеріал живильником 2 подається в зону подрібнення. Через сопла 4 надходить енергоносіє. При зіткненні пилогазових потоків в помольній камері 1 відбувається подрібнення матеріалу та подальше розділення на крупну та мілку фракції. Крупна фракція направляється на додаткове подрібнення, а мілка газовим потоком виноситься з камери подрібнення та направляється на розділення в сепаратор 3.

Основні переваги струминних млинів: високе енергонавантаження та ефективність подрібнення, відсутність деталей які обертаються, та мелючих тіл, можливість поєднання помелу та класифікації з сушінням, окисленням та іншими технологічними процесами.

Основні недоліки: необхідність попереднього подрібнення, значна витрата енергоносія, необхідність постійної підтримки точних параметрів процесу.

Незважаючи на перераховані недоліки, струминні млини знайшли широке впровадження у виробництві пігментів (двоокис титану, тальк, шпати, сурик та ін.), які повинні бути попередньо тонко подрібнені на кулевих або роликових млинах.

8. 5. Подрібнювачі ударно-стираючої дії.

В подрібнювачах ударно-стираючої дії подрібнення матеріалу відбувається при поєднанні ударних та стираючих навантажень.

Це досягається за рахунок ударної дії матеріалу о поверхню мелючих тіл (або навпаки) та стираючих навантажень, які виникають при дії мелючих тіл на матеріал або при взаємодії часток матеріалу між собою.

Ударно–стираючий спосіб подрібнення реалізується в ударно-відцентрових, вібраційних, планетарних, гіроскопічних та бісерних млинах.

Ударно – відцентрові млини

Подрібнення матеріалу в ударно – відцентрових млинах відбувається за рахунок вільного удару та стирання в турбулентних потоках носія (повітря, інертний газ).

Ударно – відбивні млини класифікуються в залежності від:

- розміщення ротора:
 - а) вертикальні;
 - б) горизонтальні.
- типу регулювання тонини помелу:
 - а) сепарація в зоні помелу;
 - б) сепарація поза зоною помелу.
- кількості ступінів ротора.

Класифікація подрібненого матеріалу в млинах ударно – відцентрової дії досягається шляхом вибору певних конструктивних рішень в залежності від типу матеріалу, тонини помелу та інших факторів.

На рис. І.38 наведений одноступінчатий ударно – відцентровий млин з висхідним сепараційним потоком повітря.

Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 6 подається на диск ротора 4 та за рахунок дії відцентрових сил відкидається в зону подрібнення, яка утворюється бильними 2 та відбійними 1 елементами.

Процес подрібнення складається з удару бильних елементів по частинкам матеріалу, удару часток матеріалу по відбійним елементам та наступного удару та стирання часток в інтенсивних турбулентних потоках носія.

Розділення подрібненого матеріалу на крупну та мілку фракції відбувається за рахунок відцентрової сили ротора та інерційних сил, які діють у висхідному потоці пилогазової суміші. Більш

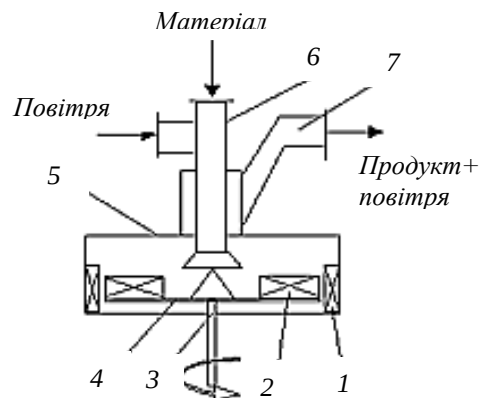


Рис.І.38. Одноступінчатий ударно-відцентровий млин з висхідним сепараційним потоком:

1 – відбійні елементи; 2 – била; 3 – вал; 4 – диск; 5 – корпус; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – розвантажувальний патрубок.

крупні частинки повертаються в зону подрібнення, а мілкі виносяться газовим потоком з млина.

На рис. I.39 наведений горизонтальний ударно-відцентровий млин з пороговою сепарацією. Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 1 подається на першу ступінь 3. За рахунок дії відцентрової сили матеріал потрапляє в зону подрібнення, яка утворюється бильними 5 та відбійними 4 елементами. Руйнування матеріалу відбувається за рахунок удару та стирання в турбулентному потоці. При перевищенні аеродинамічної сили над відцентровою, частинки, які досягли оптимального розміру для даної ступені, направляються на другу ступінь 7, де відбувається подальше подрібнення. За другою ступінню встановлено сепараційне кільце 8, за рахунок якого відбувається розділення продукту помелу на крупну та мілку фракції. При перевищенні аеродинамічної сили, яка створюється вентилятором 9, над відцентровою силою другої ступені ротора, подрібнений матеріал виносяться з млина через розвантажувальний патрубок 6.

В двороторному ударно-відцентровому млині (рис. I.40) вихідний матеріал через завантажувальні патрубки 1 подається в камери подрібнення 2. Під дією відцентрових сил частинки матеріалу відкидаються до периферії роторів та потрапляють в струминну камеру 3, де відбувається подрібнення матеріалу. Млини даної конструкції дозволяють поєднувати процеси подрібнення, змішування та сушіння матеріалів.

Ударно-відцентрові млини використовуються для подрібнення рослинних матеріалів, хімічних та мінеральних речовин з твердістю до 4 за шкалою Мооса.

Основні переваги ударно-відцентрових млинів: отримання продукту помелу певного дисперсного складу, висока продуктивність, низькі енерговитрати.

Основні недоліки: зношення робочих елементів млинів, особливо при подрібненні матеріалів підвищеної міцності.

Вібраційні млини

На рис. I.41 наведений вібраційний млин, який складається з циліндричного корпусу 1 з

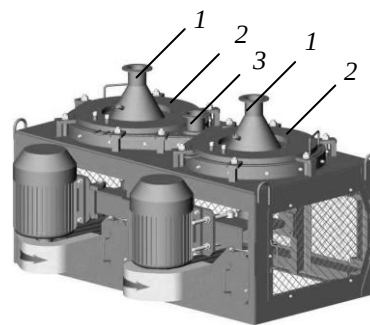


Рис. I.40. Двороторний ударно-відцентровий млин:

1 – завантажувальні патрубки; 2 – камери подрібнення; 3 – струминна камера.

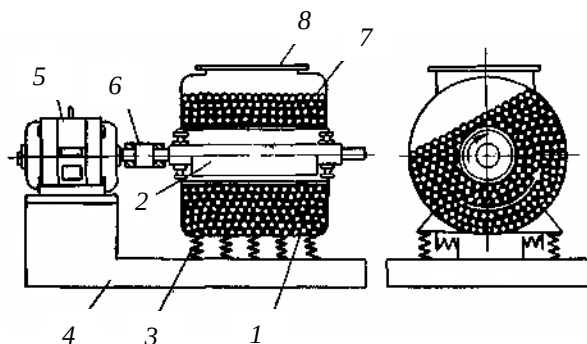


Рис. I.41. Вібраційний млин:

1 – корпус; 2 – вібратор; 3 – опори; 4 – рама; 5 – електродвигун; 6 – муфта; 7 – мелючі тіла; 8 – люк.

завантажувально-розвантажувальним пристроєм 8, вібратора 2, пружинних або резинових опор 3, опорної рами 4, електродвигуна 5, муфти 6 та шарів 7.

При обертанні дебалансового валу корпус вібраційного млина вібрує, передаючи коливання шарам. При співударянні вібруючих шарів, а також при їх взаємному переміщенні, відбувається інтенсивне подрібнення матеріалу.

Вібраційні млини на 70-80 % заповнюються мелючими тілами у вигляді сталених шарів, циліндриків розміром 8-15 мм або фарфоровими шарами діаметром 12-15 мм.

Вібраційні млини використовують для сухого та мокрого подрібнення матеріалів періодичним або безперервним способом. Використання вібраційних млинів найбільш ефективно при надтонкому подрібненні матеріалу невеликої міцності з розмірами часток від 2 мм до 60 мкм.

В порівнянні з кулевими млинами вібраційні млини мають більше енергонавантаження та продуктивність. Однак, високі показники навантаження призводять до значного підвищення температури в середині млина. Тому вібраційні млини не використовуються для подрібнення матеріалів з низькими температурами деструкції.

Основні недоліки вібраційних млинів: швидке зношення мелючих тіл, низький строк служби підшипників, корпусу та опор, відносно низька продуктивність, підвищене шумовиділення.

Планетарні млини

Планетарний млин (рис. I.42) представляє собою декілька невеликих барабанних подрібнювачів, які змонтовані на водилі 2. На вісі кожного подрібнювача посаджені шестерні 5, які знаходяться в зачепленні з нерухливим зубчатим колесом 4. При обертанні водила барабанні подрібнювачі обертаються як відносно його вісі, так і власної вісі. Мелючі тіла, які знаходяться в барабанах, набувають складного руху та при зіткненні зі стінками барабану та один з одним подрібнюють матеріал.

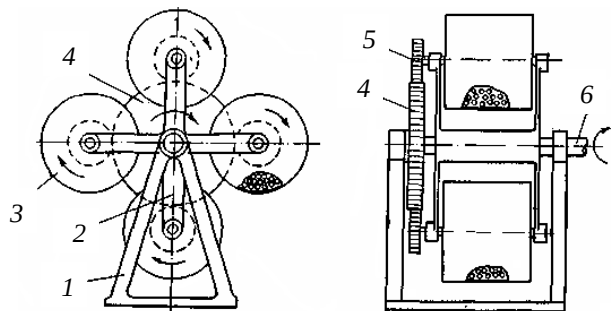


Рис. I.42. Планетарний млин:
1 – станина; 2 – водило; 3 – барабанні подрібнювачі; 4 – зубчате колесо; 5 – привідна шестерня; 6 – ведучий вал.

Гіроскопічні млини

Гіроскопічний млин (рис. I.43) складається з барабану 5, на цапфах якого знаходяться ролики 3, які спираються на опону шайбу 2. З цапфами барабану пов'язано водило 4, яке з'єднане з привідним валом 1.

При обертанні привідного валу барабан подрібнювача обертається відносно горизонтальної та вертикальної вісі.

Мелючі тіла, які знаходяться в середині барабана, набувають складного руху, в результаті чого матеріал подрібнюється.

Планетарні та гіроскопічні млини не знайшли широкого впровадження в промисловості зв'язку з відсутністю даних по впливу факторів, таких як розміри барабану, частоти його обертання, розміру мелючі тіл та інше, на процес подрібнення.

Планетарні та гіроскопічні млини мають такі ж недоліки як і кулеві, крім того не вирішене питання про безперервність процесу подрібнення в млинах даної конструкції.

Бісерні млини.

Бісерний млин, який наведений на рис. I.44, складається з корпусу *A* та дискового ротору *B*.

Циліндр *1* заповнюють на 2/3-3/4 об'єму кремній-кварцовим бісером (розмір часток 1-2 мм), або крупнозернистим зносостійким піском (розмір часток 0,6-0,8 мм). При обертанні дисків ротора бісеринки рухаються. Суспензія, яка приготовлена з матеріалу та зв'язуючого, подається насосом через штуцер *a* в циліндр, піднімається вгору, проходить через шар вібруючих бісеринок або піщинок, подрібнюється, а потім фільтрується через сито *5* та виводиться по жолобу *в* на подальшу обробку. Для охолодження циліндра в кожуху *2* через штуцер *б* та *г* подають охолоджуючий агент.

Бісерні млини знайшли широке впровадження у виробництві красок, емалей, ґрунтовок та інших аналогічних матеріалів.

Головні переваги бісерних млинів: висока продуктивність при незначних розмірах машини, простота конструкції, висока ступінь герметизації.

Основні недоліки: не призначені для високов'язких красок та емалей.

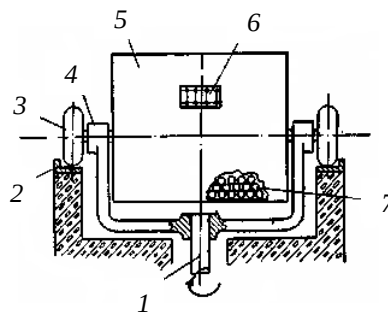


Рис. I.43. Гіроскопічний млин:

1 – вал; 2 – опорна шайба; 3 – опорний ролик; 4 – водило; 5 – барабан; 6 – люк; 7 – мелючі тіла.

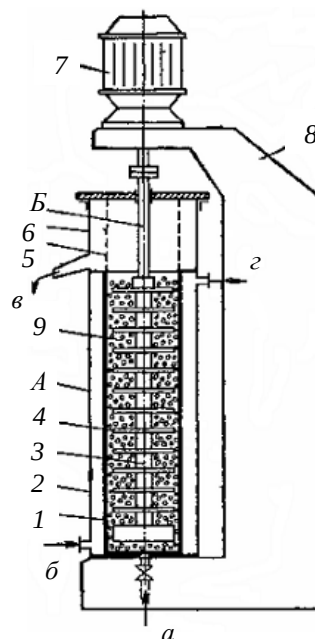


Рис. I.44. Бісерний млин:

A – корпус; *Б* – дисковий ротор; 1 – циліндр; 2 – кожух; 3 – вал; 4 – диски; 5 – сито; 6 – приймач; 7 – електродвигун; 8 – станина; 9 – бісер або пісок.

8.6. Подрібнювачі ріжучої дії

В подрібнювачах ріжучої дії руйнування матеріалу відбувається за рахунок ріжучих навантажень.

До подрібнювачів ріжучої дії відносяться ножові млини.

Ножові млини

Ножові млини – це машини, середнього та мілкокого подрібнення. Призначені для здрібнення матеріалів середньої міцності, полімерних та рослинних матеріалів з розміром часток до 50 мм. Мінімальний розмір часток після подрібнення становить 0,5 мм.

Ножовий млин, який наведений на рис. 1.45, складається з корпусу 1, в якому встановлені нерухомі ножі 3 та диску ротора 4 з рухомими ножами 5, які виготовляють з інструментальної сталі.

Вихідний матеріал через завантажувальний патрубок 2 потрапляє під дію рухомих та нерухомих ножів, подрібнюється та після досягнення певного розміру часток видаляється через решітку 6. Розмір часток кінцевого продукту залежить від розміру отворів в решітці.

Основні переваги ножових млинів: можливість здрібнення матеріалів, які мають волокнисту структуру.

Низька продуктивність та незначна ступінь подрібнення є основними недоліками млинів даної конструкції.

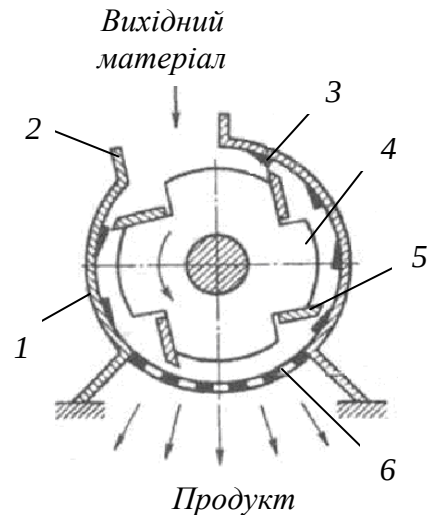


Рис. 1.45. Ножовий млин:

1 – корпус; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – нерухомий ніж; 4 – диск ротора; 5 – рухомий ніж; 6 – решітка.

8.7. Колоїдні млини

Під колоїдним подрібненням розуміють таке, при якому отримують продукт, розмір якого близький до колоїдного, тобто порядку від одиниць до часток мікрметра.

В кожному з представлених вище млинах при певних умовах можливо отримати частинки такої дисперсності, але з економічної та технологічної точки зору більш доцільно отримувати продукти з таким розміром в так званих колоїдних млинах.

Це пояснюється тим, що частинки матеріалу, які близькі до колоїдних притягуються один до одного, та утворюють агломерати. Для того щоб уникнути укрупнення частинок, колоїдне подрібнення проводять в присутності диспергуючого середовища, найчастіше рідини. В

залежності від типу матеріалу, який подрібнюється, відношення твердої та рідинної фази становить від 1:2 до 1:6.

Колоїдне подрібнення є складним та маловивченим процесом. До теперішнього часу процес не має надійної теоретичної основи, тому проводиться виключно в дослідних умовах.

Конусні млини

Головними елементами конусного колоїдного млина (рис. І.46) є конусний ротор 2 та статор 5, які розміщені в корпусі 3.

Ротор та статор розділені на декілька кільцевих зон, які мають на поверхні нахилені паралельні канавки 6, ширина яких зменшується, а їх число збільшується при переході від верхніх до нижніх зон. Канавки статора та ротора направлені в протилежні боки та перетинаються.

Матеріал, який підлягає подрібненню, подається у вигляді пульпи через воронку 7 на верхній торець ротора, потрапляє в зону між статором та ротором, подрібнюється між канавками, які перетинаються, та видаляється через вихідний патрубок 9.

Тонина помелу в конусних млинах регулюється зазором між ротором та статором.

В залежності від розміру подрібнювача його споживана потужність коливається від 1,5 до 30 кВт.

Конусні колоїдні млини призначені для подрібнення матеріалів в лакофарбовій, резиновій, хімічній, паперовій, харчовій та інших галузях промисловості.

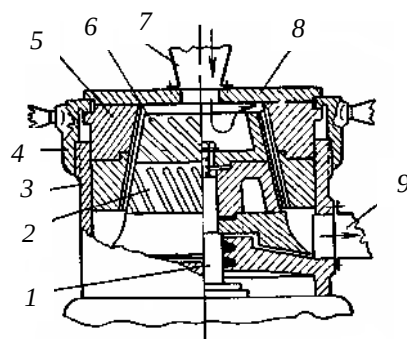


Рис. І.46. Конусний колоїдний млин:

1 – вал; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – гайка; 5 – статор; 6 – канавки; 7 – воронка; 8 – кришка; 9 – вихідний патрубок.

Бильні млини

Робочими елементами бильного колоїдного млина (рис. І.47) є била 3, які закріплені на роторі 4, та контрбила 6, які розміщені в корпусі 1. Ряди бил ротора знаходяться між рядами контрбил корпусу.

Матеріал, що подрібнюється, направляється в подрібнювач через штуцер подачі 8, потрапляє під дію бил та контрбил,

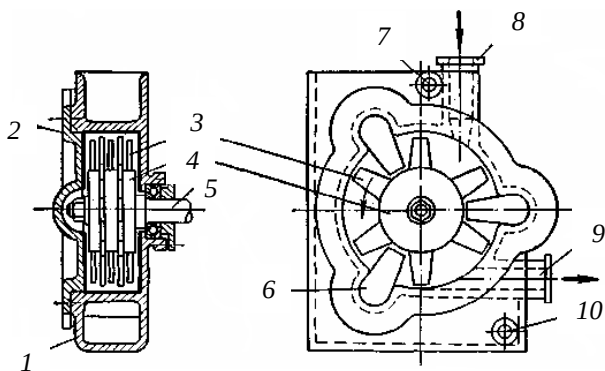


Рис. І.47. Бильний колоїдний млин:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – била; 4 – ротор; 5 – вал; 6 – контрбила; 7, 10 – штуцери нагріву або охолодження; 8, 9 – штуцера подачі та розвантаження матеріалу.

подрібнюється та виводиться через штуцер 9. Корпус подрібнювача має оболонку охолодження для підігріву або охолодження системи, яка подрібнюється.

В залежності від типу та вимог до подрібненого матеріалу бильний млин може працювати як в відкритому так і в закритому циклі.

Висока ступінь подрібнення матеріалу в млинах даної конструкції досягається за рахунок стирання та стиснення часток між билами та контрбилами, цьому також сприяє значний кавітаційний ефект, який виникає внаслідок великої швидкості руху бил та часток при їх зустрічі з контрбилами. Через великий кавітаційний ефект бильні млини іноді називають кавітаційними.

Бильні млини дозволяють отримувати продукт з частинками розміром від 1 до 20 мкм.

Продуктивність млинів залежить від тонини помелу, а також від співвідношення матеріалу до рідини.

Подрібнювачі даної конструкції використовують для виготовлення колоїдної сірки, арсенітів кальцію та міді, барвників, колоїдного графіту та ін., а також використовуються як емульгатори, гомогенізатори, змішувачі та розпушувачі.

Колоїдні млини з решітчастим ротором

На рис. I.48 наведений колоїдний млин з решітчастим ротором. Подрібнювач складається з порожнього решітчастого ротора 1 та статора 2, які розміщені в корпусі 3. Вихідний матеріал у вигляді пульпи через штуцер 4 потрапляє в ротор, захоплюється закріпленими в роторі ребрами 5, під дією відцентрових сил проходить через вузькі прорізи в стінках ротора та потрапляє в зазор між ротором та статором. На внутрішній поверхні статора є повздовжні борозни, які покращують процес подрібнення. Подрібнення матеріалу відбувається в зазорі за рахунок стирання та розриву часток, а також внаслідок кавітаційного ефекту, який виникає при швидкому обертанні ротора.

Подрібнювач має кожух 7 для відведення або підведення тепла.

