

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**УПРАВЛІННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З
ВІДХОДАМИ**

Частина четверта

Технології переробки твердих побутових відходів

Навчальний посібник

**Вінниця
ВНТУ
2013**

УДК 628.47
У67

Автори:
Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А., Петрук Р. В.

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник ВНТУ для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Екологія». (протокол № від квітня 2013 р.)

Рецензенти:
А. П. Ранський, доктор хімічних наук, професор
Д. І. Крикливий, доктор технічних наук, професор
В. Г. Кур'ята, доктор біологічних наук, професор

У 67 **Управління** та поводження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів: навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А., Петрук Р. В. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 234 с.

В посібнику розглянуті методи підготовки відходів до переробки, дана характеристика технологічного обладнання та проаналізовано промислові технології переробки та утилізації твердих побутових відходів. Сформульовані науково-обґрунтовані рекомендації щодо вибору і розрахунку подрібнювального обладнання і еколого-технічних заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу твердих побутових відходів на навколишнє середовище.

Навчальний посібник розрахований на студентів екологічних спеціальностей та теплоенергетичних спеціальностей, спеціалістів житлово-комунального господарства, інженерів-теплоенергетиків працюючих в комунальній сфері, фахівців управління охорони навколишнього природного середовища, екологічної інспекції та спеціалістів науково-дослідних організацій.

УДК 628.47
У67

ISBN

© В. Петрук, І. Васильківський, В. Іщенко, Р. Петрук 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ПРОМИСЛОВІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ.....	8
1.1 Методи підготовки і переробки відходів.....	8
1.1.1 Подрібнення відходів.....	10
1.1.2 Укрупнення відходів виробництва.....	12
1.1.3 Класифікація та сортування твердих відходів виробництва.....	13
1.1.4 Збагачення відходів способом флотації.....	18
1.1.5 Механічне зневоднення.....	21
1.1.6 Центрифугування.....	23
1.1.7 Магнітні способи сепарації.....	27
1.1.8 Аеросепарація.....	38
1.1.9 Ручне сортування ТПВ.....	49
1.2 Технологічна схема сепарації ТПВ.....	52
1.3 Історія виникнення термічної переробка ТПВ.....	57
1.3.1 Оцінка потенційно небезпечних інгредієнтів, що впливають на газові викиди при термічній переробці ТПВ.....	60
1.3.2 Вибір температури термічного процесу.....	63
1.3.3 Класифікація технологій термічної переробки.....	64
1.4 Технологічні основи переробки полімерних відходів.....	69
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ВІДХОДІВ.....	76
2.1 Подрібнювачі без подрібнюючих тіл.....	77
2.2 Струйні подрібнювачі.....	78
2.3 Кавітаційні колоїдні подрібнювачі.....	79
2.4 Ємнісні кавітаційні змішувачі.....	80
2.5 Динамічні проточно-кавітаційні змішувачі.....	81
2.6 Статичні проточно-кавітаційні змішувачі.....	86
2.7 Гідромеханічні пристрої для розмелу волокнистих матеріалів.....	91
2.8 Подрібнювачі з подрібнюючими тілами.....	92
2.8.1 Подрібнювачі з вільними подрібнюючими тілами.....	93
2.8.2 Барабанні гравітаційні оберткові подрібнювачі.....	93
2.8.3 Подрібнювачі барабанні з високим прискоренням.....	95
2.8.4 Подрібнювачі з закріпленими подрібнюючими тілами.....	98
2.8.5 Середньоходові подрібнювачі.....	115
2.8.6 Криогенне подрібнення ТПВ.....	139
3 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОДРІБНЮВАЧІВ.....	142
3.1 Подрібнювач шоковий.....	142
3.2 Конусний подрібнювач.....	143
3.3 Роторний подрібнювач.....	144
3.4 Барабанний млин.....	144

3.5 Кульовий кільцевий подрібнювач.....	145
3.6 Валковий подрібнювач.....	145
3.7 Черв'ячні подрібнювачі.....	149
3.8 Молоткові подрібнювачі.....	151
3.9 Голкофрезові подрібнювачі.....	152
3.10 Рекомендації по вибору подрібнювального обладнання	156
4 ПРОМИСЛОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУ- ТОВИХ ВІДХОДІВ.....	159
4.1 Характеристика процесів поховання ТПВ на полігонах.....	159
4.2 Порівняльний аналіз термічних методів переробки ТПВ.....	165
4.3 Спалювання спеціально підготовлених ТПВ.....	172
4.4 Піролиз ТПВ.....	174
4.5 Природоохоронні заходи на ССЗ.....	181
4.6 Переробка твердих побутових відходів компостуванням.....	190
4.6.1 Аеробне компостування твердих побутових відходів у проми- слових умовах.....	191
4.6.2 Анаеробне компостування твердих побутових відходів.....	205
4.6.3 Переробка відходів як засіб захисту навколишнього середо- вища.....	206
4.6.4 Компостування відходів.....	208
4.6.5 Біорозкладання органічних відходів.....	209
4.6.6 Використання відходів у якості вторинних матеріальних ресу- рсів.....	217
4.7 Роль маловідходних технологій у процесі обігу відходів.....	218
ЛІТЕРАТУРА.....	227
ГЛОСАРІЙ.....	229

ВСТУП

Створена в Україні структура промислового виробництва характеризується високою питомою вагою ресурсо- та енергоємних технологій. Значні масштаби ресурсокористування та енергетично-сировинної спеціалізації економіки України спричинили високі обсяги щорічного утворення та нагромадження відходів виробництва і споживання.