Тонина помелу регулюється зміною зазору між ротором та статором, а також тривалістю подрібнення матеріалу.

Подрібнювач працює в замкнутому циклі з проміжною ємністю та циркуляційним насосом.

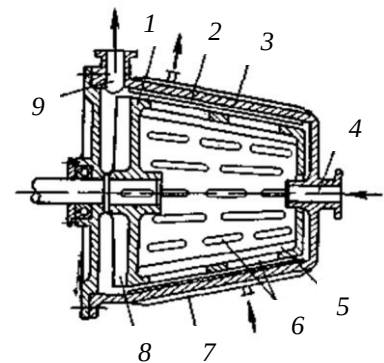


Рис. I.48. Колоїдний млин з решітчастим ротором:

1 – ротор; 2 – статор; 3 – корпус; 4 – штуцер живлення; 5 – ребра; 6 – наскрізні прорізи; 7 – кожух; 8 – лопаті; 9 – штуцер розвантаження.

Віброкавітаційні млини

Віброкавітаційний млин (рис. І.49) складається з корпусу 1, статора 2 та ротора 3. Статор та ротор мають на поверхні канавки, які направлені вздовж вісі.

Вихідний матеріал у вигляді суспензії потрапляє через штуцер 5 в кільцевий зазор між статором та ротором, подрібнюється та видаляється через штуцер 6.

При обертанні ротора частки матеріалу, рухаючись від канавок ротора до канавок статора, здійснюють коливання високої частоти. При діаметрі ротора подрібнювача 0,5 м та частоті обертання близько 18000 об/хв частота коливань часток досягає ультразвукових. Такі коливання матеріалу в диспергуючому середовищі обумовлюють високу ступінь подрібнення.

Для охолодження або нагрівання передбачена оболонка охолодження з штуцерами 7.

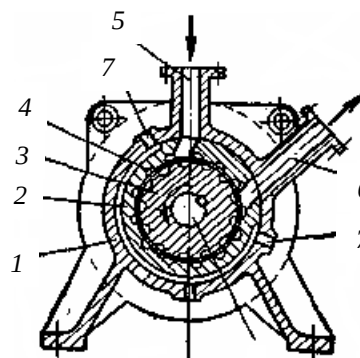


Рис. І.49. Віброкавітаційний млин:

1 – корпус; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – канавки; 5 – штуцер живлення; 6 – штуцер розвантаження; 7 – штуцера для нагріву або охолодження; 8 – вал ротору.

8.8. Спеціальні види подрібнення

Ультразвукове диспергування

Ультразвукове диспергування – тонке подрібнення твердих матеріалів в рідинах під дією ультразвукових коливань.

Ультразвукове диспергування дозволяє отримувати високодисперсні однорідні суспензії твердих речовин. При ультразвуковому диспергуванні суспензій дисперсність продукту підвищується в декілька разів в порівнянні з механічним подрібненням.

Подрібнення матеріалу при ультразвуковому диспергуванні відбувається під дією ударних хвиль, які виникають при кавітації. Руйнування матеріалу починається при певному граничному значенні інтенсивності ультразвуку, яке залежить від кавітаційної міцності рідини, стану поверхні твердої фази, а також від характеру та величини сил взаємодії в окремих частинках твердої фази.

Для запобігання злипанню (коагуляції) твердих часток, як правило, по закінченню процесу диспергування в рідину вводять поверхнево-активні речовини.

Ультразвукове диспергування застосовують в хімічній промисловості для отримання суспензій з каоліну, слюди, сірки, графіту і т. інш.

Криогенне подрібнення

Криогенне подрібнення – механічне подрібнення в середовищі холодоагенту, при якому матеріал досягає стану холодноламкості.

В залежності від типу матеріалу криогенне подрібнення проводять при температурі від -80 до -190⁰С.

В якості холодоагентів використовують рідкий азот, двооксид вуглецю або повітря. Після обробки холодоагентом матеріал подрібнюється в дробарках або млинах.

При криогенному подрібненні, в порівнянні з механічним, отримують продукти більш високої дисперсності. Однак, спосіб криогенного подрібнення потребує використання матеріалів високої вартості, та спеціального обладнання для отримання і зберігання холодоагенту.

Криогенне подрібнення використовується для отримання дисперсних продуктів з пружних та в'язких матеріалів та для зниження термодеструкції матеріалів, яке відбувається при звичайному механічному подрібненні.

Криогенне подрібнення застосовують при здрібненні пластмас, еластомерів, гумотехнічних відходів і т. інш., в фармацевтичній промисловості при виготовленні лікарських засобів, в харчовій промисловості для зниження втрат поживних властивостей речовин.

9. Промислові схеми подрібнення

9.1. Подрібнення рослинних матеріалів

Подрібнені рослинні матеріали (пшенична, рисова солома, соняшникове, рисове лушпиння та інше) з розміром часток до 100мкм використовуються у якості наповнювача полімерних матеріалів, у виробництві вибухових речовин, фільтрувальних елементів, клеїв, каталізаторів, двооксиду титану, зварювальних матеріалів. Продукти помелу застосовуються при виробництві кормів та добрив в сільському господарстві та інших галузях.

Схема установки тонкого подрібнення рослинних матеріалів наведена на рис. І.50.

Установка працює наступним чином.

Вихідний матеріал з бункеру живильника 3, за допомогою шнека, який приводиться в дію електродвигуном з частотним регулятором 2, направляється в завантажувальний патрубок ударно-відцентрового млина 13. Суміш повітря та подрібненого матеріалу виноситься з млина через розвантажувальний патрубок та направляється в фільтр-циклон 12. У фільтр-циклоні відбувається розділення пилоповітряної суміші на продукт та повітря. Очистка фільтрувальних елементів фільтр-циклону відбувається за рахунок періодичної подачі стисненого повітря в автоматичному режимі. Відділений від повітря подрібнений матеріал направляється в ємкість 9. На установці встановлений вентилятор 8, який

дозволяє зменшити опір фільтр-циклону та регулювати дисперсність продукту помелу. Контроль та регулювання установки здійснюється силовою шафою 5 та пультом керування 6.

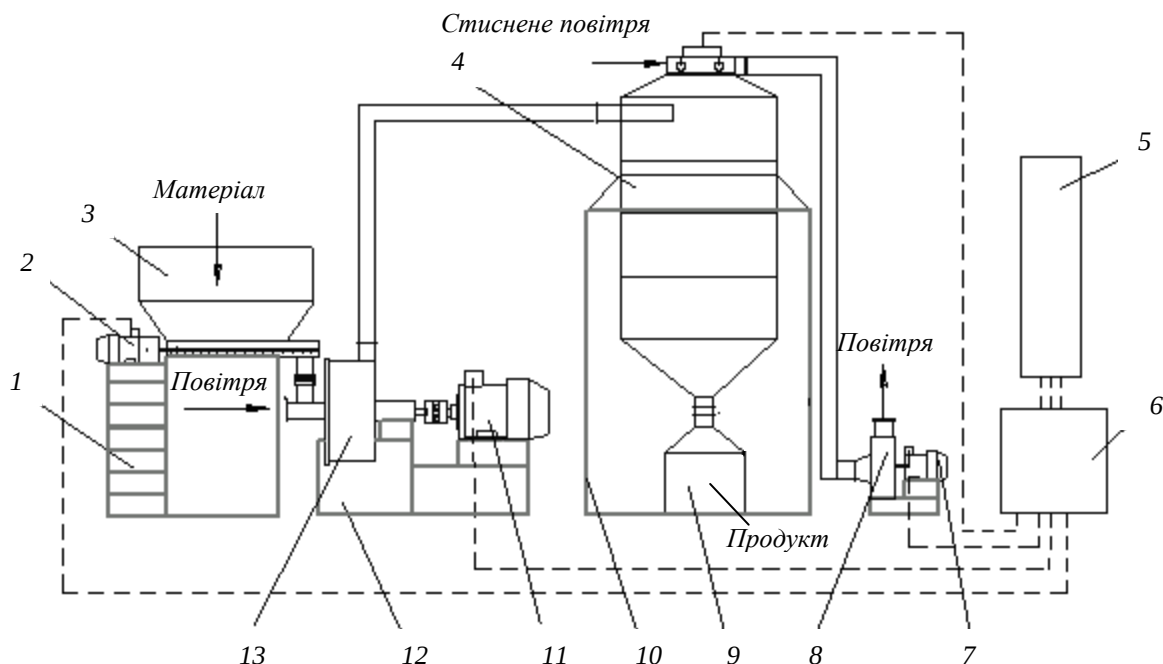


Рис. І.50. Схема установки тонкого подрібнення рослинних матеріалів:
 1, 10, 12 – рама; 2 – електродвигун з частотним регулятором; 3 – живильник; 4 – фільтр-циклон; 5 – силова шафа; 6 – пульт керування; 7 – електродвигун вентилятора; 8 – вентилятор; 9 – ємкість для продукту; 11 – електродвигун млина; 13 – ударно-відбивний млин.

Технічна характеристика установки тонкого подрібнення рослинних матеріалів.

Продуктивність, кг/год	До 300
Енерговитрати, кВт·год/т	200-300
Дисперсність продукту, мкм	не більше 100
Потужність електродвигуна, кВт	75
Габаритні розміри, мм	8080x3460x5850

Установка розроблена НПП “Техмет” (Україна) при співпраці з ГКБ Південне (Україна), ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Україна), Kansas City Planet (USA) та Pinnacle Technology inc. (USA).

Установка тонкого подрібнення рослинних матеріалів, за рахунок зміни конструктивних параметрів млина та технологічних параметрів процесу, дозволяє отримувати продукти помелу з різним дисперсним складом [6].

Із залежності, яка наведена на рис. I.51, видно, що вміст фракції менше 63 $\mu\text{м}$ в продуктах помелу рослинних матеріалів досягає 96-100%.

При тонкому помелі рослинних матеріалів в млині ударно-відбивної дії виділяється значна кількість тепла. Це явище пов'язане з ударною дією та тертям частинок матеріалу по робочим поверхням млина та за рахунок турбулізації пилогазової суміші в робочій зоні млина.

В млині ударно-відбивної дії відбувається практично миттєвий процес сушіння, що в свою чергу призводить до прискорення процесу руйнування матеріалу. Тобто дана установка дозволяє поєднувати процеси подрібнення та сушіння матеріалів. Встановлено, що вологість продукту помелу рослинних матеріалів досягає 1-3% (мас.) (рис. I.52) при початковій вологості 8-10% (мас.).

9.2. Подрібнення залізоокисного пігменту

Залізоокисний пігмент використовується в лакофарбовій промисловості при виробництві красок, емалей та ґрунтовок.

Схема установки подрібнення залізоокисного пігменту наведена на рис. I.53.

Установка працює наступним чином [7].

Вихідний залізоокисний пігмент з розміром часток 5-10 мм з завантажувального бункера 5 шнековим живильником 6 подається в магнітний уловлювач 7, який запобігає потраплянню в млин металічних

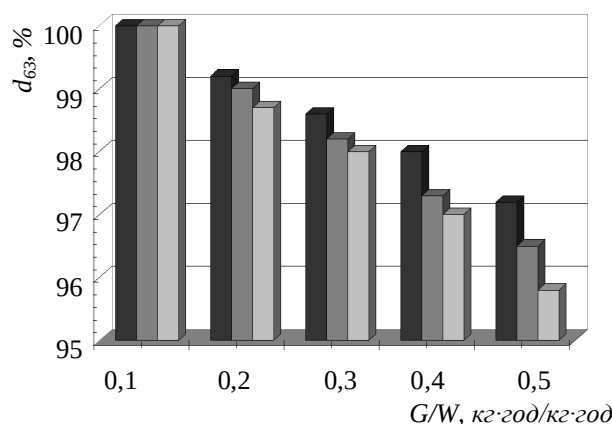


Рис I.51. Залежність вмісту фракції менше 63 $\mu\text{м}$ в продукті помелу рослинних матеріалів від масового співвідношення матеріалу до повітря:

- - соняшникове лушпиння;
- - рисове лушпиння;
- - пшенична солома.

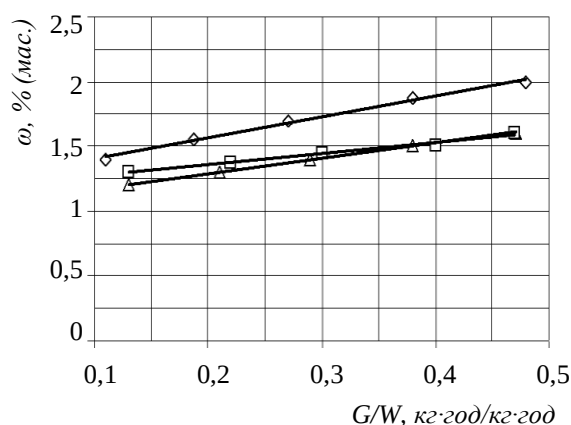


Рис I.52. Залежність вологості продукту помелу рослинних матеріалів від масового співвідношення матеріалу до повітря:

- ◇ - соняшникове лушпиння;
- △ - рисове лушпиння;
- - пшенична солома.

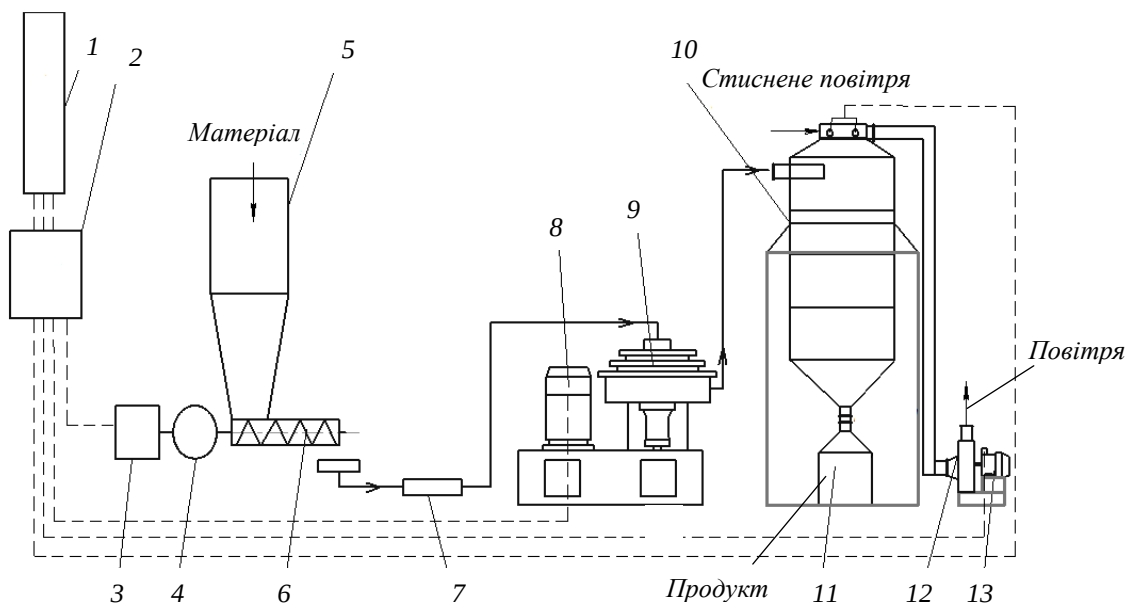


Рис. І.53. Схема установки подрібнення залізоокисного пігменту:

1 – силова шафа, 2 – пульт керування, 3 – електродвигун живильника, 4 – редуктор, 5 – завантажувальний бункер, 6 – шнековий живильник, 7 – магнітний уловлювач, 8 – електродвигун млина, 9 – ударно-відбивний млин, 10 – фільтр-циклон, 11 – бункер продукту; 12 – вентилятор, 13 – електродвигун вентилятора.

включень. З магнітного уловлювача матеріал направляється в ударно-відбивний млин 9. Привід шнекового живильника складається з електродвигуна 3 та редуктора 4. Продуктивність шнекового живильника регулюється частотним регулятором. Подрібнений в ударно-відбивному млині пігмент направляється фільтр-циклон 10, в якому відбувається розділення пилогазової суміші. Очищене повітря виходить в атмосферу, а продукт потрапляє в бункер 11. З метою зменшення опору фільтр-циклону на установці передбачений вентилятор 12 з електродвигуном 13.

Очищення фільтрувальних елементів фільтр-циклону відбувається стисненим повітрям в автоматичному режимі. Контроль та регулювання процесу подрібнення залізоокисного пігменту здійснюється за допомогою пульта керування 2.

Технічна характеристика установки подрібнення залізоокисного пігменту.

Продуктивність, кг/год	До 500
Дисперсність продукту, мкм	10 (до 90 %)
Потужність електродвигуна, кВт	12,5

Дослідно-промисловий зразок установки подрібнення залізоокисного пігменту розроблений на базі ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Криві розподілення часток за розміром наведені на рис. I.54. З рис. I.54 видно, що зразки, які отримані на данній установці, мають більш вузький інтервал розподілення часток, ніж інші зразки.

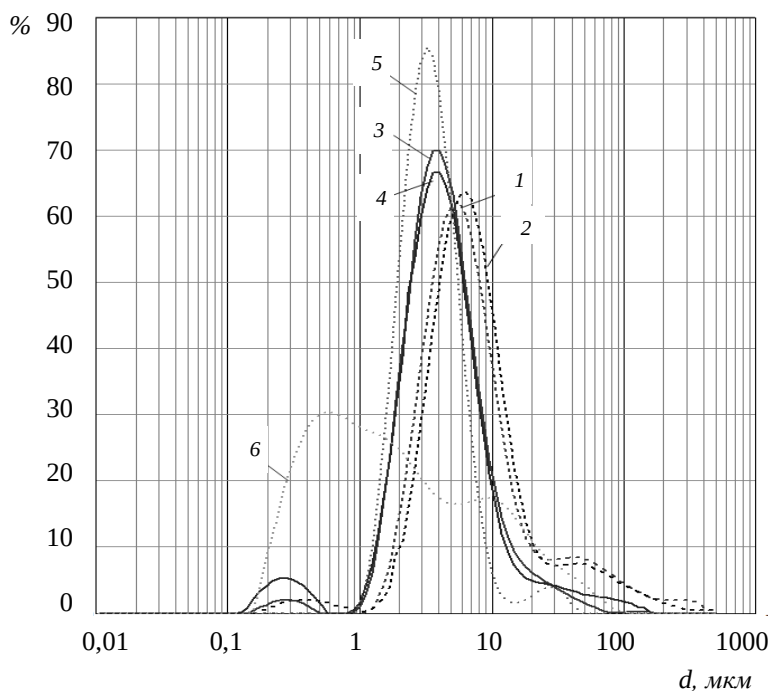


Рис. I.54. Криві розподілення часток за розміром:
 1 - *красно-вишневий пігмент (дисембратор);*
 2 - *красно-коричневий пігмент (дисембратор);*
 3 - *красно-вишневий пігмент (млин ДВНЗ «УДХТУ»);*
 4 - *красно-коричневий пігмент (млин ДВНЗ «УДХТУ»);*
 5 - *красний пігмент марки 3021М (Італія);*
 6 - *красний пігмент Bayferrox 120М (Германія).*

9.3. Подрібнення гумотехнічних матеріалів

Велика різноманітність гумотехнічних відходів та зростаючі вимоги до якості кінцевого продукту зумовили необхідність створення обладнання, яке б забезпечило очистку вихідної сировини від металевих включень, подрібнення до певного розміру, розсів отриманого кришива та отримання подрібнених гумових відходів в запакованому вигляді.

Всім цим вимогам відповідає лінія з отримання гумового кришива із неармованих гумових відходів. Установка розроблена на Костромському заводі полімерного машинобудування.

Лінія (рис. I.55) складається з магнітного сепаратора 1, подрібнювача 2, вібраційного сепаратора 3, магнітного сепаратора 4, бункера 5, агрегату упакування 6 та чотирьох транспортних систем. Кожна з яких складається з живильника 7, циклона 8, вентилятора 9 та трубопроводу 10.

Отримання кришива відбувається наступним чином: гумові відходи, пройшовши через магнітний сепаратор 1, направляються в подрібнювач 2,

з якого кришиво подається пневмотранспортом в вібраційний сепаратор 3. Готове кришиво, проходячи через отвори сітки вібраційного сепаратора та магнітний сепаратор 4, в якому з кришива видаляються металеві вclusions, потрапляє в бункер 5, а кришиво, яке залишилось на сітці, повертається в подрібнювач 2. З бункеру кришиво направляється в агрегат упаковки 6.