Щорічно в Україні утворюється близько 1 млрд. тонн відходів виробництва та споживання, з яких приблизно 10-15% застосовуються як вторинні матеріальні ресурси, решта потрапляє у сховища, шламонакопичувачі, терикони. Відходи займають площу близько 160 тис. гектарів, а загальний їх обсяг досяг 25 млрд. тонн. Вони є одним з найбільш вагомих факторів забруднення довкілля і негативного впливу фактично на всі його компоненти. Інфільтрація сховищ, горіння териконів, пилоутворення, інші фактори, що зумовлюють міграцію токсичних речовин, призводять до забруднення підземних та поверхневих вод, погіршення стану атмосферного повітря, земельних ресурсів тощо.

Витрати на складування і захоронення відходів становлять майже 20% вартості продукції.

Така ситуація призводить до поступового руйнування науково-технічного потенціалу України у сфері поводження з відходами, невикористання численних розробок технологій, устаткування та обладнання, накопиченого досвіду утилізації відходів вугільної, паливно-енергетичної, металургійної, хімічної, інших галузей промисловості, а також вторинної сировини (макулатура, ганчір'я, склобій, полімерні відходи тощо), тоді як відходи виробництва і споживання можуть відігравати значну роль у забезпеченні промисловості сировиною, замінюючи первинні ресурси (рудні концентрати, природні нерудні матеріали, паливо, деревину тощо).

Тверді побутові відходи (ТПВ) містять речовини і матеріали, які могли б використовуватися в якості вторинної сировини в різних виробництвах. Однак, використання таких матеріалів в Україні обмежене.

В одній тільки Вінницькій області полігони ТПВ займають площу понад 150 гектарів, кількість відходів на яких, щорічно зростає в середньому на 450 тис. т.

Відходи споживання є полідисперсними різнофракційними продуктами з різним ступенем біологічного розкладання. Значна частина відходів споживання розміщується на полігонах, які в більшості випадків, не відповідають санітарним і екологічним вимогам. При їх розкладанні утворюються шкідливі речовини, які, потрапляючи в атмосферне повітря, поверхневі води, ґрунти розсіюються і забруднюють значні об'єми навколишнього середовища. Крім того, звалища ТПВ є розсадниками патогенних мікроорганізмів, комах, шкідливих гризунів і птахів. Місця складування ТПВ

здатні самозайматися за рахунок окисно-відновних процесів, які відбуваються в масі відходів.

В період економічних перетворень пішла в минуле планова система збору вторинної сировини. В даний час переробка ТПВ і використання з них ресурсоцінних речовин є привабливою областю господарської діяльності, яка при вмілій організації може приносити прибуток. З погіршенням економічної ситуації в Україні частка органічної речовини в ТПВ зменшується, але все більше зростає частка паперу, скла, пластмас, металів та інших компонентів, від чого вартість відходів зростає, що сприяє виникненню й розвитку підприємницьких структур, які займаються збором вторинних ресурсів. Роботу суб'єктів підприємницької діяльності в області збору кольорових і чорних металів доводиться навіть регулювати спеціальними урядовими постановами.

Полігони ТПВ в Україні здебільшого виробили свої ресурси по об'ємах нагромадження відходів, а окремі перевищили розрахункові показники в кілька раз (приклад: Стадницький полігон ТПВ в м.Вінниця). Будівництво сучасних, екологічно безпечних полігонів для поховання ТПВ є недоцільним через значну вартість подібних робіт. Сучасна світова практика передбачає заміну накопичення ТПВ на полігонах повною їх переробкою.

Основними технологіями з переробки ТПВ у світовій практиці є: поховання, термічна обробка (в основному, спалювання), біотехнічні методи з одержанням газу, добрив, палива.

Для практичного виконання вимог законодавства України про відходи, та вирішення екологічних проблем із переробкою і утилізацією ТПВ необхідно досягнути виконання наступних заходів:

- організація роздільного збору ресурсоцінних матеріалів;
- стимулювання суб'єктів господарської діяльності, що здійснюють роботи в сфері поводження з відходами;
- ліквідація стихійних сміттєзвалищ;
- контроль за використанням відходів;
- впровадження сучасних екологічно чистих технологій з переробки і утилізації ТПВ;
- навчання й виховання населення щодо збору вторинних матеріальних ресурсів.

Нестача висококваліфікованих фахівців у сфері поводження з ТПВ, готових до розробки і впровадження нових методів переробки ТПВ є однією із головних причин виникнення екологічних проблем в системі управління муніципальними відходами, особливо на регіональному рівні.

Даний навчальний посібник присвячений сучасним технологіям збирання, переробки, утилізації та повторного використання твердих побутових відходів.

В посібнику розглянуті методи підготовки відходів до переробки, дана характеристика технологічного обладнання та проаналізовано промислові технології переробки та утилізації твердих побутових відходів.

Сформульовані науково-обґрунтовані рекомендації щодо ефективного розв'язання проблеми використання ТПВ в Україні: збільшення об'ємів переробки та утилізації відходів, зменшення їх негативного впливу на довкілля, розроблення та впровадження ресурсозберігаючих технологій, удосконалення всієї системи поводження з відходами, що значно поліпшить екологічну ситуацію та умови життя людей.

Навчальний посібник розрахований на студентів екологічних спеціальностей та теплоенергетичних спеціальностей, спеціалістів житлово-комунального господарства, інженерів-теплоенергетиків працюючих в комунальній сфері, фахівців управління охорони навколишнього природного середовища, екологічної інспекції та спеціалістів науково-дослідних організацій.

Наведені у навчальному посібнику фактичні, таблиці, рисунки та формули дають можливість майбутнім фахівцям добре організувати свою діяльність із урахуванням розуміння і логічного осмислення технологічних основ промислової переробки ТПВ в Україні. При написанні навчального посібника авторами були враховані побажання студентів ВНТУ при вивченні дисципліни «Управління та поводження з відходами».

Автори будуть вдячні за висловлені критичні зауваження і рекомендації, з метою подальшого розвитку техніко-технологічних основ сучасних методів переробки відходів споживання і поглибленого вивчення технологічних аспектів розв'язку актуальної проблеми утилізації муніципальних відходів, для всіх регіонів України.

Автори висловлюють особливу подяку за рецензування рукопису і критичні зауваження по покращенню навчального посібника доктору технічних наук, професору кафедри хімії Д. І. Крикливому і доктору біологічних наук, професору, завідувачу кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського та доктору хімічних наук, професору А. П. Ранському завідувачу кафедри хімії та безпеки життєдіяльності Вінницького національного технічного університету.

Матеріали навчального посібника підготовлені авторами відповідно розділам: В.Г. Петрук (вступ, розд. 1), І.В.Васильківський (розд. 4), В.А.Іщенко (розд. 3, глосарій), Р.В.Петрук (розд. 2).

1 ПРОМИСЛОВІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

До теперішнього часу розроблено достатню кількість способів переробки відходів.

Збір і транспортування ТПВ - вельми дорогі операції. Вартість безпосереднього збору та транспортування ТПВ становить у даний час до 80% загальної вартості утилізації їх на полігоні.

Промислова переробка ТПВ дозволяє звести до мінімуму транспортні та інші витрати. Переробка відходів в цілому повинна вирішуватися з метою отримання максимального прибутку для компенсації капітальних вкладень в промислову їх переробку. Слід також мати на увазі, що при сортуванні ТПВ і подальшій переробці їх у вторинну сировину значно скорочується кількість відходів, що підлягають спалюванню або вивезенню на полігони для поховання.

Технологічні рішення, промислові методи та обладнання для підготовки та переробки муніципальних відходів дозволяють для кожного конкретного міста, регіону, мегаполісу, з урахуванням його умов і потреб, підібрати найбільш ефективне в еколого-економічному аспекті індивідуальне комплексне вирішення проблеми поводження з ТПВ [1-3].

Технологічно правильно вибрані методи підготовки і переробки відходів економічно рентабельні і екологічно виправдані.

1.1 Методи підготовки відходів

Принципові методи переробки відходів виробництва реалізуються з використанням різних технологій (рис 1.1).

Промислову переробку слід розглядати як кінцеву операцію в загальній схемі управління ТПВ.

Для утилізації та знешкодження промислових відходів найбільш поширеними є наступні методи підготовки і переробки відходів:

- подрібнення;
- укрупнення;
- класифікація і сортування;
- збагачення;
- термообробка;
- вилуговування;
- зневоднення.