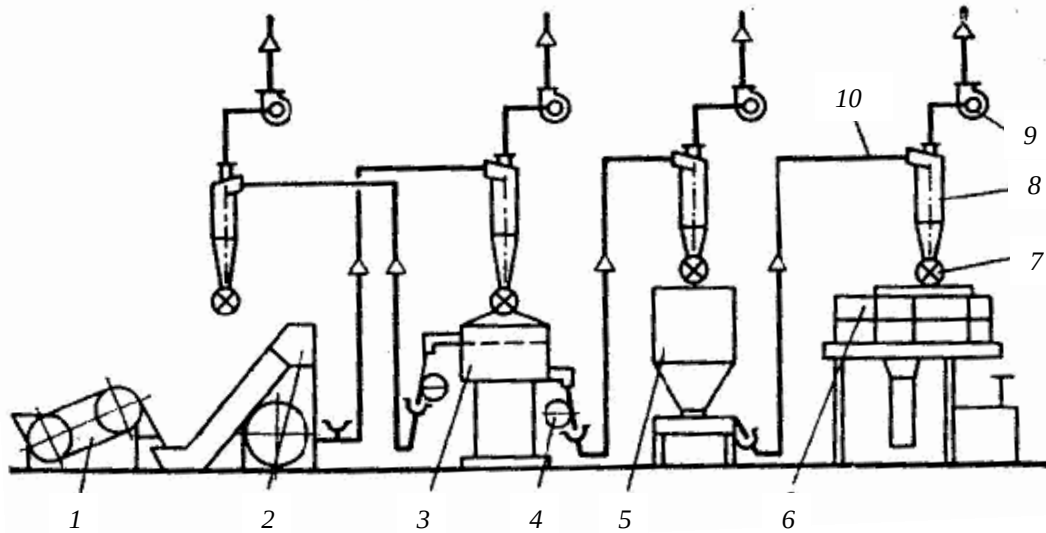


Рис. І.55. Схема установки подрібнення гумотехнічних відходів:

1 – магнітний сепаратор; 2 – подрібнювач; 3 – вібраційний сепаратор; 4 – магнітний сепаратор; 5 – бункер; 6 – агрегат упаковки; 7 – живильник; 8 – циклон; 9 – вентилятор; 10 – трубопровід.

Технічна характеристика лінії подрібнення гумотехнічних відходів

Продуктивність , $кг/год$	до 350
Розмір кришива , $мм$	0,3-0,5
Витрата стисненого газу, $м^3/год$	1,5
Потужність електродвигуна, $кВт$	130
Габаритні розміри, $мм$	1530x3500x6255
Маса, $кг$	18000

Для переробки зношених покришок з металевим кордом ВНИИРТмашем розроблений подрібнювач, який складається з двох ножових роторів, які обертаються назустріч один одному. Покришка в подрібнювачі розрізається на смуги шириною 60 $мм$.

Технічна характеристика
подрібнювача зношених покриттів

Продуктивність, кг/год	5000
Розмір покриттів, мм	до 500
Ширина отриманих смуг, мм	60
Потужність електродвигуна, кВт	130
Габаритні розміри, мм	7900x6400x3490
Маса, кг	44000

9.4. Подрібнення сірчаної руди

Для отримання сірки самородні сірчані руди попередньо збагачують. Збагачення проводять на флотаційних машинах з отриманням флотаційного концентрату, який містить близько 90 % сірки. Перед флотаційним збагаченням сірчану руду подрібнюють до розмірів часток менше 0,1 мм.

На рис. І.56 наведена схема подрібнення сірчаної руди.

Руду, яку доставляють самоскидом 2 з кар'єру, подають на пластинчатий живильник 3, а потім в щоківу дробарку 4. З щоківної дробарки ланцюговим живильником 5 руду направляють в молоткову дробарку 6, з дробарки на стрічковий транспортер 7 і далі в бункер 8. Мелку руду, яка провалилась через пластинчатий живильник, конвеєром 1 також подають на транспортер 7, а потім в бункер 8. З бункера через живильник 9 руду направляють в барабанний млин 10, в який подають воду. Подрібнена руда з млина у вигляді пульпи подається в спіральний класифікатор 11. Крупні частки осаджуються на дні класифікатора, захоплюються спіраллю і направляються на домелення, а мелкі частинки разом з рідиною переливаються через поріг класифікатора та направляються до флотаційних машин.

9.5. Подрібнення вапна у виробництві преципітату

Одним з компонентів фосфорного добрива – преципітату - є вапно, яке використовується у вигляді водяної суспензії, що отримують в результаті мокрого помелу вапна до розмірів часток 60-80 мкм в барабанних млинах.

Схема подрібнення вапна у виробництві преципітату наведена на рис. І.57.

Шматки вапна зі складу грейфером 1 подають в бункер 2, з якого стрічковим живильником 3 у валкову дробарку 4. Подрібнене до 8-10 мм вапно підіймають елеватором 5 в бункер 6, з якого живильником 7 направляють в барабанний млин 8. В млин подають воду у розрахунок 430л на 1 т вапна. Отримана паста надходить в збірник 9 з мішалкою, де її розводять водою у співвідношенні рідкої до твердої фази 70:30. Суспензію

подають насосом 10 на преципітування, тобто нейтралізацію фосфорної кислоти вапном та отримання преципітату.

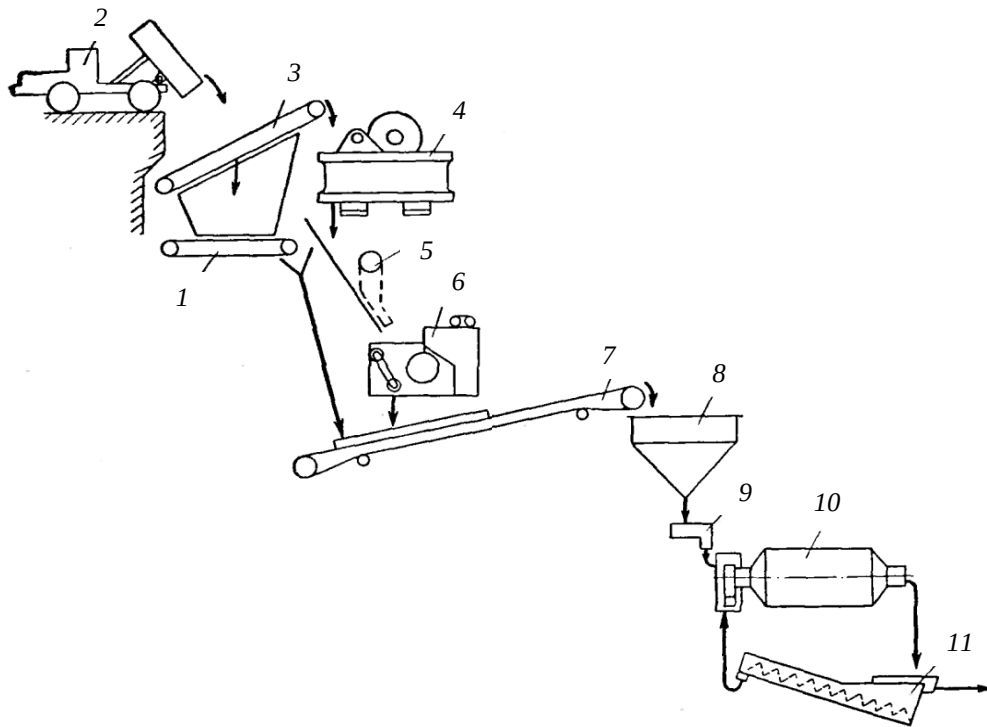


Рис. І.56. Схема подрібнення сірчаної руди:

1 – конвеєр; 2 – самоскид; 3 – пластинчатий живильник; 4 – щокова дробарка; 5 – ланцюговий живильник; 6 – молоткова дробарка; 7 – стрічковий транспортер; 8 – бункер; 9 – живильник; 10 – барабанний млин; 11 – спіральний класифікатор.

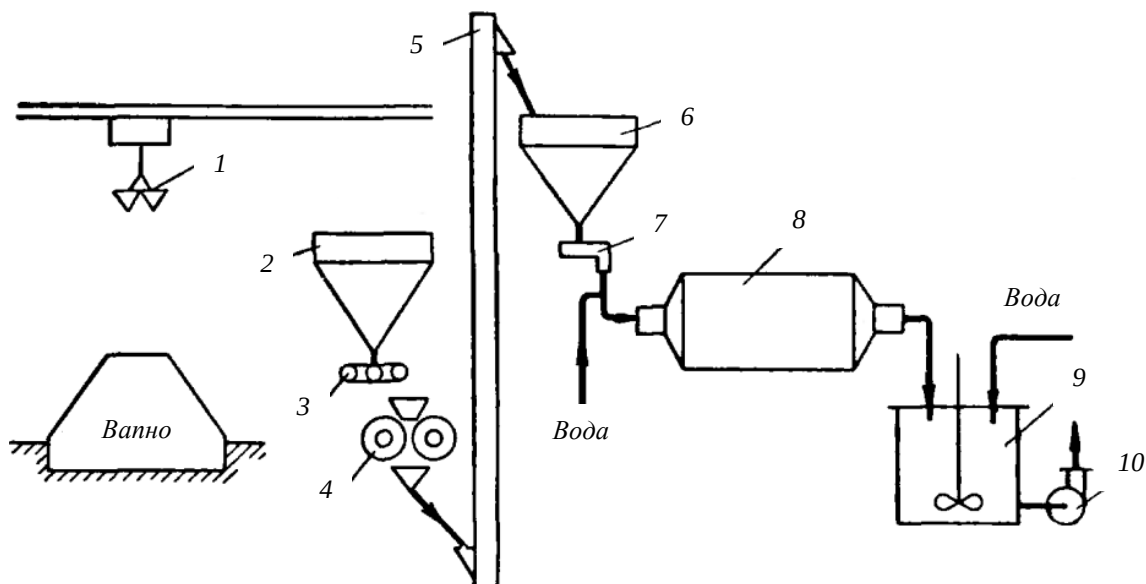


Рис. І.57. Схема подрібнення вапна у виробництві преципітату:

1 – грейфер; 2, 6 – бункер; 3 – стрічковий живильник; 4 – валкова дробарка; 5 – елеватор; 7 – живильник; 8 – барабанний млин; 9 – збірник суспензії; 10 – насос.

Розділ II

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА СОРТУВАННЯ

1. Загальні відомості

Розділення сипких матеріалів за розміром часток або зерен називають *класифікацією*. Шляхом класифікації сипка суміш розділяється на класи або фракції, які мають певні межі розмірів часток або зерен.

Використовують наступні види класифікації матеріалу:

1. *Просіювання* - механічна класифікація на ситах, яке полягає в проходженні через отвори робочої поверхні грохота часток, які менші певного розміру, а решта затримується на поверхні та видаляється з неї.

2. *Гідравлічна класифікація* - розділення суміші на класи або фракції, які мають однакову швидкість осадження у воді.

3. *Повітряна сепарація* - розділення суміші на класи або фракції, які мають однакову швидкість осадження у повітрі.

Просіювання є найбільш універсальним способом класифікації, що використовується для розділення матеріалів різної крупності (приблизно від 250 до 1 мм). За допомогою гідравлічної класифікації та повітряної сепарації можливо розділяти тільки зерна крупністю менше 2 мм. Класифікація використовується як допоміжна операція - для попередньої підготовки матеріалу до подрібнення з метою видалення дрібязку або для повернення занадто крупного матеріалу на повторне подрібнення, а також як самостійна операція - для отримання готового продукту з заданим

зернистим складом. В останньому випадку такий процес класифікації називається *сорткуванням*.

Класифікацію широко використовують для *ситового аналізу*, за допомогою якого визначають дисперсний склад матеріалів.

2. Сита

Основною частиною грохота є його робоча поверхня, яка виконана у вигляді дротових сит (іноді шовкових) або решіт зі сталевих листів зі штампованими отворами, або ж решіток з паралельних стрижнів - колосників.

Дротові сита являють собою сітки з квадратними або прямокутними отворами розміром від 100 до 0,15 мм. При лабораторних роботах (ситовий аналіз) застосовують дрібні сита з отворами до 0,04 мм.

Сита позначаються номерами, що відповідають розміру сторони отвору (комірки) сітки у світлі, що виражений в міліметрах. Так, наприклад, сито №5 має квадратні отвори з довжиною сторони 0,5 мм.

Раніше сита характеризувалися числом комірок, що містяться на 1 погонному дюймі сітки (число меш), або числом отворів на 1 см² сітки. У таких позначеннях не вказувалися розміри комірок сита, які залежать від товщини дроту. Таким чином, сита з однаковим числом меш (або отворів на 1 см²) можуть мати різні розміри комірок, що створює незручності при практичному застосуванні.

Листові решета виготовляють із листів товщиною 3-12 мм, у яких штампують круглі або довгасті отвори розміром 5-50 мм (граничні розміри 1,6-125 мм); для зменшення можливості забивання отворів їх роблять з деяким розширенням донизу.

Колосники являють собою стрижні трапецієподібного перерізу. Така форма зручна, тому що полегшує проходження матеріалу через зазори між колосниками, що розширюються донизу. У якості колосників часто використовують старі рейки зі зрізаною підшоною.

Визначення зернистого складу сипких матеріалів проводять за допомогою спеціального набору сит, розміри отворів яких зменшуються від сита до сита при постійному співвідношенні. Для проведення ситового аналізу просівають середню пробу матеріалу. По закінченні просіювання зважують залишки матеріалу на кожному із сит і зерна, що пройшли через нижнє (саме тонке) сито. Відношення отриманих мас до навішення матеріалу, яка взята для аналізу, дає склад різних класів зерен у матеріалі, тобто зерен, розміри яких обмежені певними верхньою та нижньою межами.

Отримані в результаті просіювання на ситі продукти позначаються розміром отворів сита, що повністю пропускає зерна даного розміру (зі знаком мінус), і розміром отворів сита, що повністю їх затримує (зі знаком плюс). Так, продукт, що пройшов через сито з отворами 4 мм, позначається - 4 мм, а що залишився на ситі +4 мм.

Класи зерен позначаються розмірами сит, що відповідають граничним розмірам зерен або шматків даного класу. Якщо, наприклад, даний клас отриманий послідовно просіюванням на ситах № 4 і № 2, тобто з отворами 4 і 2 мм, то його позначають так: -4+2 мм.

В результаті ситового аналізу матеріалу визначають його гранулометричний склад (дисперсність).

3. Грохоти

Відділення шматків певної крупності на грохоті відбувається при русі матеріалу відносно робочої поверхні грохоту. Відносний рух матеріалу створюють або на нерухливому грохоті, що встановлений під кутом до горизонту, який більше, ніж кут тертя матеріалу, або при русі сита грохоту в похилій або горизонтальній площині.

Похилі рухливі грохоти працюють за допомогою кривошипного або ексцентрикового механізму, що повідомляє сити симетричний рух. У горизонтальних рухливих грохотах сити надаються при прямому й зворотному ході різні прискорення, причому несиметричність руху досягається двома шляхами: або за допомогою спеціальних пристроїв (шківів з неврівноваженими вантажами, кулачків і ін.) або за допомогою ексцентрикового механізму при встановленні грохота на похилих опорах або підвісках.

При певній частоті коливань сита шматки підкидаються, це сприяє розшаруванню матеріалу, що має найважливіше значення для підвищення ефективності просіювання, і запобігає забиванню сита.

В результаті просіювання одержують два продукти: шматки, що пройшли через сито, - *просів* (або *нижній продукт*) і шматки, що не пройшли через сито, - *відсів* (або *верхній продукт*).

Робота грохотів оцінюється за двома показниками: 1) точність, або ефективність просіювання, 2) продуктивність грохоту.

Просіювання проводять через одне сито або послідовно через декілька сит (багаторазове просіювання). Багаторазове просіювання проводиться трьома способами:

1) від дрібного до великого - через розташовані в одній площині декілька сит, розміри отворів яких збільшуються від кожного попереднього сита до наступного (рис. II.1а);

2) від великого до дрібного — через розташовані один над одним сит, розміри отворів яких зменшуються від верхнього сита до нижнього (рис. II.1б);

3) комбінованим способом (рис. II.1в).

Просіювання від дрібного до великого має низку переваг:

1) зручність спостереження за ситами, а також ремонту та зміни сит (це дуже важливо, тому що сита порівняно швидко зношуються);

2) невелика висота грохоту та відповідно виробничого приміщення;

3) зручність розподілу окремих сортів продукту по сховищах.

Недоліки:

1) недостатня чіткість поділу матеріалу на класи, тому що отвори дрібних сит (перших за рухом матеріалу) перекриваються великими шматками;

2) перевантаження та підвищене зношування дрібних сит;

3) значна довжина грохоту.

Преваги просіювання від великого до дрібного:

1) краща якість просіювання внаслідок відсівання в першу чергу найбільш великих шматків;

2) менше зношування сит за тією ж причиною.

Недоліки:

1) складність ремонту та заміни сит (крім верхнього);

2) більша висота грохотів;

3) незручне відведення готового продукту.

Недоліки перших двох способів просіювання вдається в певній мірі здолати при просіюванні комбінованим способом.

Грохоти поділяються на дві групи: нерухливі та рухливі. За формою поверхні, що просіває, розрізняють плоскі та циліндричні (барабанні) грохоти. Залежно від розташування грохоти діляться на похилі та горизонтальні.

Плоским нерухомим грохотом є колосникові грати, що встановлюються з нахилом 30-50°. Такі грохоти застосовуються для крупного просіювання (розмір щілини між колосниками не менше 50 мм).

До грохотів з рухливими колосниками відносяться валкові грохоти, поверхнею, що просіває, яких є диски, насаджені на горизонтальні вали, що обертаються, які встановлені паралельно один одному. Матеріал, що розсіюється, рухається по дисках, при цьому просів провалюється в зазори між дисками, а відсів розвантажується наприкінці грохоту. Такі грохоти більш продуктивні та у порівнянні з нерухливими колосниковими грохотами забезпечують підвищену ефективність просіювання. Зношування дисків - основний недолік цих грохотів.

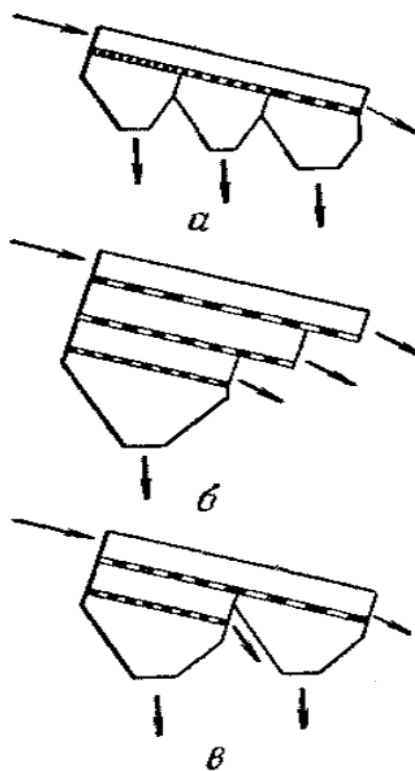


Рис. II.1. Способи просіювання:
а - від дрібного до великого;
б - від великого до дрібного;
в - комбіноване.

Барабанні грохоти

Барабанний грохот представляє собою відкритий барабан циліндричної (рис. П.2), конічної або багатогранної форми, що виготовлений із сітки або перфорованих листів. Барабан обертається на центральному валу, який встановлений на виносних підшипниках або на опорних роликах. Привід барабана здійснюється за допомогою конічної зубчастої передачі, причому одна із шестерень розміщується на валу, а в невеликих грохотах - безпосередньо на барабані.

Барабани грохотів встановлюються похило, під кутом $4-7^\circ$ до горизонту; конічні барабани, в яких вільне переміщення шматків відбувається завдяки самій формі барабана, встановлюються

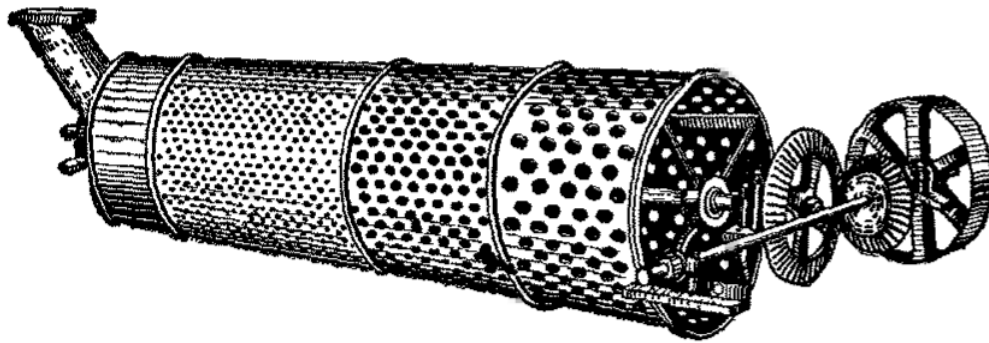


Рис. П.2. Циліндричний барабанний грохот.

горизонтально. Отвори в барабані для проходу нижнього продукту в більшості випадків збільшуються по ходу матеріалу (просіювання від дрібного до великого).

Багатогранні грохоти, або бурати, застосовуються для порівняно тонкого просіювання. Бурат має шестигранний барабан, кожна грань якого представляє собою змінне пласке сито. В буратах можлива швидка зміна кожного із сит, які становлять лише частину робочої поверхні барабана.

Колова швидкість грохотів коливається в межах $0,6-1,25$ м/сек (найчастіше $0,7-1$ м/сек).

Преваги барабанних грохотів:

- 1) простота конструкції та обслуговування;
- 2) рівномірне обертання.