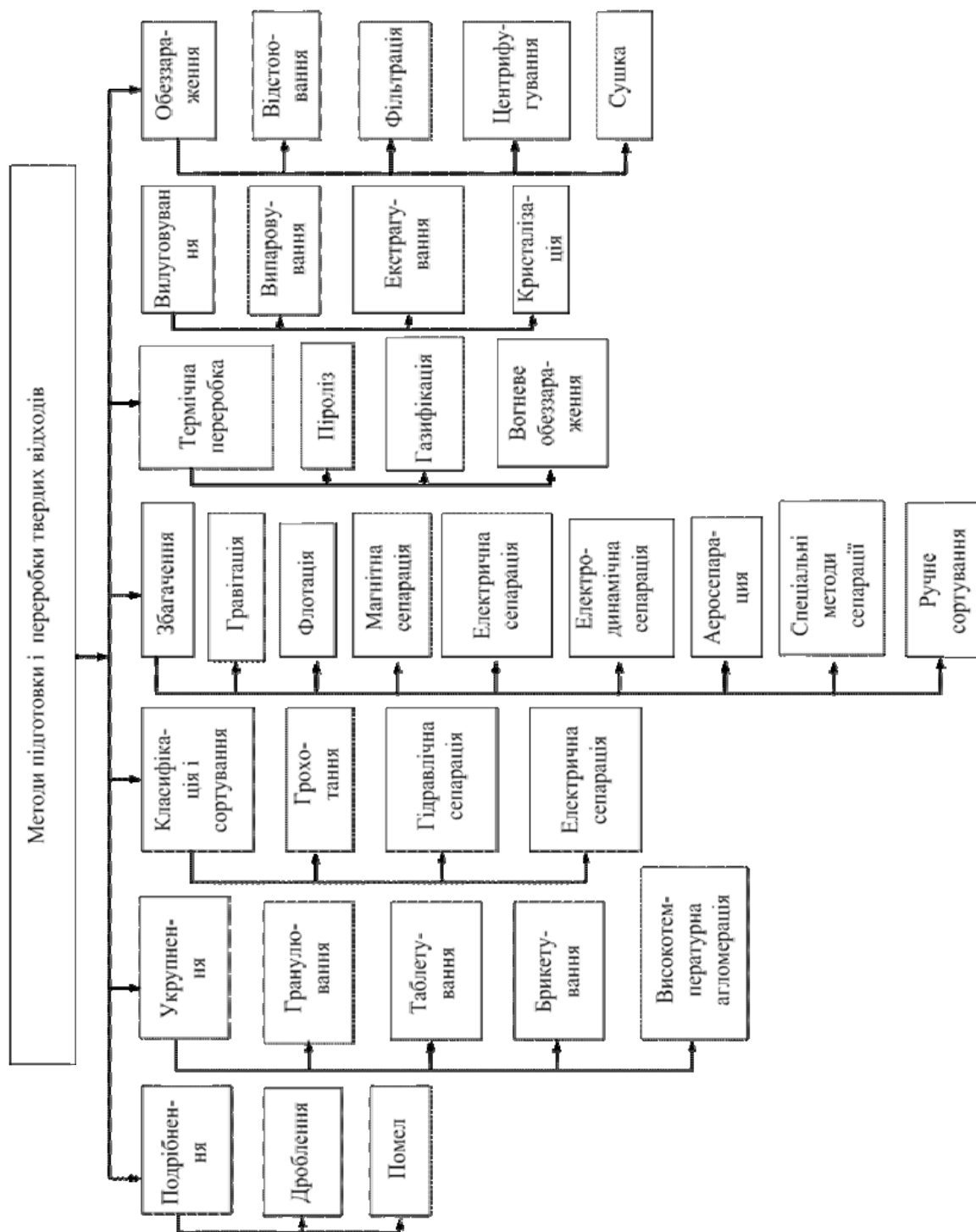


Рисунок 1.1 – Методи підготовки і переробки твердих відходів

1.1.1 Подрібнення відходів

Подрібнення відходів - процес зменшення розмірів шматків матеріалу шляхом руйнування їх під дією зовнішніх сил.

Подрібнення є однією з допоміжних операцій, що застосовуються при переробці відходів.

Доцільність включення операцій подрібнення в технологічні схеми переробки ТПВ визначається, в основному, вимогами до крупності матеріалу відповідних переділів переробки - збагачувального, термічного, біотермічного та інших переділів.

Тверді відходи - як органічні, так і неорганічні - можна подрібнювати до потрібного розміру роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, розстиранням і різними комбінаціями цих способів.

Зменшення розмірів шматків твердих матеріалів побутових відходів досягається методом дроблення або подрібнення. Процес подрібнення дрібних шматків називається розмолотом (помолом).

Дроблення широко використовують при переробці відходів розкриву, металургійних шлаків, гумотехнічних виробів, що вийшли з ужитку, та інших відходів. Для дроблення використовують щокові, конусні, валкові, роторні дробарки різних типів. Розмір шматків до дроблення може становити від 1000 до 20 мм, після дроблення 250-1 мм.

Помол матеріалів крупністю 1-5 мм здійснюють мокрим і сухим способами за допомогою млинів різного типу. Помол застосовують при переробці паливних та металургійних шлаків, відходів вуглезбагачення, деяких виробничих шлаків і ін.

Подрібнення прийнято називати крупним, якщо обробляються шматки відходів з поперечним розміром від 1000 до 200 мм, середнім і проміжним - в межах від 250 до 50 мм, дрібним - в межах від 50 до 20 мм і тонким (помолом) - в межах від 20 до 3 мм, а в окремих випадках від 0,1 до 0,001 мм.

При дробленні і помолі витрачається багато механічної енергії, тому важливо правильно вибрати спосіб подрібнення.

Одним з показників, що характеризують процес дроблення, є ступінь дроблення (подрібнення), під якою розуміють відношення розмірів максимальних шматків D до дроблення до розміру максимальних шматків d після дроблення (подрібнення):

$$i = \frac{D}{d}. \quad (1.1)$$

Загальна ступінь подрібнення дорівнює добутку ступенів подрібнення, виконаного в кілька прийомів:

$$i_{\text{заг.}} = i_1 \times i_2 \times i_3 \dots i_n. \quad (1.2)$$

Ступінь подрібнення шматкових відходів за один прийом обробки становить:

крупних і великої твердості	2-6;
середніх	5-10;
дрібних	10-50;
найдрібніших	50 і вище.

Для крупного дроблення, в основному, застосовують дробарки двох типів - щоківі і конусні. Щоківі дробарки застосовуються тільки для дроблення бетонних і залізобетонних відходів (утворюються, наприклад, при знесенні старих будівель).

В щоківій дробарці (рис. 1.2) подрібнення здійснюється шляхом роздавлювання дробильних шматків між вертикальною нерухомою і похилою рухомою площинами (щоками).

Важливою характеристикою щоківі дробарки є величина кута φ між щокими, що називається кутом захоплення (рис. 1.3).

Якщо цей кут дуже великий, то шматки матеріалу відходів можуть виштовхуватися із зіву дробарки, якщо ж він дуже малий, то ступінь подрібнення буде незначною.

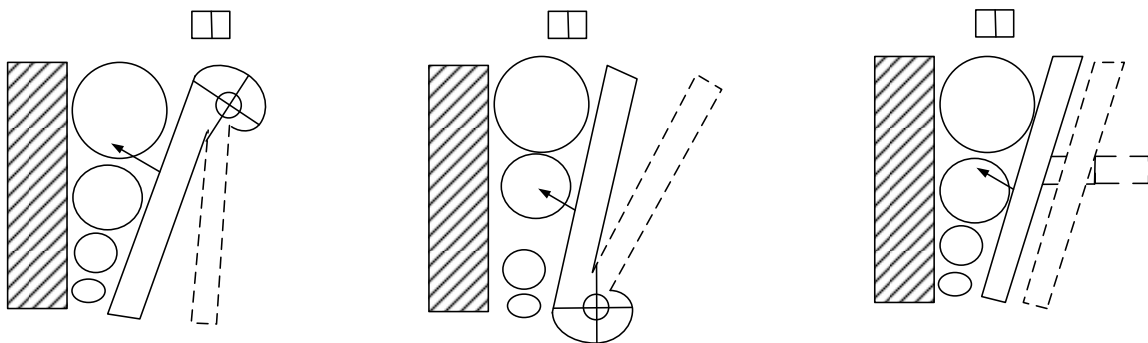


Рисунок 1.2 – Схеми руху щік дробарки

Для того щоб кусковий матеріал відходів не виштовхувався із зіву дробарки, необхідно, щоб кут захоплення φ був менше або в межах не перевищував подвоєного кута тертя ($2p$). Кут тертя в середньому дорівнює 17° . Практично кут захоплення приймають в межах $17-25^\circ$ ($17 \leq \varphi \leq 2p$).

Подрібнення полімерних плівкових відходів і відходів тари та упаковки з поліетилентерефталату (ПЕТ-пляшка) здійснюють в мийно-різальних установках або подрібнювачах (дробарках) роторного типу [2-6].

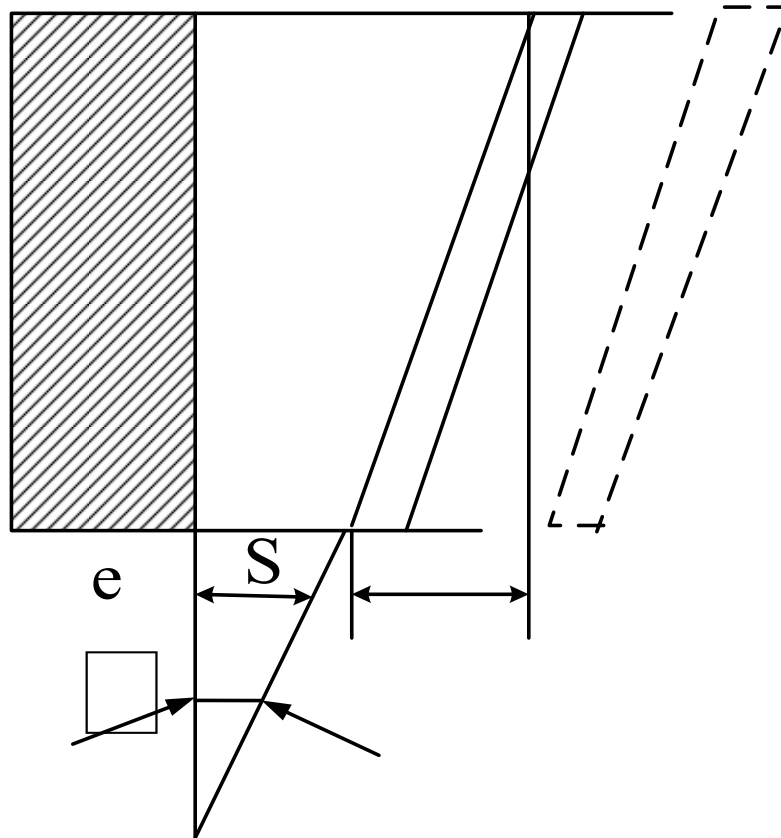


Рисунок 1.3 – Кут захоплення щокової дробарки

1.1.2 Укрупнення відходів виробництва

Укрупнення відходів виробництва використовують при підготовці до переплаву дисперсних відходів чорних і кольорових металів, при утилізації пластмас, саж, пилу, піритних недогарків, при переробці в будівельні матеріали відходів збагачення та ін. Укрупнення розмірів дрібнодисперсних матеріалів здійснюють методами гранулювання, таблетування, брикетування, високотемпературної агломерації.