Недоліки:

- 1) невелика продуктивність на одиницю поверхні сит;
- 2) значне кришення матеріалу та значне пилоутворення;
- 3) порівняно швидке забивання сит (матеріал не струшується);
- 4) велика витрата металу на виготовлення грохота.

Зазначені недоліки настільки істотні, що барабанні грохоти поступово витісняються пласкими рухливими та вібраційними грохотами.

Пласкі хитні грохоти

В пласких хитних грохотах (рис. П.2), поверхня, що просіває, робить примусові хитання, що обумовлені жорстким кінематичним зв'язком приводного ексцентрика 1 з корпусом 2, які закріплені на шарнірних або твердих опорних стійках 3. Характер руху матеріалу на цьому грохоті визначається ексцентриситетом і швидкістю обертання вала.

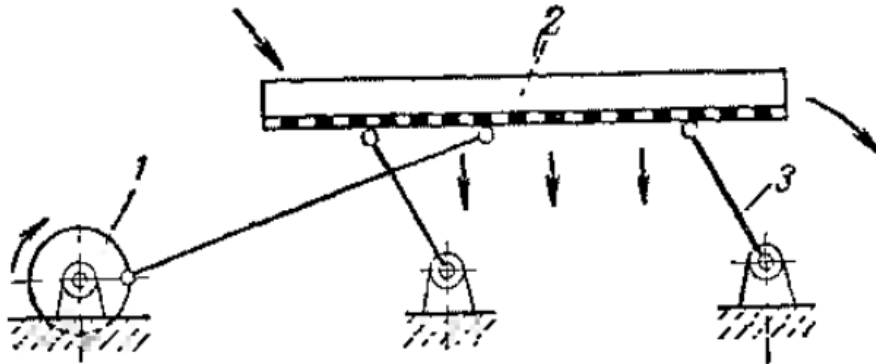


Рис. П.3. Плаский хитний грохот:

1- приводний ексцентрик; 2 – корпус; 3 – опорні стійки.

Переваги пласких хитних грохотів у порівнянні з барабанными грохотами:

- 1) більші продуктивність та ефективність просіювання;
- 2) компактність та зручність обслуговування;
- 3) незначне кришення матеріалу.

Основні недоліки:

- 1) неврівноваженість конструкції;
- 2) швидкий вихід з ладу опорних стійок грохоту.

Гіраційні хитні грохоти

Схема гіраційного (ексцентрикового) хитного грохота з круговим хитанням у вертикальній площині наведена на рис. П.4. У стійці рами на шарикопідшипниках встановлено вібратор - вал 1 з двома ексцентриками та двома противагами. До валу симетрично на підшипниках кріпиться короб 2 із ситом 3. Короб кінцями опирається на пружини 4 або на гумові опори. Ексцентриковий вал безпосередньо надає коробу коливального руху по окружності з амплітудою хитань, що дорівнює ексцентриситету вала.

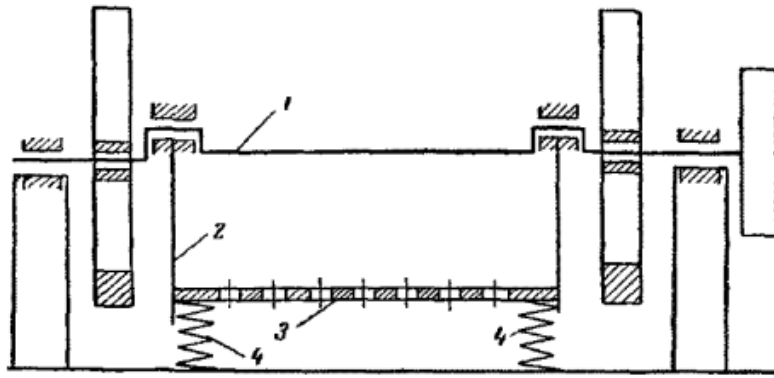


Рис. П.4. Гіраційний хитний грохот:
1 – вал; 2 – короб; 3 – сито; 4 – пружини.

Переваги гіраційних грохотів:

- 1) врівноваженість конструкції та спокійна робота при рівномірному русі короба з матеріалом по круговій траєкторії;
- 2) більша продуктивність;
- 3) висока якість сортування.

Недоліки: наявність чотирьох підшипників ускладнює конструкцію, складання та ремонт грохоту.

Вібраційні грохоти

На рис. П.5 наведена схема вібраційного (інерційного) грохота. Короб 1 і сита 2 встановлені на пружинах 3. На стійках і підшипниках обертається вал 4 (без ексцентриків) із двома шківками 5, що несуть неврівноважені вантажі 6 (дебаланс). При обертанні шківків виникають відцентрові сили інерції, під дією яких коробу повідомляються вібрації. Траєкторії точок короба та амплітуда його коливань визначаються динамічними факторами. Для вібраційних грохотів необхідне досить рівномірне живлення матеріалом.

За таким же принципом працюють електровібраційні грохоти. Коливання сит у цих грохотах здійснюються за допомогою електромагніта (соленоїда), через обмотку якого пропускають змінний струм, або за допомогою спеціальних електричних вібраторів.

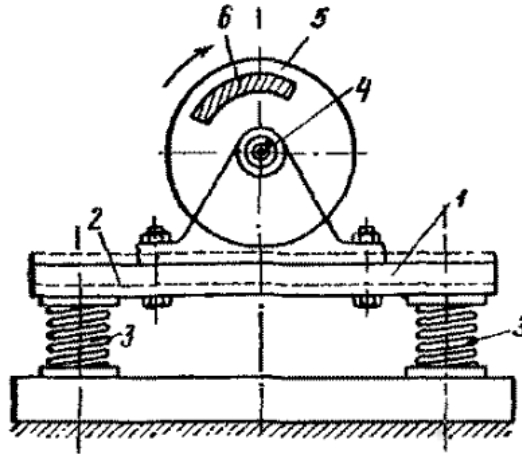


Рис. II.5. Вібраційний грохот:
1 – короб; 2 – сита; 3 – пружини; 4 – вал;
5 – шків; 6 – вантажі.

Вібраційні грохоти широко використовуються в промисловості.

Грохоти даного типу мають наступні переваги:

- 1) при високій частоті коливань сита його отвори майже не забиваються матеріалом, тобто усувається недолік, який властивий грохотам інших типів;
- 2) більш висока продуктивність і точність просіювання, ніж для грохотів інших типів;
- 3) придатність для крупного та тонкого просіювання різноманітних матеріалів (у тому числі вологих і глинистих) з розмірами шматків і зерен від 250 до 0,1 мм;
- 4) компактність, легкість регулювання та зміни сит;
- 5) менша витрата енергії, ніж для грохотів інших типів.

4. Гідравлічні класифікатори

Гідравлічною класифікацією називається процес поділу неоднорідного за крупністю твердого матеріалу на класи залежно від швидкості осадження зерен різного розміру в рідкому середовищі. Кожний клас зерен, який виділяють при класифікації, є сукупністю зерен, що мають близькі значення швидкості осадження.

Гідравлічна класифікація здійснюється в горизонтальних, висхідних та обертових потоках води, що рухається в класифікаторі з такою швидкістю, при якій зерна менше певного розміру, не встигаючи осідати, несуться з нею в злив, зерна ж більшого розміру осідають у класифікаторі.

За принципом дії до гідравлічних класифікаторів варто віднести також всі апарати відстійного типу, які розглядаються в гідромеханічних процесах, тому нижче розглядаються тільки так звані механічні та відцентрові класифікатори, в яких гідравлічна класифікація проводиться під дією сили тяжіння або відцентрових сил.

Механічні класифікатори - апарати, які мають механічні транспортні пристрої для безперервного видалення нижнього продукту (пісків), що

осів, і які використовуються, в основному, для класифікації. На відміну від просіювання гідравлічну класифікацію використовують для поділу дрібного матеріалу ($5 - 0,05$ мм і менше).

Гідравлічні класифікатори використовуються головним чином для класифікації продукту здрібнювання, який одержується в млинах, і працюють у замкнутому циклі з ними. При цьому злив класифікатора є готовим продуктом, а піски, що складаються з більших часток, повертаються в млин на доподрібнення.

Найбільше поширення серед механічних класифікаторів одержали спіральні, рейкові та чашкові класифікатори, у якості відцентрових класифікаторів використовують гідроциклони та центрифуги.

Спіральні класифікатори

Спіральний класифікатор (рис. П.6) являє собою похиле (під кутом $12 - 18^\circ$) корито 1 напівциліндричного перетину, усередині якого зі швидкістю від $1,5$ до 20 хв^{-1} обертаються одна або декілька спіралей 2, частково занурених у рідину та які транспортують піски у верхню частину корита для вивантаження. Злив видаляється з нижньої частини класифікатора через високий поріг 3. Кут нахилу корита, число обертів спіралей і концентрація твердого матеріалу в пульпі є основними факторами, що впливають на ефективність класифікації та продуктивність апарата.

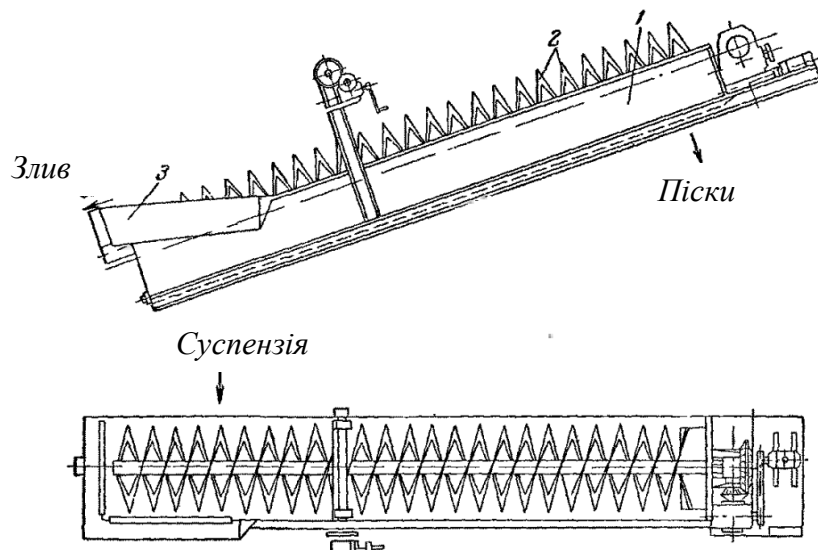


Рис. П.6. Спіральний класифікатор:
1 – корито; 2 – спіраль; 3 – поріг.

Рейкові класифікатори

У рейкових класифікаторах транспортування пісків у кориті коробчастого перетину здійснюється рамами зі шкребками, що роблять зворотно-поступальний рух. Періодично опускаючись на дно короба, рами

переміщуються на деяку відстань нагору, згрібаючи осілі піски, після чого піднімаються над дном і піднятимися переміщуються у зворотному напрямку, не зачіпаючи осілих пісків. Потім гребки опускаються на дно короба та цикл повторюється. У порівнянні зі спіральними класифікаторами рейкові мають меншу питому продуктивність та більш складні за конструкцією. Тому спіральні класифікатори, особливо у великотоннажних виробництвах, витісняють рейкові.

Чашкові класифікатори

Чашковий класифікатор (рис. II.7), що забезпечує високу продуктивність по зливу, являє собою рейковий класифікатор 1, над нижнім кінцем якого встановлена конусна чаша 2 з повільно обертаючими гребками 3. Пульпа, яка направляється на класифікацію, надходить у чашу, де великі частки осідають на дно, згрібаються гребками до центру та через отвір у дні чаші попадають у корито рейкового класифікатора. Дрібні частки йдуть в злив через край корита в кільцевий жолоб 4. У рейковому класифікаторі дрібна фракція, яка захоплюється пісками, відмивається водою, що рухається протитоком і направляється в чашу агрегату.

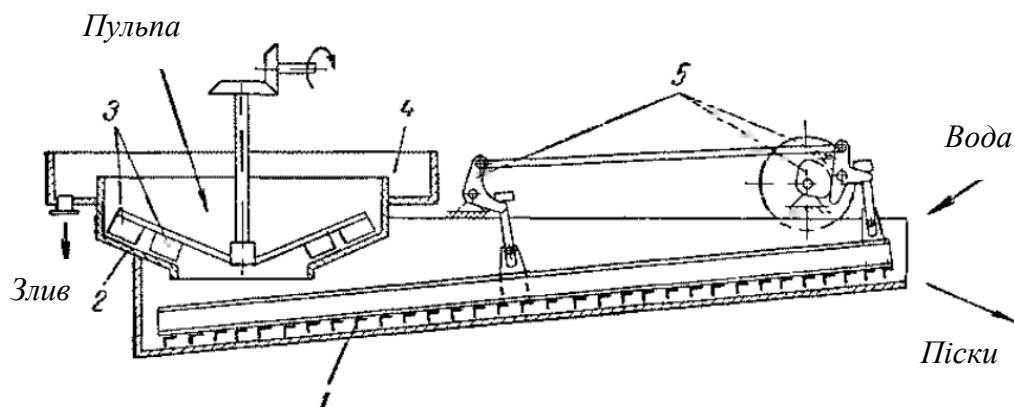


Рис. II.7. Чашковий класифікатор:

1 - рейковий класифікатор; 2 - конусна чаша; 3 - гребки; 4 - кільцевий жолоб; 5 - зворотно-поступальний механізм.

Загальним недоліком механічних класифікаторів є низький к.к.д., оскільки піски, які повертаються на доподрібнення містять велику кількість тонкого матеріалу (до 20% матеріалу класу - 75 мкм).

Більш висока продуктивність та ефективність класифікації досягаються у відцентрових класифікаторах, у якості яких використовують гідроциклони та відстійні центрифуги зі шнековим розвантаженням.

Гідроциклони

Гідроциклон (рис. П.8) має нерухомий корпус, що складається з нижньої конічної та верхньої циліндричної частини. Суспензія, що розділяється, подається насосом (або самопливом за рахунок напору стовпа суспензії) під надлишковим тиском 0,3—2 ат через бічний патрубок у циліндричну частину корпусу. Суспензія надходить у корпус по дотичній і тому починає в ньому обертатися. При обертанні потоку з великою кутовою швидкістю більш крупні тверді частки під дією відцентрових сил інерції відкидаються до стінок гідроциклона. Біля стінок вони рухаються по спіральній траєкторії вниз і у вигляді згущеної суспензії (піски) видаляються через піскову насадку 4. Більш дрібні частинки та більша частина рідини рухаються у внутрішньому спіральному потоці навколо центрального (шламового) патрубку 2 і у вигляді тонкої суспензії (злив) піднімаються по цьому патрубку в камеру 3, звідки видаляються через верхній бічний патрубок. Поділяючи дію

гідроциклона можна регулювати, змінюючи глибину занурення шламового патрубку 2 і перетину піскової насадки 4. Насадки зазвичай є змінними деталями різного перетину або ж передбачається можливість регулювання перетину насадок. Один зі способів такого регулювання показаний на рис. П.8. При нагнітанні повітря в кільцеву порожнину гумового манжета 6 перетин насадки для проходу пісків зменшується. Таким способом можливо автоматичне регулювання роботи гідроциклона.

Для зменшення зношування корпус гідроциклона футерують зсередини марганцевистим чавуном або плитками з кам'яного лиття. У гідроциклонах для поділу малоабразивних тонких суспензій корпус виготовляють із чавуну. Застосовують також гумування корпусу та швидкозношуваних деталей, тобто покриття їх шаром зносостійкої гуми, у піскових

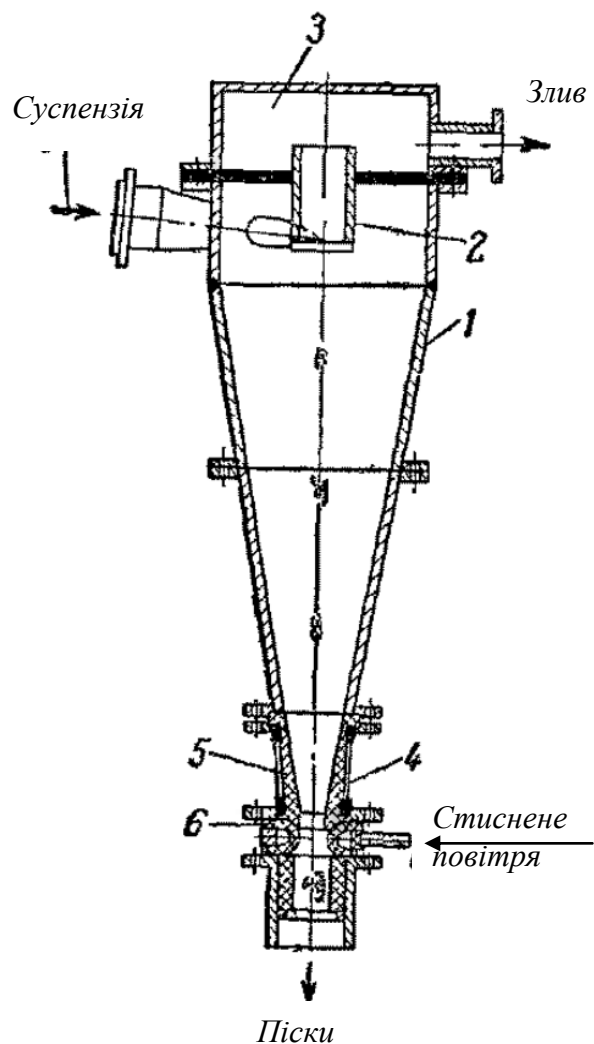


Рис. П.8. Гідроциклон:
1 - корпус; 2 - центральний (шламовий) патрубок; 3 - камера для зливу; 4 - піскова насадка; 5 - гумовий вкладець; 6 - гумова манжета.

насадках часто встановлюють гумовий вкладень 5 (рис. П.8).

Для одержання досить тонких зливів застосовують гідроциклони малих діаметрів (до 10-15 мм), і для досягнення потрібної продуктивності їх з'єднують в один агрегат (*мультигідроциклони*). За будовою та принципом дії гідроциклони та мультигідроциклони аналогічні циклонам - апаратам, які використовують для очищення газів від пилу.

Гідроциклони використовують для класифікації суспензій з розмірами часток у межах 15-100 мкм. У процесах тонкого здрібнювання гідроциклони ефективно працюють разом із млинами у відкритому та замкнутому циклах.

Відцентрові прискорення, які надаються потоку в гідроциклоні, у багато разів перевищують прискорення сили тяжіння. Тому незважаючи на невеликі розміри, гідроциклони мають більш високу продуктивність, ніж продуктивність механічних класифікаторів. Від класифікаторів інших типів гідроциклони вигідно відрізняються відсутністю частин, що рухаються. В порівнянні з механічними класифікаторами гідроциклони мають також наступні переваги:

- 1) більш тонка сепарація в порівнянні з поділом у механічних класифікаторах;
- 2) більша щільність зливу;
- 3) відсутність укрупнення (агрегації) здрібнених часток.

Центрифуги

Для гідравлічної класифікації тонких часток (до 3-15 мкм) використовують центрифуги.

Основна частина центрифуги - барабан (кошик) із суцільними або дірчастими стінками, що обертається з великою швидкістю на вертикальному або горизонтальному валу.

Розрізняють наступні процеси поділу суспензій у центрифугах: 1) відцентрове фільтрування, 2) відцентрове відстоювання, 3) відцентрове просвітлення.

Відцентрове фільтрування представляє собою процес поділу суспензій у центрифугах з дірчастими барабанами. Внутрішня поверхня такого барабана покрита фільтрувальною тканиною. Суспензія відцентровою силою відкидається до стінок барабана, при цьому тверда фаза залишається на поверхні тканини, а рідина під дією відцентрової сили проходить крізь шар осаду та видаляється назовні через отвори в барабані.

Відцентрове відстоювання представляє собою процес поділу суспензій у центрифугах, що має барабани із суцільними стінками. Суспензія вводиться в нижню частину барабана та під дією відцентрової сили відкидається до стінок. Безпосередньо у стінок утворюється шар осаду, а рідина утворює внутрішній шар і витісняється з барабана суспензією, що направляється на розділення. Піднімаючись догори, рідина переливається через край барабана та видаляється назовні.

Відцентрове просвітлення також проводиться в суцільних барабанах і служить для очищення рідин, що містять незначну кількість твердої фази. Цей процес застосовується для поділу тонких суспензій і колоїдних розчинів.

Центрифуги класифікують по наступними ознаками: 1) за величиною фактору поділу; 2) за величиною індексу продуктивності; 3) за режимом роботи (періодичний або безперервний); 4) за способом вивантаження осаду; 5) за конструктивними ознаками (вертикальні, горизонтальні й похилі).

Розглянемо принцип роботи центрифуг на прикладі роботи горизонтальної центрифуги зі шнековим розвантаженням.