Гранулювання здійснюють обкатуванням і пресуванням в грануляторах різних конструкцій. Продуктивність цих апаратів і характеристики грануляторів залежать від властивостей вихідних матеріалів, сполучних, конструктивних факторів, що застосовуються.

Таблетування відходів здійснюють за допомогою таблеткових машин різних типів, принцип дії яких заснований на пресуванні дозованих матеріалів у матричні канали. Таблетки випускають у вигляді циліндрів, сфер, дисків, кілець і т.п.

Брикетування застосовують з метою додання відходам компактності, зменшення їх об'єму, поліпшення умов транспортування, зберігання. Брикетування здійснюють за допомогою пресів різних конструкцій. Наприклад, брикетування деревних відходів підвищує температуру згоряння тирси і

стружок. Щільні брикети можна використовувати як тверде паливо. Пресування металевої стружки призводить до зниження втрат металу на угар.

Високотемпературну *агломерацію* здійснюють за допомогою агломераційних машин і використовують при укрупненні дисперсних залізовмісних відходів: окалини, пилу, шламів, піритних недогарків.

Укрупнення подрібнених полімерних відходів з метою збільшення насипної щільності (кг/м^3) здійснюється в спеціальних установках - агломераторах. Агломеровані подрібнені полімерні відходи досягають насипної щільності від 1000 кг/м^3 до 450 кг/м^3 , що значно полегшує роботу черв'ячного преса-екструдера гранулятора, що в кінцевому результаті дає можливість отримувати гранульовану вторинну полімерну сировину з насипною щільністю до 850 кг/м^3 [5-9].

1.1.3 Класифікація та сортування твердих відходів виробництва

Класифікацію і сортування по фракціях здійснюють просіюванням і грохоченням шляхом використання різних конструкцій сит, ґрат, грохотів; гідравлічної і повітряної сепарації за допомогою гідроциклонів, спіральних класифікаторів.

Для поділу подрібнених твердих тіл на фракції з зернами приблизно однакової величини застосовують грохочення або ситову класифікацію.

Процес грохочення може мати самостійне значення - для приготування готових продуктів певних сортів, або ж може бути допоміжним, наприклад, при підготовці матеріалу для будь-яких подальших операцій. У першому випадку грохочення називають сортуванням, а в другому - класифікацією.

Грохочення здійснюють за допомогою сит або грохотів - апаратів, головною частиною яких є плоскі циліндричні або конічні сита. При грохоченні дрібні шматки, розміри яких менше розмірів отворів сита, проходять через останні, а крупні шматки залишаються на ситі і таким чином відокремлюються від дрібних.

При залученні ТПВ в промислову переробку в якості техногенної сировини, за аналогією з комплексною переробкою багатокomпонентних природних сировинних матеріалів (руд, гірничо-хімічної сировини, вугілля тощо), особливу роль грають збагачувальні процеси як підготовчі операції, що дозволяють виділити ті чи інші цінні компоненти для вторинного використання, видалити небезпечні компоненти й оптимізувати склад відходів для наступних етапів переробки.

Сепарація ТПВ, аналогічно збагаченню інших сировинних матеріалів (зокрема, корисних копалин), являє собою сукупність процесів первинної обробки сировини з метою отримання ряду цінних компонентів, видалення небезпечних і баластних компонентів, виділення фракцій відходів, оптимальних за складом для переробки тим чи іншим методом.

На відміну від збагачення корисних копалин, завжди пов'язаного із забрудненням навколишнього середовища, сепарація ТПВ як техногенної сировини має пряме природоохоронне значення, оскільки вихід хвостів сепарації завжди менше кількості вихідної сировини, а склад відходів для наступних переділів переробки оптимізується з точки зору гомогенізації, здатності до горіння, зниження вмісту небезпечних і баластних компонентів тощо, що підвищує екологічну безпеку промислової переробки муніципальних відходів.

Сепарація ТПВ, їх збагачення є ефективною операцією перед термо- та біообробкою відходів. Так, за опублікованими даними, попереднє сортування ТПВ, видалення металевих компонентів, відпрацьованих електро-батареек і акумуляторів, деяких видів синтетичних матеріалів зменшує при спалюванні викиди ртуті і миш'яку на 70-75%, свинцю - на 40%, при цьому ефективність спалювання та ферментації ТПВ підвищується, а склад продуктів і відходів переробки поліпшується.