В горизонтальній центрифугі зі шнековим розвантаженням (рис. П.9.) глухий барабан 3 має конічну або циліндрично-конічну форму та обертається на порожніх цапфах 1. Усередині барабана 3 більш повільно обертається шнек 5 з порожнім валом, цапфи якого перебувають усередині цапф барабана 3. Суспензія подається по трубі 6 і через отвори 4 надходить у зовнішній барабан. У деякій частині об'єму барабана, у більш широкого його кінця, відбувається відстоювання суспензії (зона відстоювання), причому рідина переливається через вікна 7 у торцевій стінці барабана, а осад повільно переміщується шнеком до розвантажувальних вікон 9 у протилежному кінці барабана.

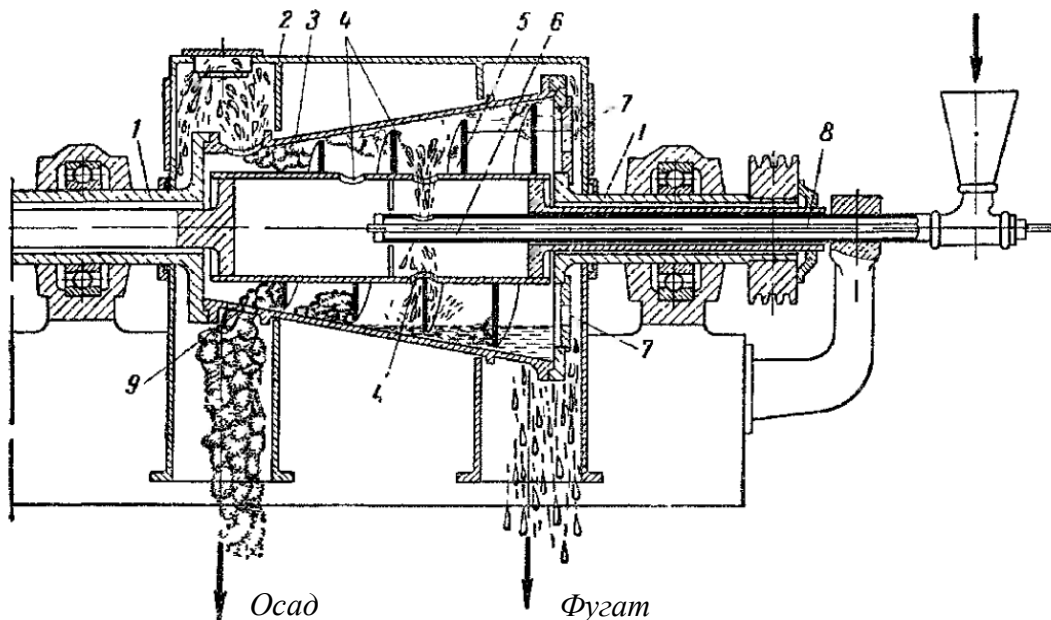


Рис. П.9. Горизонтальна центрифуга зі шнековим розвантаженням:
1 - порожня цапфа; 2 - кожух; 3 - барабан; 4 - отвори для суспензії; 5 - барабан-шнек; 6 - труба для подачі суспензії; 7 - вікно для фугата, 8 - труба для подачі промивної води; 9 - вікно для розвантаження осаду.

При русі осаду в незаповненою суспензією частині барабана 3 осад додатково збезводнюється (зона сушіння). Переміщення осаду

відбувається в результаті того, що шнековий барабан 5 робить менше обертів в 1 хв. (на 1,5-2%) ніж барабан 3, обертаючись з ним в однаковому напрямку. Така різниця швидкостей обертання досягається за допомогою диференціального редуктора. При необхідності осад промивається наприкінці зони відстоювання водою, що подається по трубі 8. Після підсушування осад видаляється через вікна 9 у нерухомий кожух 2, в якому є окремі камери для відводу осаду та фугату. Режим роботи центрифуги можна регулювати, змінюючи тривалість відстоювання та осушування осаду (регулюючи відкриття вікон), або змінюючи числа обертів барабана й шнека.

Переваги горизонтальних центрифуг зі шнековим розвантаженням:

- 1) висока продуктивність;
- 2) придатність для поділу суспензій з високим змістом твердого тонкоподрібненого матеріалу;
- 3) придатність для класифікації.

Недоліки: 1) висока витрата енергії на переміщення осаду та на втрати в диференціальному редукторі;

2) значне здрібнювання осаду;

3) забруднення фугату тонкоподрібненими частками твердої фази.

5. Пневматичні сепаратори

У пневматичних (повітряних) сепараторах, що працюють у замкнутому або відкритому циклах із млинами сухого помелу, класифікація твердого матеріалу відбувається внаслідок різних швидкостей осадження часток різного розміру в повітряному середовищі в полі дії відцентрових сил і сил тяжіння.

Сепаратори поділяються на повітряно-прохідні й повітряно-циркуляційні.

Повітряно-прохідні сепаратори

Повітряно-прохідний сепаратор (рис. П.10.) зазвичай працює в одному агрегаті із млином. Здрібнений матеріал у потоці повітря надходить зі швидкістю - 20 м/сек через патрубок 1 у кільцевий простір між корпусом 2 і внутрішнім конусом 5. Внаслідок збільшення в цьому просторі прохідного перетину швидкість повітряного потоку знижується в кілька разів і найбільш великі тверді частки (груба фракція) під дією сили тяжіння випадають із потоку. Через патрубок 4 вони повертаються на доподрібнення в млин. Повітряний потік далі проходить через тангенціально встановлені лопатки 5. При цьому потоку надається обертання та під дією виникаючих відцентрових сил інерції більші тверді частки відкидаються на стінки конуса 3, опускаються по них і видаляються також через патрубок 4. Повітря разом з тонкими зваженими частинками відсмоктується вентилятором через патрубок 6 і подається в циклон, де

тверді частки осаджуються, а повітря повертається в млин або видаляється назовні.

Роботу сепаратора можна регулювати шляхом зміни швидкості повітря або положення лопаток. Повітряно-прохідні сепаратори Центрального котлотурбінного інституту (ЦКТИ) виготовляються діаметром 500 до 4000 мм.

Повітряно-циркуляційний сепаратори

Схема повітряно-циркуляційного сепаратора наведена на рис.П.11. Здрібнений матеріал з воронки 1 надходить на обертаючий розподільний диск (тарілку) 4. Більш важкі частинки відкидаються відцентровою силою на стінки внутрішнього конуса 5, опускаються уздовж його стінок вниз і видаляються через патрубок 6. Дрібні частинки підхоплюються висхідним потоком повітря, циркуляція якого (показана на малюнку стрілками) створюється колесом вентилятора 2. Циркулюючий пилоповітряний потік проходить між поворотними лопатками 8. Внаслідок закручування потоку та відбиття його від лопаток з потоку додатково відділяються більші частинки, які також видаляються через патрубок 6.

При переході пилоповітряного потоку з конуса 5 у корпус 3 сепаратора дрібні тверді частинки, що прагнуть зберегти напрямок свого руху, виділяються з потоку. Дрібні частинки опускаються уздовж стінок корпуса та видаляються через патрубок 7.

Повітряно-циркуляційні сепаратори поєднують функції класифікатора, пиловловлювача та вентилятора. У порівнянні з повітряно-прохідними сепараторами вони більш компактні та вимагають меншої витрати енергії.

Розділ III

ДОЗУВАННЯ

1. Загальні відомості

При проведенні різних процесів необхідна регулярна та рівномірна подача здрібненого матеріалу в апаратуру, крім того, часто потрібно завантажувати вихідні матеріали в певній послідовності при заданому співвідношенні компонентів суміші (шихти).

Завантаження твердих кускових і порошкоподібних матеріалів здійснюється зазвичай зі сховищ (бункерів) за допомогою живильників. Для подачі заданих кількостей матеріалу застосовують порційні та безперервнодіючі дозуючі пристрої (дозатори), причому в деяких випадках один і ті ж пристрої служать для подачі та для дозування матеріалу (дозатори-живильники).

2. Бункери та затвори

Бункерами називаються сховища для сипких та кускових матеріалів ємністю до 100 м^3 і більше. Здебільшого бункери мають пірамідальну або конічну форму (рис. III.1.) та виготовляються зі сталі, а також із залізобетону і дерева. Завантаження здійснюється за допомогою різних транспортних пристроїв, що подають матеріал в бункери. |

Розвантаження відбувається через звужуюче донизу днище з випускним патрубком, до якого кріпиться розвантажувальний пристрій - затвор або живильник.

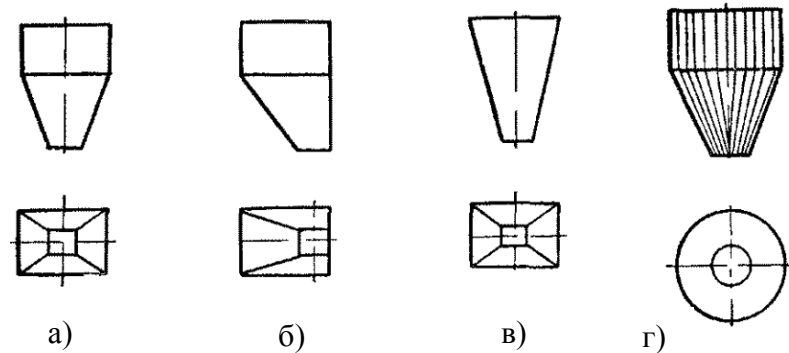


Рис. III.1. Типи бункерів:
а), б), в) – пірамідальні;
г) – конусні.

Для відкривання та закривання випускних отворів бункерів, а також для грубого регулювання потоку матеріалу, що вивантажується, служать затвори.

В хімічній промисловості широко розповсюджені пласкі (шиберні) та секторні затвори.

Прості важільні затвори

Простий важільний затвор (рис. III.2.) являє собою горизонтальну пласку засувку, що ковзає в напрямних та відкривається за допомогою важеля, який шарнірно підвішений до бункера. Такі затвори придатні для повного розвантаження будь-яких матеріалів з невеликих бункерів за один прийом або для розвантаження легких, добре сипких матеріалів з невеликими шматками.

Пласкі рейкові затвори

Плаский рейковий затвор (рис. III.3.) складається із пласкої засувки із зубчастою рейкою 2, яка знаходиться в зачепленні із шестірнею 3, і приводиться в дію вручну за допомогою ланцюгового тягового колеса 4. Більш потужні затвори цього типу приводяться в дію електродвигуном або мають пневматичний або гідравлічний привід. Пласкі затвори відрізняються компактністю, але при закриванні бункерів можливе защемлення шматків (особливо в горизонтальних затворах) і кришіння матеріалу.

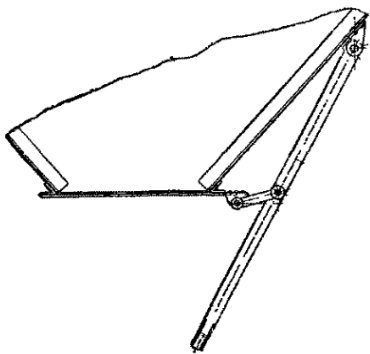


Рис. III.2. Простий важільний затвор.

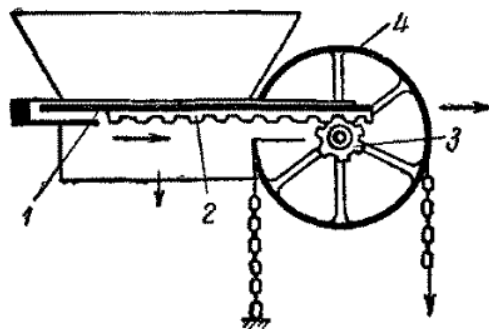


Рис. III.3. Плаский рейковий затвор.

Секторні затвори поділяються на прості одnoseкторні та двосекторні (щелепні).

Прості одnoseкторні затвори

Простий одnoseкторний затвор (рис. III.4.) являє собою циліндричний сектор 1, що обертається на пальцях, які закріплені на бічних стінках корпуса 2, що має квадратний перетин і кріпиться до отвору бункера. Відкривання та закривання відбувається вручну за допомогою важеля 3 і тяги 4 з рукояткою. Щоб полегшити закривання затвора, на кінець важеля закріплено противагу. Такі затвори застосовуються переважно в бункерах для добре сипких матеріалів із дрібними та середніми шматками і можуть використовуватися для регулювання подачі дрібнокусового матеріалу (до

50 мм) шляхом часткового відкриття розвантажувального отвору. При більших розмірах односекторних затворів потрібен тривалий час на їхнє відкривання та закривання, тому для більших випускних отворів частіше застосовують щелепний затвор.

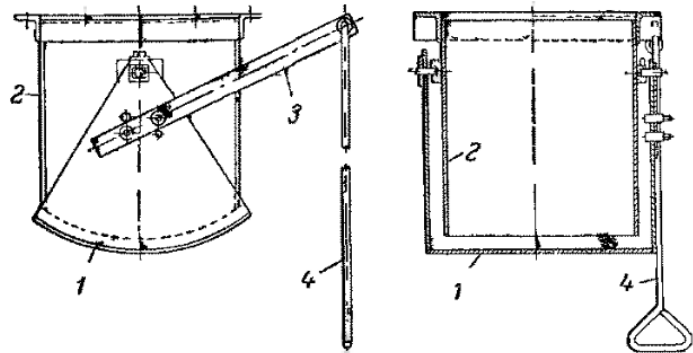


Рис. III.4. Простий односекторний затвор:
1 – сектор; 2 – корпус; 3 – важіль; 4 – тяга.

Щелепні затвори

Щелепний затвор (рис. III.4.) складається із двох секторів або щелеп 1, які з'єднані між собою зубчастими секторами 2, що перебувають у зачепленні. Обидві щелепи відкриваються та закриваються одночасно за допомогою важеля 3 із противагою та шарнірно підвішеної тяги 4. Щелепні затвори краще пристосовані для частих відкривань та закривань бункерів і регулювання подачі матеріалу і застосовуються також у тих випадках, коли небажано кришіння матеріалу, що перебуває в бункері.

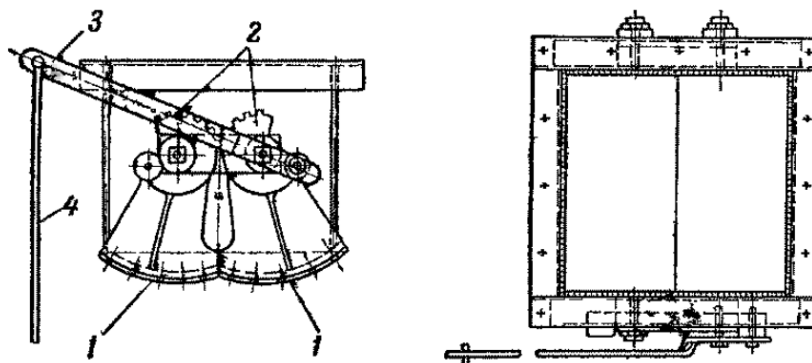


Рис. III.4. Щелепний затвор:
1- щелепи; 2 – зубчасті сектори; 3 – важіль; 4 – тяга.

3. Живильники

Живильниками називаються механічні пристрої для рівномірної подачі сипких та кускових матеріалів у різні апарати - дробарки, сушарки, реактори, печі та ін. Живильники подають матеріал зі сховищ (бункерів)

безпосередньо в апарати або на транспортери та елеватори, що переміщують матеріал до прийомних пристроїв апаратів. Живильники часто використовуються також для регулювання подачі та для дозування матеріалів.

Живильники з тяговими органами

Стрічкові живильники складаються з нескінченної гумової стрічки, натягнутої між привідним і натяжним барабанами та яка рухається зі швидкістю 0,1-0,25 м/сек. Живильники такого типу застосовують для подачі добре сипких, легких та нестираючих матеріалів з розмірами шматків не більше 100-150 мм або важких, сипких і абразивних матеріалів з розмірами шматків не більше 75 мм, а також для подачі вологих матеріалів. В останньому випадку для очищення стрічки встановлюють шкребки.

Пластинчасті живильники обладнані сталеною стрічкою, яка складена з профільних пластин, які перекривають одна одну, та жорстко укріплених на нескінченних ланцюгах. Ланцюги та сталена стрічка рухаються зі швидкістю 0,02-0,12 м/сек. Живильники такого типу добре пристосовані для подачі важких, крупношматкових матеріалів (у тому числі абразивних і глинистих) з розмірами шматків, що не перевищують зазвичай 400 мм. Живильники нечутливі до ударів та надійно працюють, піддаючись тиску матеріалу, що завантажений в бункер.

Живильники з коливальним рухом

Лотковий живильник (Рис. III.5.) виконаний у вигляді горизонтального стола, що рухається, з нерухливими бічними бортами та задньою стінкою, які утворюють лоток 1. За допомогою кривошипно-шатунного механізму 2 стіл робить зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині. При русі стола вперед матеріал переміщується разом зі столом і зсипається через його край. Одночасно на частину поверхні стола, що звільнилася, з бункера насипається нова порція матеріалу. При зворотному ході стола матеріал, упираючись у стінку, прослизає по столі і частково зсипається через його край. Хід стола становить 200-250 мм, число ходів 30-45 в 1 хв.

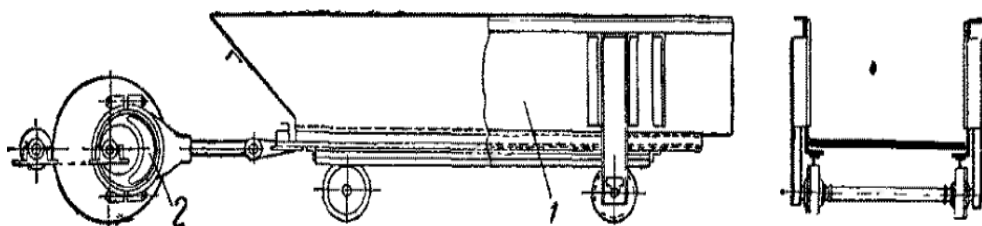


Рис. III.5. Лотковий живильник:

1- горизонтальний лоток; 2 – кривошипно-шатунний механізм.

Такі живильники застосовуються для подачі сипких матеріалів з розмірами шматків до 500 мм.

Плунжерні живильники подають матеріал шляхом проштовхування його по нерухливому жолобу за допомогою сталевого плунжера прямокутного перетину, що робить зворотно-поступальний рух (Рис. III.6.). Плунжер 1 приводиться в рух за допомогою ексцентрика 2 і тяги 3. Основна перевага плунжерного живильника - точне дозування матеріалу. Однак внаслідок сильного тертя між матеріалом і поверхнею нерухливого жолобу такі живильники придатні тільки для добре сипких малоабразивних матеріалів.

Продуктивність живильників обмежена і коливається в межах 2-8 $\text{м}^3/\text{год}$.

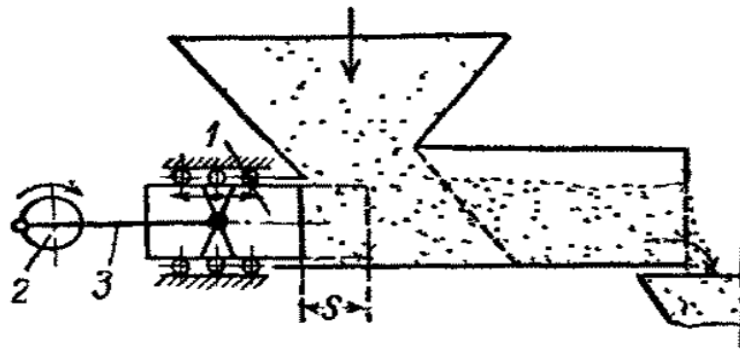


Рис. III.6. Плунжерний живильник:
1- плунжер; 2 – ексцентрик; 3 – тяга.

Маятникові живильники є затворами, що приводяться в дію кривошипно-шатунним механізмом. Такий живильник являє собою сектор або лоток, що коливається на шарнірі, та поперемінно відкриває або закриває випускний отвір сховища матеріалу.

Застосовуються ці живильники тільки для подачі зернистих і мілкошматкових матеріалів в установках малої продуктивності, коли не потрібне точне дозування.

Обертальні живильники

У *гвинтових живильниках* для вільного проходу матеріалу по жолобу вал гвинта не має проміжних підшипників, тому довжина переміщення матеріалу не перевищує 1,5—2 м. Гвинтові живильники застосовуються при подачі тонкоподрібнених дрібнозернистих та мілкокускових матеріалів, для яких припустиме деяке кришення. Абразивні матеріали викликають швидке зношування жолобу та гвинта живильника. Продуктивність гвинтових живильників не перевищує 20—30 $\text{м}^3/\text{год}$.

Тарілчастий живильник (Рис. III.7.) являє собою круглу пласку тарілку 1, яка обертається на вертикальній осі, над якою перебуває піднімальний циліндричний патрубок (манжет) 2. Манжет може переміщатися уздовж горловини бункера. Матеріал, що висипається на тарілку, розташовується на ній шаром, що має форму усіченого конуса. Утворююча конуса

нахилена до вертикалі під кутом, який рівний куту природного укосу матеріалу. При обертанні тарілки частина матеріалу знімається з неї шкребок 3 (іноді двома шкребками) і скидається в прийомний пристрій. Положення шкребків відносно тарілки можна змінювати. Подачу матеріалу регулюють підняттям і опусканням манжета або зміною положення шкребка та глибини його врізання в шар матеріалу на тарілці.