Принципово можливі три взаємодоповнюючі один одного напрями сепарації ТПВ:

- селективний покомпонентний збір відходів у населення в місцях утворення з наступним доведенням продуктів на спеціальних сортувальних установках (переважно методами ручного сортування; для вилучення металів іноді застосовується механізована сепарація);

- селективний пофракційний збір у місцях утворення так званих комерційних відходів (відходів ринків, магазинів, установ, шкіл тощо), з подальшим вилученням з них цінних компонентів комбінованими методами ручного та механізованого сортування (на спеціальних об'єктах);

- сортування в заводських умовах комплексної переробки ТПВ (переважно механізоване, оскільки ручне сортування відходів житлового фонду на стрічці тихохідного конвеєра малоефективне; в ряді випадків технологічна схема може включати елементи ручного сортування крупнокускової фракції ТПВ).

Технічно найбільш складною є операція грохочення твердих матеріалів - процес поділу ТПВ на класи по крупності.

Грохочення відрізняється широким розповсюдженням і унікальністю, воно може бути застосоване до всіх без винятку твердих матеріалів.

При переробці твердих відходів найбільш часто застосовуються грохоти двох типів - барабанні та вібраційні; рідше застосовуються колосникові грохоти.

Барабанний грохот - найбільш поширений апарат, який використовується в технологіях сепарації ТПВ. Вельми часто застосовують барабанні грохоти для промивання глинистих руд, для сортування піску, гравію та щебеню, а також при збагаченні азбестових, графітових та деяких інших руд [7-11].

Барабанні грохоти мають просіюючу поверхню циліндричної, рідше - багатогранної форми.

Встановлюється барабанний гуркіт на опорні катки під невеликим кутом до горизонту (зазвичай 5-7 °).

Матеріал завантажується всередину обертового барабана і потрапляє на просіюючу поверхню (рис. 1.4), шматки матеріалу під дією сил тертя захоплюються внутрішньою поверхнею обертового барабана і піднімаються на висоту H над нижньою твірною. Після того, як поверхня AB займе положення площини природного відкосу, шматки скочуються по цій поверхні і одночасно, за рахунок нахилу барабана, переміщуються по AC , просуваючись вниз до розвантажувального кінця грохоту. Після припинення руху шматки знову підхоплюються барабаном і цикл повторюється. В результаті траєкторія руху шматка являє собою зигзагоподібну лінію $ACA'C'$:

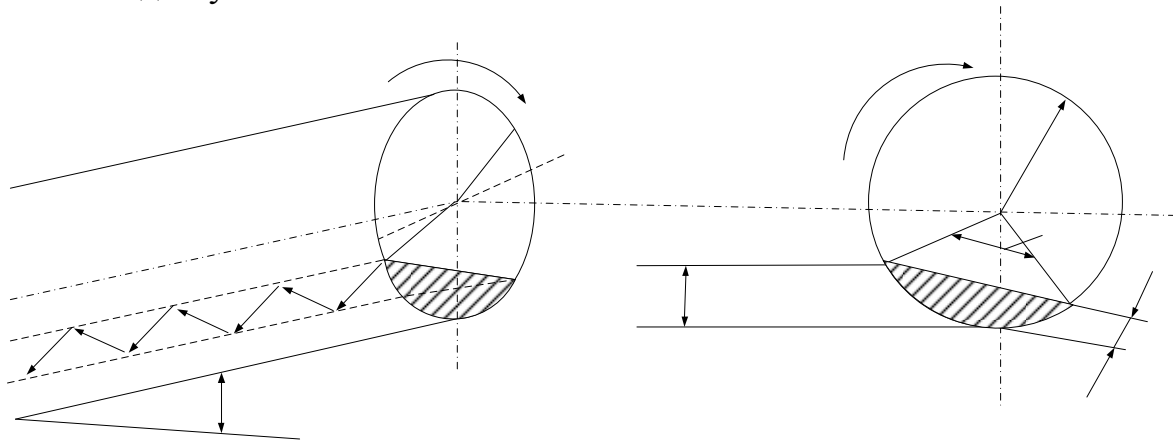


Рисунок 1.4 – Принципова схема процесу грохочення

Просуваючись по внутрішній поверхні барабана, матеріал просіюється на два продукти - підгратний і надгратний. Якщо потрібне отримання кількох фракцій за розмірами, то грати просіювання гуркоту збираються з декількох секцій з отворами різного розміру, що збільшуються до розвантажувального кінця.

Товщина h сегментного шару матеріалу, що знаходиться в барабані грохоту, не повинна перевищувати подвійного розміру максимальних шматків фракцій d_{max} в живленні: $h \leq d_{max}$.

Кут відриву β (найбільший центральний кут, що відповідає сегменту завантаження) не повинен перевищувати 90 ° ($\beta \leq 90$ °).

Виходячи з даних практики, діаметр D барабана при грохоченні ТПВ повинен перевищувати розмір максимального шматка не менше, ніж в 8 разів, при грохоченні руд та природних будівельних матеріалів - не менше, ніж в 14 разів ($D \geq 8-14 d_{max}$).