Тарілчасті живильники широко застосовуються для подачі сухих, тонкоподрібнених, дрібнозернистих і кускових матеріалів з розмірами шматків не більше 80—100 мм.

Лопатеві (секторні) живильники (рис. III.8.) мають лопатевий барабан 1, що складається з 3-12 секторів (відсіків). Матеріал, що надходить через жолоб 2, заповнює кишені, утворені лопаттями та торцевими стінками барабана, і періодично рівномірно висипається при обертанні барабана. Ці живильники придатні переважно для подачі тонкоподрібнених або кускових матеріалів з розмірами шматків не більше 50 мм. Зміною числа обертів барабана досягається точне регулювання подачі.

Лопатеві живильники широко використовуються для дозування сипких матеріалів. Живильники встановлюють в сушарках, циклонах і інших апаратах, розвантаження яких повинно здійснюватись без підсмоктування зовнішнього повітря.

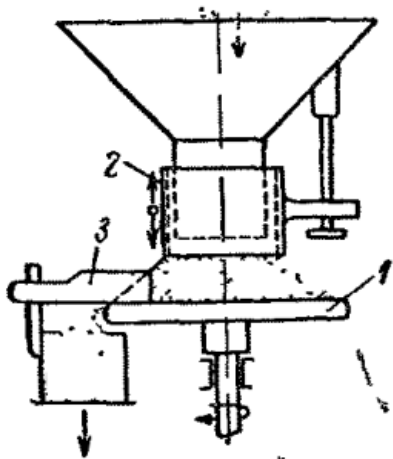


Рис. III.7. Плунжерний живильник:
1- тарілка; 2 – манжет; 3 – скребок.

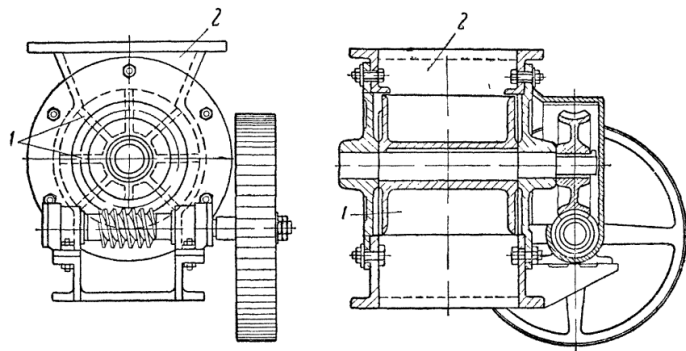


Рис. III.8. Лопатевий живильник:
1- лопатний барабан; 2 – жолоб.

4. Дозатори

Дозування матеріалів здійснюється об'ємним або ваговим методом, у деяких випадках частину матеріалів дозують за вагою, а частину – за об'ємом (об'ємно-ваговий метод).

Для дозування об'ємним методом використовують вимірники, які мають градуйованими за об'ємом шкалами, а також барабанными, тарілчастими, стрічковими та іншими живильниками, які описані вище. Об'ємний метод

придатний тільки для дозування порошкоподібних матеріалів, що мають постійний гранулометричний склад, та не схильних до злежування і грудкування. Дозування матеріалів за вагою є більш точним. Незважаючи на відносно складний пристрій вагових дозуючих пристроїв, цей метод одержує усе більше широке поширення, причому застосовуються вагові дозатори ручної, напівавтоматичної й автоматичної дії.

У якості ручних дозаторів використовують ваги різних типів, на яких встановлюють ваговий бункер з випускним отвором, закритим заслінкою. У дозаторах напівавтоматичної дії після зважування порції матеріалу подача його в бункер припиняється автоматично, але вивантаження матеріалу з бункера проводять вручну. Ручні та напівавтоматичні дозатори малопродуктивні, та в умовах великих безперервних виробництв зазвичай застосовують автоматичні дозатори.

Автоматичні ваги

Автоматичні ваги призначені для одержання порцій сипкого матеріалу, що мають певну постійну вагу. На рис. III.9 показана схема дії автоматичних ваг із днищем, що відкривається, ковша. Дозуючий матеріал надходить через воронку 1 у ківш 2, у якому зважується порція матеріалу (рис. III.9, а). По мірі заповнення матеріалом ківш опускається, одночасно опускається штанга 3, яка обладнана пружиною, і через систему важелів переміщає заслінку 4 у положення, яке показане на рис. III.9, а пунктиром. При цьому через вузьку щілину між заслінкою 4 і воронкою 1 матеріал тонким струменем досипається в ківш до необхідної ваги, що полегшує досить точне зважування порції матеріалу, тому що можливе швидке припинення його подачі в ківш.

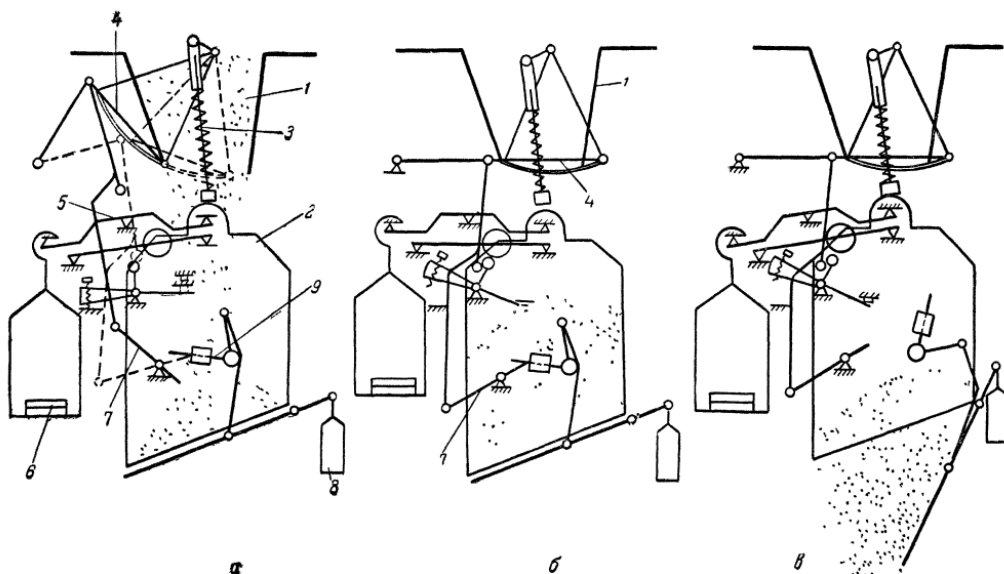


Рис. III.9. Схема дії автоматичних ваг:

- а – дозування; б – положення рівноваги; в – розвантаження;
 1- воронка; 2 – ківш; 3 – штанга; 4 – заслінка; 5 – коромисло вагів; 6 – вантаж; 7 – важіль; 8 – притивага; 9 – запірний пристрій.

Ківш 2 підвішений на кінці коромисла 5 ваг і повинен урівноважуватися вантажем 6. По досягненні рівноваги заслінка 4 повністю перекриває воронку 1 (Рис. III.9, б), у цей момент важіль 7 упирається в пристрій 9 (що закриває днище), піднімаючи його та звільняючи днище. Під дією ваги матеріалу воно відкидається і порція матеріалу висипається з ковша (Рис. III.9, в). Після спорожнювання ковша днище закривається під дією противаги 8; при цьому стрижень замикаючого пристрою 9 ударає по системі важелів, за допомогою яких ківш піднімається догори і потім знову заповнюється матеріалом.

Ваговий стрічковий дозатор

Ваговий стрічковий дозатор (рис. III.10.) застосовується для автоматичного безперервного дозування. Дозуючий матеріал з бункера через воронку 1, що не має днища, надходить через отвір у бічній стінці воронки на стрічку 4 транспортера, натяг якої регулюється роликом 3. На тій ділянці стрічки, куди надходить матеріал, під стрічкою встановлені опорні ролики 2, що сприймають тиск матеріалу. Кількість матеріалу, що надходить на стрічку, регулюється заслінкою 5. Переміщаючись на стрічці, матеріал проходить через другий отвір 7, величина якого регулюється автоматичною заслінкою 6, що шарнірно з'єднана з коромислом 8 ваг. Дозуючий матеріал урівноважується на стрічці вантажем 9, що переміщується по коромислу 8. Перед пуском дозатора проводять його регулювання для того, щоб встановити коромисло 8 у положення рівноваги. Піднімаючи заслінку 5, збільшують подачу матеріалу (якщо коромисло, відхиляючись від положення рівноваги, опускається донизу), опускаючи заслінку 5, зменшують подачу матеріалу (якщо коромисло піднімається нагору). При рівноважному положенні коромисла матеріал дозується рівномірно, у заданій кількості. Після того як порція матеріалу скидається із транспортера, стрічка 4 очищається щіткою 11. Швидкість стрічки коливається від 0,02 до 0,6 м/сек.

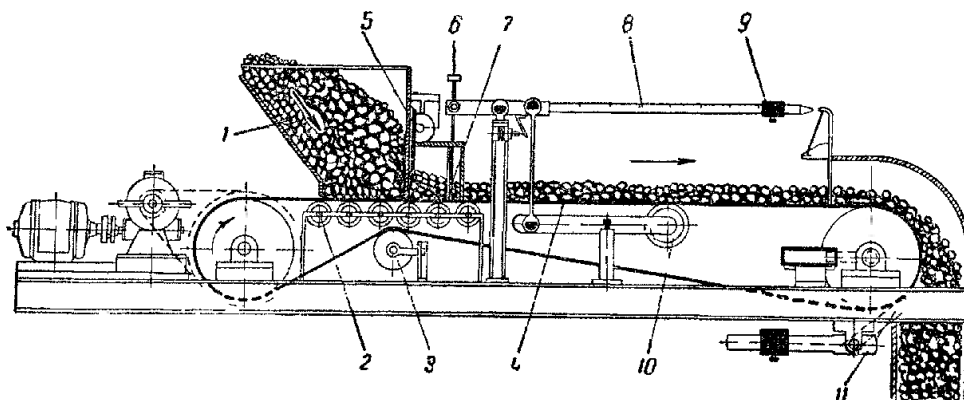


Рис. III.10. Ваговий стрічковий дозатор:

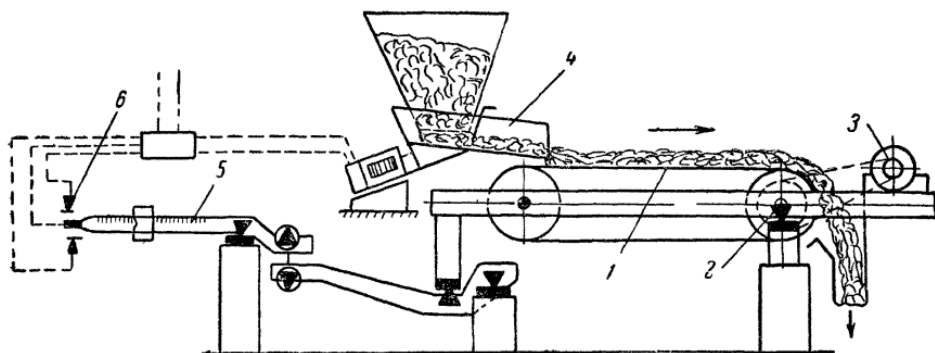
1- воронка; 2 – опорний ролик; 3 – натяжний ролик; 4 – стрічка транспортера; 5,6 – заслінки; 7 – отвір; 8 – коромисло вагів; 9 – вантаж; 10 – регулюючий ролик; 11 – щітка.

Якщо вага матеріалу на стрічці надмірно збільшується (поверх норми), ролик 10 опускається, що приводить до підйому правого плеча коромисла 8. Одночасно опускається ліве плече коромисла і пов'язана з ним автоматична заслінка 6, що викликає зменшення подачі матеріалу доти, поки порція його не досягне заданої ваги. При недостатній вазі дозуючого матеріалу на стрічці заслінка 6 піднімається і відновлюється нормальна подача матеріалу. У випадку раптового значного зменшення ваги матеріалу на стрічці дозатор автоматично вимикається.

Точність подачі дрібнозернистих добре сипких матеріалів стрічковим дозатором коливається в межах $\pm 1\%$.

Ваговий стрічковий дозатор з електрорегулюванням

Основною частиною такого автоматичного дозатора безперервної дії (рис. III.11.) є стрічковий транспортер 1, що може повертатися навколо опори 2. Транспортер приводиться в дію електродвигуном 3 через редуктор, що встановлений на кінці транспортера, інший кінець якого з'єднаний з вагами. Дозуючий матеріал подається на стрічку електровібраційним живильником 4.



*Рис. III.11. Ваговий стрічковий дозатор з електрорегулюванням:
1- стрічковий транспортер; 2 – опора; 3 – електродвигун; 4 –
електровібраційний живильник; 5 – коромисло вагів; 6 –
електричний регулятор.*

Вага матеріалу на стрічці транспортера врівноважується вантажем, що переміщується по коромислу 5 ваг, який з'єднано з живильником 4 електричним регулятором 6.

У випадку недостатнього надходження матеріалу на транспортер лівий його кінець і з'єднане з ним коромисло 5 ваг піднімаються догори. При цьому регулятор 6 впливає на живильник 4, і подача дозуючого матеріалу на стрічку збільшується аж до відновлення рівноваги коромисла. У випадку надлишку матеріалу на стрічці лівий кінець хитного транспортера опускається і подача матеріалу зменшується.

ЗМІШУВАННЯ

1. Загальні відомості

Змішування сухих сипких матеріалів і порошкоподібних речовин, а також густих і в'язких мас та пастоподібних матеріалів відбувається в змішувачах різноманітних конструкцій. Змішувачі можуть бути розділені на наступні групи:

- 1) змішувачі з обертовим корпусом;
- 2) змішувачі з обертовими лопатами різної форми;
- 3) циркуляційні змішувачі інтенсивної дії.

До змішувачів першої групи відносяться барабанні змішувачі, які застосовуються для періодичного і безперервного змішування сухих порошкоподібних речовин.

2. Змішувачі

Барабанний змішувач

Барабанний змішувач (рис. IV.1.) являє собою барабан 1 із двома бандажми 2, що обертається на роликах 5, роблячи 6-8 об/хв. Для кращого змішування матеріалу на внутрішніх стінках барабана укріплені косі спіральні перегородки 3, а всередині нього - кілька поздовжніх полиць 4 з перегородками. Завантаження і розвантаження матеріалу відбувається за допомогою шнека 6, який при завантаженні обертається в одному напрямку, а при розвантаженні - у протилежному. Напрямок обертання шнека змінюється за допомогою ручного механізму.

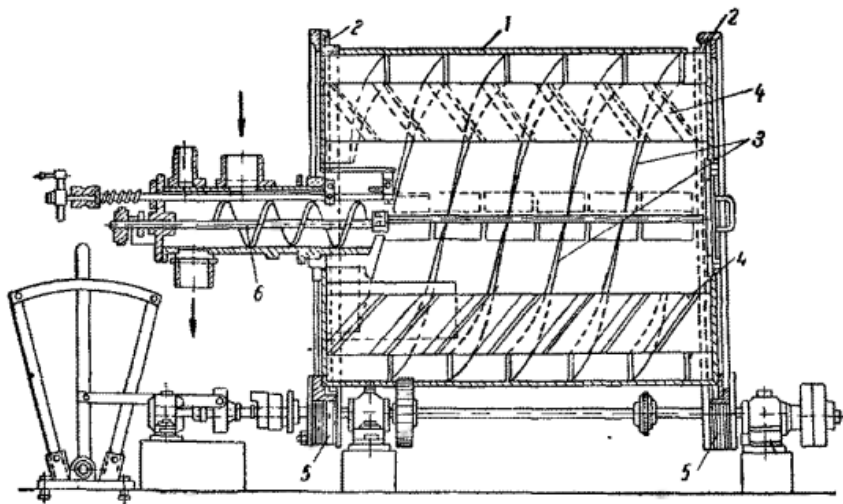


Рис. IV.1. Барабанний змішувач:

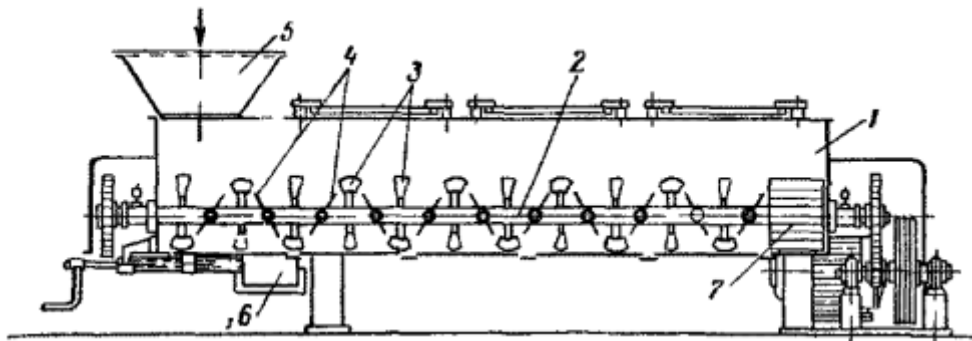
1 - барабан; 2 - бандажми; 3 - спіральні перегородки; 4 - поздовжні полиці; 5 - ролики; 6 - шнек.

Змішувачі барабанного типу є тихохідними, циркуляція матеріалу, що змішується, в них мало інтенсивна і тривалість змішування значна. Тому барабанні змішувачі витісняються апаратами більш інтенсивної дії.

Для безперервного змішування сипких, пластичних і липких матеріалів застосовують одновальні і двовальні шнекові змішувачі.

Двовальний шнековий змішувач

Двовальний шнековий змішувач (рис. IV.2.) складається з горизонтального корита 1, в якому з неоднаковою швидкістю обертаються два паралельних вали 2 з лопатками. На валах укріплені по черзі прямі лопатки 3, що перемішують, і транспортуючі лопатки 4, вигнуті по гвинтовій лінії. Матеріал надходить через воронку 5 і рухається, перемішуючись, уздовж переднього вала 2, а потім передається лопатевим колесом 7 на задній вал і рухається уздовж нього у зворотному напрямку. Готова суміш розвантажується через воронку 6. При закритті цієї воронки змішувач може працювати як апарат періодичної дії.



*Рис. IV.2. Двухвальний шнековий змішувач:
1 - корито; 2 - вал; 3 - змішуючі лопатки; 4 - транспортуючі лопатки; 5, 6 - воронки; 7 - лопатне колесо.*

Для змішування густих, досить в'язких (кашоподібних) мас і сипких матеріалів широко застосовуються горизонтальні двовальні змішувачі періодичної дії з фасонними лопатями.

Двовальний змішувач з фасонними лопатями

Змішувач з фасонними лопатями (рис. IV.3.) виконаний у вигляді корита 1, у якому обертаються назустріч один одному з різним числом обертів лопаткові валки 2. Корито має відкидну кришку, що щільно закривається, і, якщо потрібно, сорочкою для охолодження або нагрівання матеріалу. При обертанні назустріч один одному кожна з лопатей переміщує змішуючу масу, яка знаходиться в кориті, до клиноподібного сидла, та розрізає її на частини. При цьому частина суміші підхоплюється лопаттю сусіднього валка і вминається в частину матеріалу, який переміщується цією лопаттю.

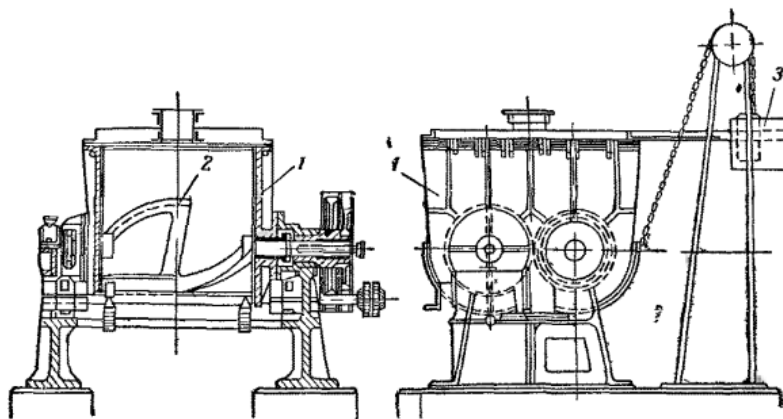


Рис. IV.3. Двовальний змішувач з фасонними лопатями:
1 - корито; 2 – лопастні валки; 3 – контрвантаж.

Одночасний розподіл і вминання змішувальної маси супроводжується її перетиранням між лопатями і стінками корита. Таким комбінованим впливом досягається ретельне змішування густих і в'язких мас.

По закінченні змішування розвантаження матеріалу відбувається перекиданням корита за допомогою ланцюгової передачі. На вільних кінцях ланцюгів для полегшення підйому корита підвішуються контрвантаж 3. У змішувачах деяких конструкцій корито перекидається при обертанні піднімального гвинта, по якому переміщається нагору гайка, яка шарнірно пов'язана із задньою стінкою корита.

Змішувачі з обертовими лопатями і нерухливим корпусом також тихохідні. Внаслідок невеликої швидкості обертання лопатей ($n \sim 10\text{—}50$ об/хв) і одночасний вплив лопатей лише на невелику частку об'єму оброблюваного матеріалу змішувачі цього типу також не є високоефективними апаратами і змішування в них досить тривале.

Останнім часом розроблені конструкції швидкохідних змішувальних апаратів, у яких використаний принцип інтенсивної циркуляції матеріалів, що змішуються, у розпиленому стані.

Для одержання сумішей порошкоподібних речовин, головним чином у виробництві пластичних мас, застосовують змішувачі, у яких оброблювані матеріали піддають аерації, щоб суміш по своїй рухливості наближалася до рідини.

Циркуляційний змішувач

У корпусі 1 циркуляційного змішувача такого типу (рис. IV.4.) швидко обертається ротор 2 у вигляді кільцевого диска із чотирма лопатями 6 (дві верхні і дві нижні). Дві верхні лопаті при обертанні ротора засмоктують повітря з повітряної подушки, що створюється над змішувальним матеріалом. При прониканні деякої кількості повітря в масу сипкого

матеріалу починається циркуляція цього матеріалу в апараті. Ротор обертається усередині кільцевого нерухливого диска 4 з пальцями (статор). При проходженні часток сипкого матеріалу між ротором і статором у матеріалі створюються значні зрізуючі напруження, що сприяють ефективному змішуванню компонентів сипкої суміші. Колова швидкість ротора не перевищує 40—60 м/сек, тому змішування не супроводжується здрібнюванням матеріалу.

Суміш видаляється двома нижніми лопатями ротора через патрубок. Привод ротора здійснюється від електродвигуна 5.

Матеріал, що змішується в такому апараті, нагрівається внаслідок теплоти тертя, що виділяється при обертанні ротора. Якщо потрібен додатковий підігрів матеріалу, він може бути нагрітий через стінку корпусу змішувача, який має масляну сорочкою 3 з електрообігріванням.

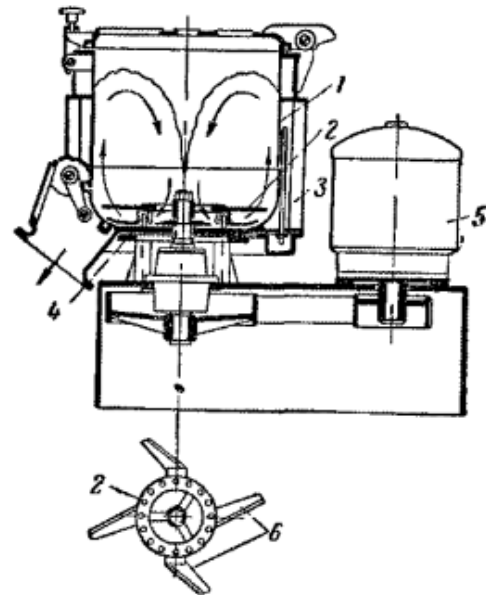


Рис. IV.4. Циркуляційний змішувач:
1 - корпус; 2 - ротор; 3 - масляна сорочка; 4 - статор; 5 - електродвигун; 6 - лопатті ротора.

Змішувач відцентрової дії

На рис. IV.5 показаний змішувач відцентрової дії, у якому можливе ретельне змішування сипких матеріалів при відносно невеликій витраті енергії, яка обумовлена малою тривалістю змішування і високою продуктивністю одиниці об'єму апарата. Змішувач складається з корпусу 1, усередині якого обертається на вертикальній осі відкритий порожній конус 2, який звернений більшою основою догори. Матеріал, що змішується, переміщується по внутрішній поверхні конуса знизу нагору під дією відцентрових сил інерції, викидається з конуса і утворює зважений шар, усередині якого відбувається інтенсивне змішування компонентів. Частки суміші опускаються на днище корпусу і через вікна 5 знову надходять у конус 2. У такий спосіб в апараті створюється

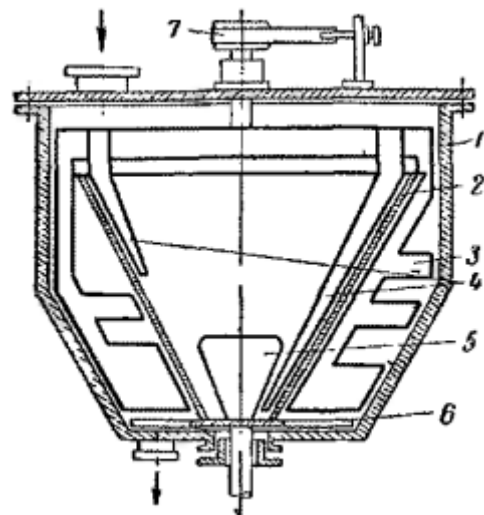


Рис. IV.5. Змішувач відцентрової дії:
1 - корпус; 2 - конус; 3 - лопатті; 4 - ножі; 5 - вікна; 6 - шкребок; 7 - гальмо.

інтенсивна циркуляція сипкого матеріалу, що сприяє його швидкому і ретельному змішуванню.

При переміщенні усередині конуса матеріал зустрічає на своєму шляху ножі, що укріплені на вільнообертаючій рамі з лопатями 3. Лопатям повідомляється частина кінетичної енергії матеріалу, що рухається, завдяки чому вони починають обертатися зі швидкістю, значно меншій швидкості обертання конуса 2. Лопаті 3 змішують матеріал у кільцевому просторі між конусом і корпусом змішувача і направляють частину його у вікна 5. Швидкість обертання лопатей регулюють гальмом 7. Щоб усунути злежування матеріалу біля днища корпусу, разом з конусом 2 обертається похилий шкребок 6. Суміш вивантажується через люк в днищі корпусу змішувача.

У циркуляційних змішувачах досягається більш висока однорідність суміші, а тривалість змішування скорочується в кілька разів у порівнянні із тривалістю змішування в змішувачах інших типів.

ТРАНСПОРТУВАННЯ

1. Загальні відомості

У хімічних виробництвах переміщують різні тверді матеріали, що є сировиною, напівпродуктами або готовими продуктами. Для переміщення твердих матеріалів у межах заводу або цеху застосовуються підйомно-транспортні пристрої. Ці пристрої становлять внутрішньозаводський транспорт підприємства.

Підйомно-транспортні пристрої поділяються на наступні групи:

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

За напрямком переміщення матеріалу розрізняють:

- 1) пристрої для *горизонтального* (або слабонаклонного) *переміщення*;
- 2) пристрої для *вертикального* (або крутонаклонного) *переміщення*;
- 3) пристрої для *змішаного* (просторового) *переміщення*.

Залежно від роду матеріалу розрізняють пристрої для переміщення сипких і штучних вантажів.

До *сипких матеріалів* відносяться порошкоподібні і кускові матеріали, що переміщуються навалом.

До *штучних вантажів* відносяться вироби, що мають певну форму (частини машин, цегла, метал), а також матеріали, що упаковані в тару (мішки, бочки, ящики).

Періодичне транспортування здійснюється за допомогою вагонеток, підйомників, кранів і інших пристроїв. Нижче розглядаються тільки основні пристрої безперервного транспорту, переважно для переміщення сипких матеріалів.

2. Пристрої для горизонтального переміщення.

Стрічкові транспортери

Стрічковий транспортер (рис. V.1.) складається з нескінченної стрічки 3, що безупинно рухається навколо двох барабанів 1 і 8, причому стрічка приводиться в рух тертям по поверхні барабанів.

Барабан 8 є приводним: він приводиться в дію електродвигуном через редуктор (або іншу передачу) і при обертанні тягне на себе верхню (навантажену) частину стрічки. Барабан 1 є натяжним і служить для натягу стрічки. Натяг стрічки досягається тим, що барабан встановлений на візку, який може переміщатися назад під дією ваги вантажу 10. Максимальне переміщення натяжного барабана (хід натяжки) показано на рисунку. Щоб

запобігти провисанню стрічки, під нею встановлений ряд опорних роликів 4 і 9.

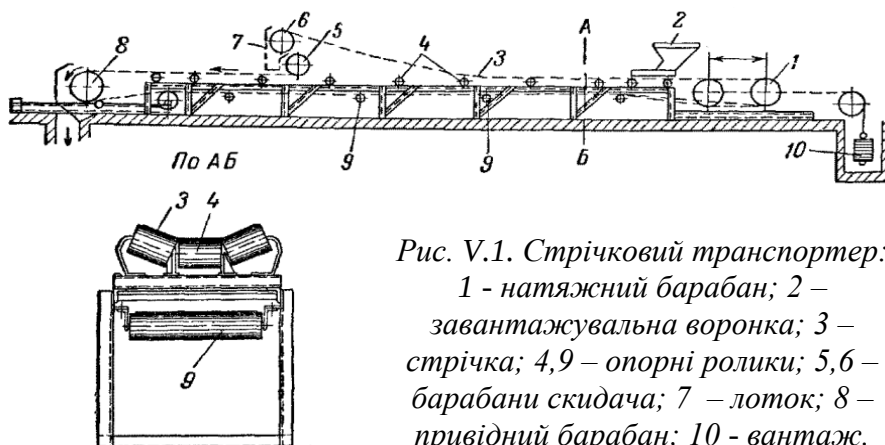


Рис. V.1. Стрічковий транспортер:
1 - натяжний барабан; 2 –
завантажувальна воронка; 3 –
стрічка; 4, 9 – опорні ролики; 5, 6 –
барабани скидача; 7 – лоток; 8 –
привідний барабан; 10 - вантаж.

Матеріал завантажується на верхню гілку стрічки через завантажувальну воронку 2 і переміщається при русі стрічки до місця розвантаження, яке зазвичай знаходиться біля приводного барабана, тобто при обгинанні стрічкою барабана 8 матеріал скидається із транспортера.

Розвантаження може бути здійснене також у будь-якому місці по шляху руху стрічки за допомогою скидального ножа або барабанного скидача.

Скидальний ніж являє собою шкребок, що перегороджує рух матеріалу и скидає його зі стрічки в одну або обидві сторони. Барабанний скидач, складається із двох барабанів 5 і 6, які згинають стрічку у вигляді букви S. Матеріал скидається з барабана 6 і видаляється по лотку 7. Скидальний ніж і барабанний скидач закріплюються нерухомо або монтуються на візку, що може бути встановлений в будь-якому місці.

Зазвичай застосовують гумовотканинні транспортерні стрічки, що складаються з декількох шарів гуми і бавовняної тканини. При транспортуванні гарячих матеріалів застосовують стрічки, виготовлені з тонкої, термічно обробленої сталі.

Для збільшення продуктивності транспортера при переміщенні сипких матеріалів робочій гілці стрічки надають жолобчасту форму шляхом застосування роликів спеціального профілю. Як показано на рис. V.1., нижня гілка стрічки, що не є робочою, залишається плоскою.

Стрічкові транспортери застосовуються для горизонтального або слабопохилого (під кутом до горизонтальної площини до 22°) переміщення сипких і штучних вантажів при довжині транспортування до 150—200 м.

Пластинчасті транспортери

Будова пластинчастих транспортерів подібна до будови стрічкових транспортерів. Пластинчастий транспортер (рис. V.2.) являє собою нескінченну стрічку, що складається із шарнірних ланцюгів 1, до яких прикріплені пластини 2, що несуть переміщуваний матеріал. На шарнірах

ланцюгів розташовані ролики 3, які котяться по напрямним, які прикріплені до станини транспортера. Ланцюги транспортера обгинають зірочки 5 і 6, з яких одна приводна, а інша натяжна.

Завантаження матеріалу може відбуватись в будь-якій точці по довжині стрічки, розвантаження здійснюється з боку приводної зірочки. При переміщенні сипких матеріалів пластини забезпечуються бортами 7.

Пластинчасті транспортери застосовуються для переміщення матеріалу на відстань до 150 м. Якщо на пластинах поставлені поперечні перегородки, то кут нахилу стрічки до горизонту може досягати 30—45°. Швидкість руху стрічки приймається в межах 0,2—0,6 м/сек.

Пластинчасті транспортери дорожче стрічкових і застосовуються при переміщенні крупношматкових матеріалів або матеріалів, що мають високу температуру, а також при переміщенні під більшим кутом, тобто в тих випадках, коли стрічкові транспортери непридатні.

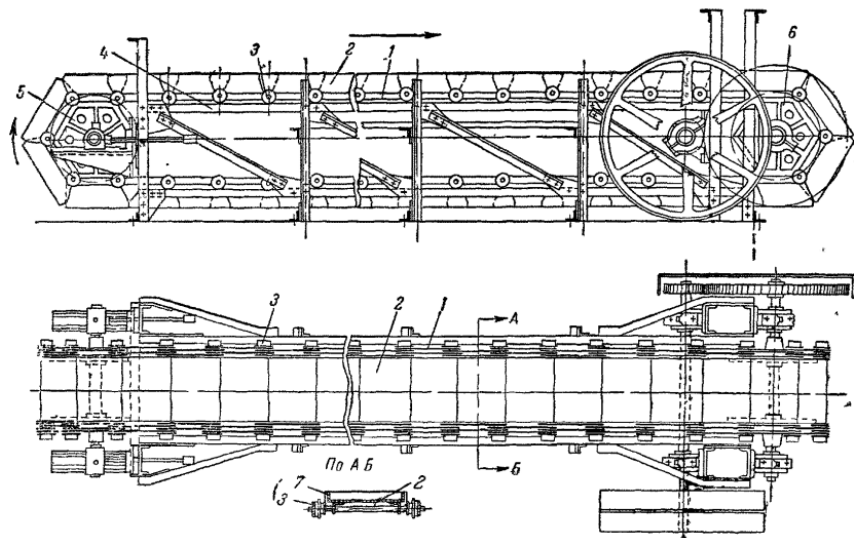


Рис. V.2. Пластинчатий транспортер:

1 - ланцюг; 2 - пластини; 3 - ролики; 4 - напрямні; 5 - натяжна зірочка; 6 - приводна зірочка; 7 - борт.

Скребкові транспортери

Скребковий транспортер (рис. V.3.) складається з нерухливого жолоба 1, у якому рухається нескінченний ланцюг 2 із прикріпленими до неї скребками 3. Ланцюг приводиться в дію за допомогою приводної зірочки 5, а зірочка 7 є натяжною.

На шарнірах ланцюга укріплені ролики 4, які котяться по напрямній 6.

Шкребки при русі ланцюга захоплюють і переміщують по дну жолоба матеріал, що розвантажується або з іншого кінця жолоба, або через розвантажувальний отвір 9.

Перевагами скребкових транспортерів, у порівнянні зі стрічковими, є:

І) простота і дешевина пристрою,

2) зручність завантаження і розвантаження матеріалу в будь-якій точці;

3) великий кут нахилу до горизонту (до 45°).

До недоліків відносяться:

1) підвищена витрата енергії,

2) велике зношування,

3) руйнування крихких матеріалів внаслідок стирання.

Скребкові транспортери застосовуються для переміщення мілкошматкових і порошкоподібних матеріалів на відстань до 60 м. Швидкість руху приймається 0,25—0,75 м/сек.

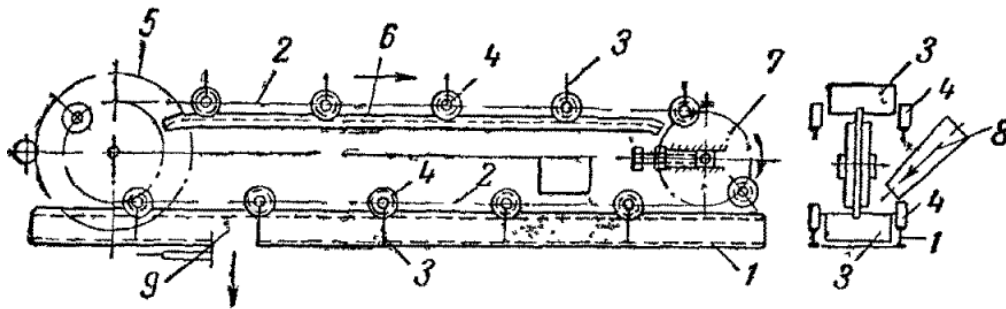


Рис. V.3. Скребковий транспортер:

1 - жолоб; 2 - ланцюг; 3 - шкребки; 4 - ролики; 5 - привідна зірочка; 6 - напрямка; 7 - натяжна зірочка; 8 - завантажувальний лоток; 9 - розвантажувальний отвір.

Гвинтові транспортери

Гвинтовий транспортер або шнек (рис. V.4.), являє собою закритий жолоб 1, у якому обертається гвинтоподібний вал 2 або вал, який має косо поставлені лопаті.

Матеріал, що переміщується, надходить у жолоб через завантажувальний отвір 3 і переміщується уздовж жолоба.

Вивантаження матеріалу відбувається через отвір 4, яке розташоване в дні жолоба. Завантаження і розвантаження можуть бути здійснені в будь-якій точці по довжині жолоба.

До переваг гвинтових транспортерів відносяться:

1) компактність, простота і дешевина пристрою та обслуговування,

2) герметичність.

Останнє особливо важливо при переміщенні токсичних і матеріалів, що порохать.

Недоліками гвинтових транспортерів є:

1) висока витрата енергії,

2) значне зношування стінок жолобу і поверхні гвинта,

3) стирання матеріалу.

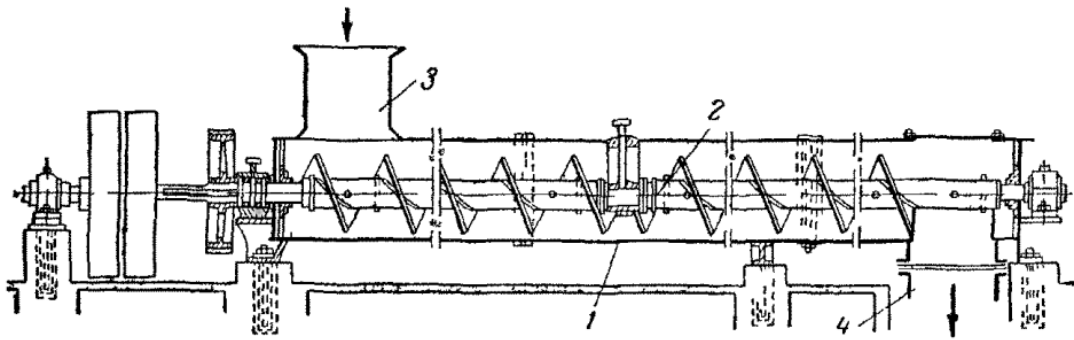


Рис. V.4. Гвинтовий транспортер:

1 - жолоб; 2 - вал; 3 - завантажувальний отвір; 4 - розвантажувальний отвір.

Гвинтові транспортери застосовуються для горизонтального або слабопохилого (до 20° до горизонту) переміщення порошкоподібних і мілкошматкових матеріалів на відстань до 40м.

Вібраційні транспортери

У вібраційних транспортерах сипкий матеріал переміщується в трубі або жолобі, яким повідомляється зворотно-поступальний рух значної частоти з невеликою амплітудою вібрації. Для створення вібрацій застосовують електромагнітні або механічні приводи (вібратори).

У якості електромагнітного приводу використовують електромагніт, по обмотці якого пропускають змінний струм. При цьому якор електромагніта, який жорстко з'єднаний із трубою транспортера, вібрає уздовж осі магніту, викликаючи вібрації цієї труби.

Найпоширені вібраційні транспортери з механічним приводом. У таких транспортерах вібрації повідомляються трубі за допомогою кривошипа або ексцентрика. Існують конструкції інерційних транспортерів, у яких вібрації створюються обертанням невірноважених мас.

При установці вібраційних транспортерів на площадках або на перекриттях необхідно виключити передачу вібрацій будівельним конструкціям будинку або спорудження. Цій вимозі задовольняють врівноважені вібраційні транспортери. Схематично показаний на рис. V.5., врівноважений двотрубний вібраційний транспортер, який складається із труб 1 і 2, що розташовані один над іншим, та з'єднаних між собою важелями-качалками 3 і плоскими пружинами 4. Качалки шарнірно кріпляться до труб і нерухоливих стійок 5. Привод транспортера складається з ексцентрика 6 і шатуна 7. Рух труб відбувається поперемінно: коли одна труба рухається вперед, інша відхиляється назад. При русі труби вперед матеріал переміщається разом з нею в тому ж напрямку; при русі труби у зворотному напрямку (назад) матеріал залишається нерухоливим. У результаті таких змінних рухів труб вібраційного транспортера відбувається поступальне переміщення

матеріалу відносно труби в напрямку, що показаний на малюнку стрілками.

До переваг вібраційних транспортерів відносяться герметичність, компактність, простота конструкції і надійність роботи, до недоліків порівняно висока витрата енергії і зношування при переміщенні абразивних матеріалів.

Вібраційні транспортери є досить перспективним видом підйомно-транспортних пристроїв. Зазвичай вони мають переваги перед пластинчастими, скребковими і гвинтовими транспортерами при переміщенні гарячих і токсичних (отрутних) матеріалів, а також матеріалів, що порошать. Для дуже вологих і липких матеріалів вібраційні транспортери не придатні. Довжина транспортерів досягає 100 м при продуктивності до 250 т/год.

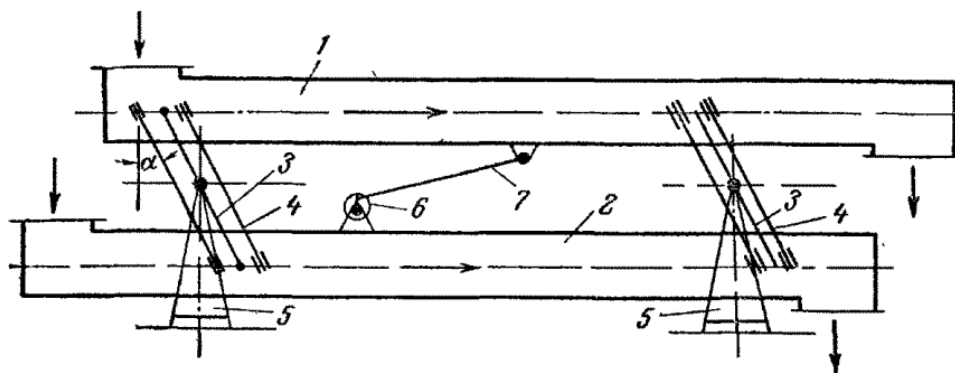


Рис. V.5. Схема врівноваженого двотрубного вібраційного транспортера:

1,2 - транспортуючі труби; 3 - важелі-качалки; 4 - пружини; 5 - стійки; 6 - ексцентрик; 7 - шатун.

Пневматичні транспортні жолоби

Пневматичний жолоб (рис. V.6.) складається із двох частин 1 і 2, що розділені пористою плиткою 3, на якій перебуває матеріал. У просторі під плиткою проходить стиснене повітря. Пройшовши через плитку, повітря проникає в матеріал і розпушує його. Внаслідок цього матеріал стає текучим, подібно рідини, і переміщується по жолобу вже при невеликому куті нахилу (але не менш 2,5°). Відпрацьоване повітря виходить в атмосферу через матер'яні фільтри 4, що розташовані у верхній частині жолоба.

Витрата повітря становить приблизно 1,5 м³/хв на 1 м² площі жолоба (при тиску 500 мм вод. ст.). Витрата енергії в 2-4 рази менше, ніж у гвинтових транспортерах. Пневматичні жолоба застосовуються замість гвинтових транспортерів і інших пристроїв для переміщення порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів на відстань до 100 м. Переваги таких жолобів полягають у простоті, відсутності частин, що

рухаються, герметичності і малій витраті енергії. Основним недоліком є неможливість руху матеріалу з підйомом нагору.

3. Пристрої для вертикального та змішаного переміщення.

Елеватори

Елеватор (рис. V.7.) складається з нескінченної стрічки або ланцюга 2 (стрічковий або ланцюговий елеватор), на якій закріплені ковші 3. Стрічка — у випадку стрічкового елеватора — обгинає два барабани 1 і 6, що розташовані один у верхньому, інший у нижньому кінцях елеватора (верхній барабан приводний, нижній - натяжний). Ланцюг — у випадку ланцюгового елеватора — обгинає дві зірочки, які розташовані також у верхньому й нижньому кінцях елеватора. Вал верхнього барабана (або зірочки) обертається в нерухливих підшипниках, тоді як вал нижнього барабана (або зірочки) встановлений у рухливих підшипниках, які за допомогою гвинта 5 можна переміщати по вертикалі, завдяки чому і досягається натяг стрічки або ланцюга.

Весь пристрій міститься у кожусі 4. У нижній частині кожуха є жолоб 7, через який завантажується матеріал. Далі матеріал захоплюється ковшами і піднімається наверх; при переході через верхній барабан ковші перекидаються і матеріал під дією відцентрової сили і сили ваги висипається в прийомний жолоб 8. Таким чином, всі ковші, що піднімаються, елеватора рухаються навантаженими, а всі що опускаються - порожніми.

Елеватори застосовуються для вертикального підйому порошкоподібних і кускових матеріалів на висоту до 40 м. Швидкість руху стрічки або ланцюга приймається від 0,9 до 1,5 м/сек. Стрічкові елеватори застосовуються при легких умовах роботи (дрібний і легкий матеріал, невелика висота підйому), а ланцюгові елеватори - для тяжких умов роботи (великий і важкий матеріал, більша висота підйому).

Для важких крупношматкових і крихких матеріалів застосовуються тихохідні елеватори зі швидкістю руху 0,4—0,6 м/сек. При такій малій швидкості розвантаження відбувається не під дією відцентрової сили, а під дією однієї сили ваги. Щоб матеріал не падав назад у кожух елеватора, а надходив у прийомний жолоб, ковші розташовують впритул один до одного (лускаті елеватори); у цьому випадку матеріал при розвантаженні

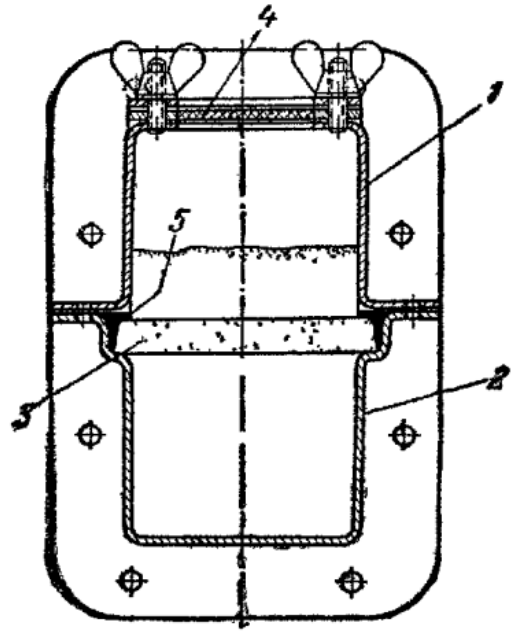


Рис. V.6. Пневматичний транспортний жолоб:
1 - верхня частина жолобу; 2 - нижня частина жолобу; 3 - пориста плита; 4 - матер'яний фільтр; 5 - ущільнююча замазка.

сковзає по задній стінці нижчерозташованого ковша. Для полегшення розвантаження тихохідних елеваторів їх часто встановлюють похило під кутом $45\text{—}70^\circ$ до горизонту.

Транспортери із зануреними шкребками

Транспортери даного типу є різновидом скребкових транспортерів і відрізняються від останніх тим, що ланцюг зі шкребками рухається усередині закритого жолобу і шкребки занурені в матеріал, який рухається суцільним потоком.

Транспортери із зануреними шкребками можуть переміщати матеріал по трасі складного обрису (крива або ламана лінія) у горизонтальному, похилому і вертикальному напрямках без перевантаження в місцях перегину траси, причому завантаження і розвантаження транспортерів можуть здійснюватися в багатьох його точках.

Габарити цих транспортерів менші габаритів стрічкових, пластинчастих, скребкових і гвинтових транспортерів. Витрата енергії значно менша, ніж для скребкових і гвинтових транспортерів.

До недоліків транспортерів із зануреними шкребками відносяться значне зношування робочих деталей при переміщенні абразивних матеріалів. Для транспортування липких і матеріалів, що грудкуються, ці транспортери непридатні.

Пневматичний транспорт

Пневматичний транспорт здійснюється за допомогою повітря, який рухається в трубопроводі та захоплює сипкий матеріал. Матеріал вводиться в трубопровід через завантажувальні пристрої, захоплюється струменем повітря, що рухається, і транспортується до місця розвантаження.

Залежно від концентрації матеріалу, що переміщується, в суміші його з повітрям розрізняють пневматичний транспорт у розрідженій фазі (мала концентрація матеріалу в суміші з повітрям) і пневматичний транспорт у щільній фазі (висока концентрація матеріалу в суміші).

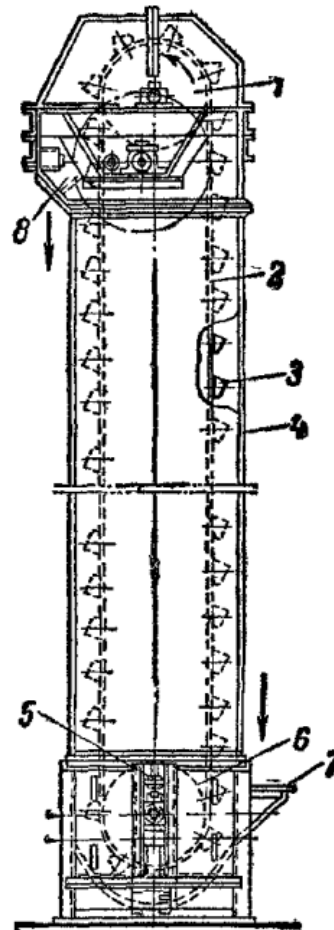


Рис. V.7. Елеватор:
1 - приводний барабан; 2 - стрічка; 3 - ковці; 4 - кожух; 5 - гвинт; 6 - натяжний барабан; 7 - воронка; 8 - прийомний жолоб.

Пневматичний транспорт у розрідженій фазі здійснюється при таких швидкостях повітря, при яких частки матеріалу захоплюються разом з повітрям. Залежно від розмірів часток і густини матеріалу застосовуються швидкості повітря від 8 до 35 м/сек. Концентрація матеріалів у суміші з повітрям становить від 1 до 35 кг матеріалу на 1 кг повітря (зазвичай 10-25 кг/кг).

На рис. V.8. наведена схема *всмоктувальної пневматичної установки*. У трубопроводі 2 створюється розрідження і повітря всмоктується в нього разом з матеріалом. Всмоктування відбувається через прийомне сопло 1, далі суміш повітря з матеріалом по трубопроводу 2 надходить у розвантажувач 3, у якому повітря відділяється від матеріалу, яке надходить потім у прийомний бункер 6. Розвантажувач виконано у вигляді циклонів. З розвантажувача повітря надходить у фільтр 4, де від повітря відділяються частки матеріалу, які не вловлені в розвантажувачі. З фільтра повітря відсмоктується вакуум-насосом 5, що і створює необхідне розрідження в системі.

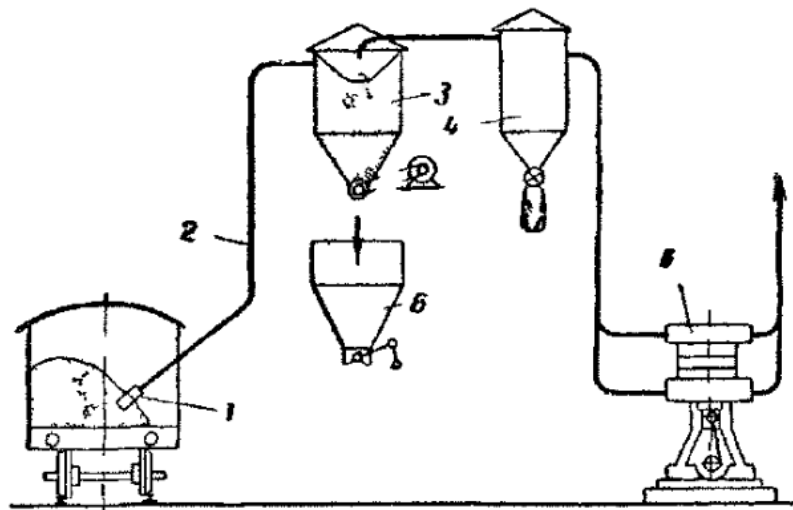


Рис. V.8. Схема всмоктувальної пневматичної установки:
1 - прийомне сопло; 2 - трубопровід; 3 - розвантажувач; 4 - фільтр; 5 - вакуум-насос; 6 - прийомний бункер.

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.

Для переміщення матеріалу на більші відстані (до 800 м) з одного місця по різних напрямках застосовують *нагнітальні пневматичні установки* (рис. V.9.). Компресор 1 нагнітає повітря в трубопровід 2, у який через спеціальний живильник 3 подається матеріал, що переміщується. Суміш повітря з матеріалом по трубопроводу 2 надходить у розвантажувач 4, де відбувається відділення матеріалу, після чого

повітря через фільтр 5 відводиться в атмосферу. Надлишковий тиск повітря в нагнітальних установках досягає 3—4 ат.

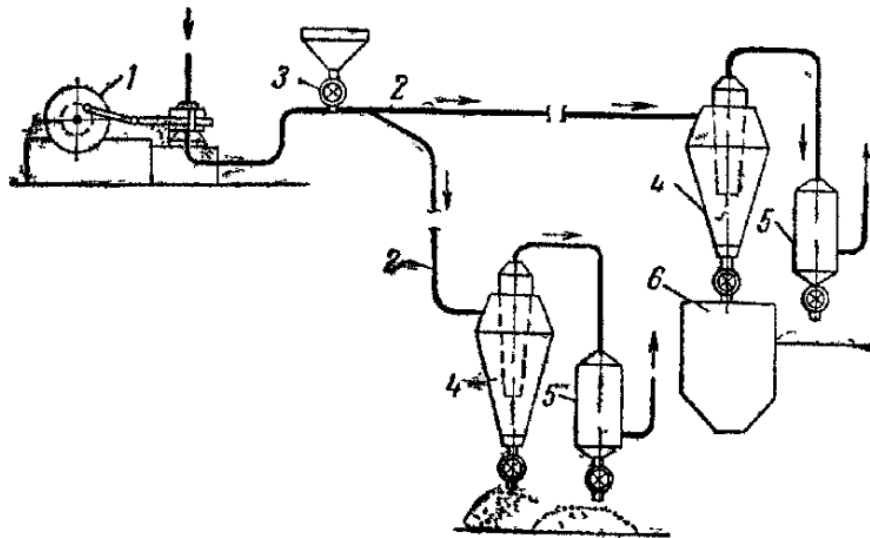


Рис. V.9. Схема нагнітальної пневматичної установки:
1 - компресор; 2 - трубопровід; 3 - живильник; 4 - розвантажувачі; 5 - фільтри; 6 - прийомний бункер.

Для переміщення матеріалу на більші відстані з різних місць до однієї точки застосовують змішані пневматичні установки (рис. V.10.). Матеріал засмоктується разом з повітрям через сопло 1 і по трубопроводу 2 надходить у розвантажувач 3. Повітря з розвантажувача 3 через фільтр 4 всмоктується компресором 5 і нагнітається в трубопровід 6, куди подається матеріал з розвантажувача 3. Далі суміш повітря з матеріалом надходить у розвантажувач 7, звідки повітря направляється у фільтр 8.

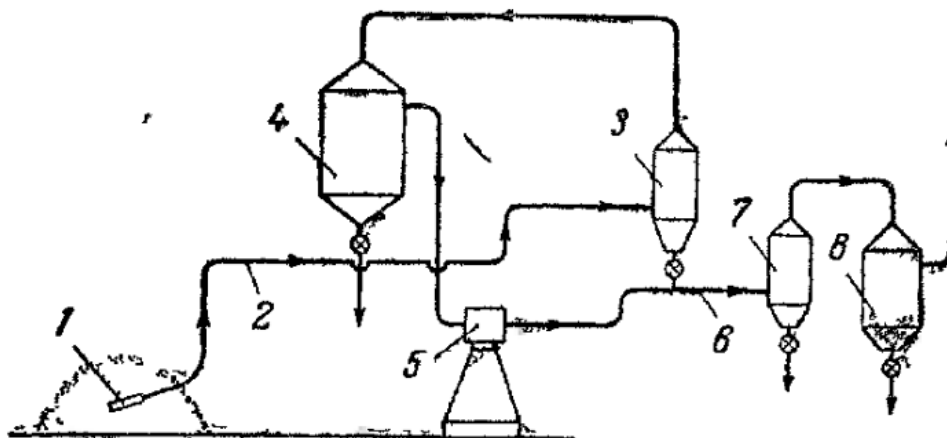


Рис. V.10. Схема змішаної пневматичної установки:
1 - прийомне сопло; 2 - всмоктуючий трубопровід; 3, 7 - розвантажувачі; 4, 8 - фільтри; 5 - компресор; 6 - нагнітаючий трубопровід.

Переваги пневматичного транспорту полягають у простоті, надійності, повній герметичності і компактності установок. Основними їхніми недоліками є підвищена витрата енергії в порівнянні з витратою для механічного транспорту, а також зношування трубопроводів при переміщенні абразивних матеріалів.

Пневматичний транспорт застосовується при переміщенні сухих порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів. Для переміщення вологих, липких і крупношматкових матеріалів пневматичний транспорт непридатний.

Пневматичний транспорт у щільній фазі здійснюється в так званих пневматичних підйомниках при малих швидкостях повітря (менше 10 м/сек) і високих концентраціях матеріалу, що переміщується, у суміші з повітрям (120-250 кг/кг).

На рис. V.11. наведена схема пневматичного підйомника безперервної дії. Живильник 1 безупинно подає матеріал у завантажувальну камеру 2, у нижній частині якої розташована пориста перегородка 3. Стиснене повітря (надлишковий тиск 0,5—1,5 ат) подається під пористу перегородку. У завантажувальній камері матеріал захоплюється повітрям і надходить разом з ним у транспортний трубопровід 4, по якому передається в розвантажувач 5.

Пневматичні підйомники застосовуються для переміщення матеріалу на висоту до 25 м (одночасно можливе переміщення матеріалу в горизонтальному напрямку). Їхньою основною перевагою є низька витрата енергії в порівнянні з витратою не тільки для описаних вище пневматичних установок, але й для механічного транспорту. Для переміщення матеріалів у вертикальному напрямку перспективне застосування пневматичних підйомників замість елеваторів.

Гідравлічний транспорт

В установках гідравлічного транспорту матеріал вводиться в струмінь води, переміщається разом з нею до місця призначення, де відділяється від води. Цей вид транспорту застосовується тільки для тих матеріалів, які не піддаються змінам

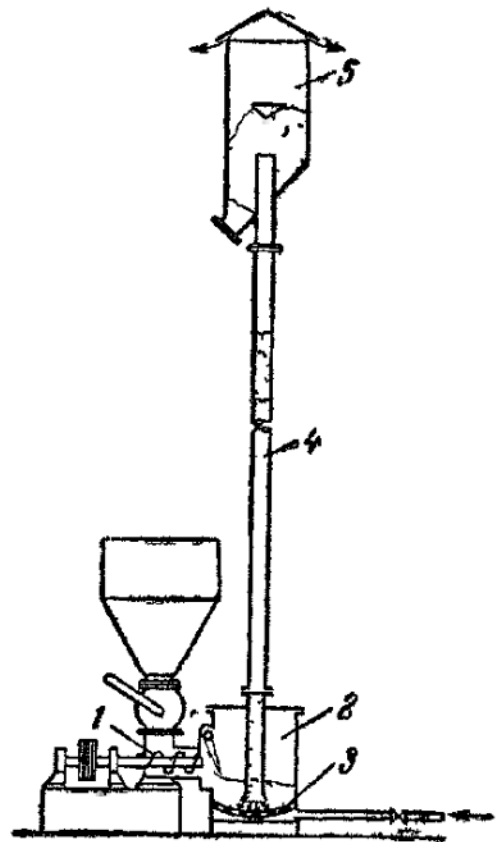


Рис. V.11. Пневматичний підйомник безперервної дії:
1 - живильник; 2 - завантажувальна камера; 3 - пориста перегородка; 4 - транспортний трубопровід; 5 - розвантажувач

під дією води.

У *низьконапірних* гідравлічних установках матеріал змивається водою низького тиску (до 5 ат) і суміш матеріалу з водою рухається самотією по відкритих каналах.

У *високонапірних* установках вода подається під тиском 25—60 ат і суміш матеріалу з водою переміщується по трубах під надлишковим тиском 1,5—7 ат. У цих установках можливо переміщати матеріал на відстань понад 1 км.

У *змішаних* установках матеріал переміщається в межах цеху по відкритих каналах, з яких подається потім у високонапірну установку для передачі на велику відстань.

Література

1. *Сиденко П.М.* Измельчение в химической промышленности / Сиденко П.М. – М.: «Химия», 1977. – 368с.
2. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии / Касаткин А.Г. – М.: «Химия», 1971. – 784с.
3. *Плановский А.Н.* Процессы и аппараты химической технологии / Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. – М.: «Химия», 1968. – 847с.
4. *Гельперин Н.И.* Основные процессы и аппараты химической технологии / Гельперин Н.И. – М.: «Химия», 1981. – 812с.
5. *Козулин Н.А.* Оборудование заводов лакокрасочной промышленности / Козулин Н.А., Горловский И.А. – Л.: «Химия», 1968. – 584с.
6. *Опарин С.А.* Процесс и оборудование помола растительных материалов до микронных размеров: дис. ... кандидата технических наук : 05.17.08 / Опарин Сергей Александрович. – Днепропетровск, 2002. – 193с.
7. *Лещенко Е.В.* Процесс и оборудование тонкого измельчения пигментов и наполнителей для лакокрасочной промышленности / дис. ... кандидата технических наук : 05.17.08 / Лещенко Елена Васильевна. – Днепропетровск, 2007. – 175с.