Оптимальна швидкість обертання барабана складає 30-45% від критичної (практично 10-15 об./хв.)

При незмінній продуктивності ефективність грохочення підвищується при зменшенні шару, що завантажується на просіюючу поверхню грохота матеріалу твердих фракцій ТПВ, або збільшенні діаметра барабана.

Продуктивність грохоту підвищується при збільшенні кута нахилу барабана a , але при цьому знижується ефективність грохочення. Реальна продуктивність барабанних грохотів по вихідним ТПВ складає 20-25 т/год.

В результаті грохочення отримують:

- 1) відсів, що складається з частинок, які пройшли через отвори сита;
- 2) відхід, що складається з частинок, які не пройшли через отвори сита і вийшли з іншого кінця грохоту.

Практично внаслідок недосконалості процесу грохочення не всі частинки, розміри яких менше отворів сита, проходять через отвори і деяка частина їх покидає грохот разом з відходом. Тому кількісно відсів завжди менше просіву.

Процес грохочення буде тим більш досконалим, ніж більше відсів наближається до просіву. Відношення величини відсіву до величини просіву, виражене у відсотках, і є ККД грохоту, що характеризує якість грохочення.

Прийmemo позначення:

G – загальна вага вихідного матеріалу, в кгс;

a – вміст просіву у вихідному матеріалі, в %;

G_1 – вага відсіву, отриманого в результаті грохочення, в кгс.

Тоді ККД грохота можна виразити формулою

$$E = \frac{G_1 \times 100}{\frac{G_a}{100}} \% \quad (1.3)$$

или

$$F = 10000 \frac{G_1}{G_a} \% \quad (1.4)$$

ККД в залежності від типу і конструкції грохоту коливається в межах 60-75 % (гранично 90 %) і обумовлюється низкою чинників. Основними з них є:

- форма і розмір отворів сита;
- форма шматків матеріалу;
- товщина шару матеріалу на грохоті;
- вологість сортованого матеріалу;
- швидкість і характер руху матеріалу на грохоті.

Форма і розмір отворів сита є одним з вирішальних факторів і повинні бути в кожному конкретному випадку підібрані залежно від форми частинок оброблюваного матеріалу. Для просіювання матеріалу з час-

тинками відносно правильної кульової форми застосовують сита з круглими отворами, в інших випадках застосовують сита з довгастими, прямокутними і квадратними отворами.

Шматки кульової форми проходять в отвори сит значно легше, ніж шматки подовженої форми.

Розміри отворів зазвичай вибирають дещо більшими розмірів часток, які повинні бути отримані у відсіві. Наприклад, для частинок розміром від 5 до 25 мм вибирають сита з отворами на 3 мм більше розмірів часток відсіву і т.д.

Якщо грохочення проводять в барабанних грохотах, виготовлених з перфорованих листів, необхідно враховувати, що внаслідок вигину фактичний діаметр отвору сита буде менше номінального.

Товщина шару матеріалу на грохоті позначається на якості грохочення в тому відношенні, що при товстому шарі матеріалу на грохоті дрібні шматки, що знаходяться у верхній частині шару, можуть, не приходячи в зіткнення з ситом, потрапляти у відхід. Тому чим тонше шар матеріалу, тим ефективніше працює грохот.

Грохоти необхідно рівномірно забезпечувати матеріалом. Якщо живлення відбувається нерівномірно і сито періодично завантажується великими порціями сортованого матеріалу, то умови просіювання значно погіршуються.

Вибір швидкості проходження матеріалу через грохот має вирішальне значення. Чим менше швидкість, тим більше часток буде потрапляти в отвори і проходити через них і тим вищою буде ККД грохоту. Тому в кожному конкретному випадку треба вибирати швидкість з урахуванням як ККД грохоту, так і його продуктивності.

Для частинок, що мають форму, близьку до кульової, рекомендовано визначати граничну швидкість пересування матеріалу по грохоту з виразу

$$v \leq \sqrt{\frac{rg}{2}}, \text{ м/с}, \quad (1.5)$$

де r - радіус шматків відсіву в м.

Характер руху і довжина шляху матеріалу на ситі грохоту також грають велику роль. Чим довше шлях, тим вища якість грохочення.

Збільшення довжини шляху матеріалу на грохоті дозволяє вести грохочення з невеликою швидкістю при невеликій товщині шару, що сприяє підвищенню якості грохочення.

Вільне спокійне ковзання матеріалу по поверхні сита сприяє тому, що дрібні частинки матеріалу залишаються у верхніх шарах, не приходячи в зіткнення з отворами сита, і виходять з грохоту разом з відходом. Тому більш вигідно струшувати матеріал на ситі, що й прийнято для більшості сучасних конструкцій грохотів.

З підвищенням *вологості сортованого матеріалу* погіршуються умови просіювання дрібних зерен, так як вони злипаються один з одним, збираються в грудки і тому затримуються на ситі.

Практичне застосування знайшли грохоти двох типорозмірів - КМ-202Б (сепарація ТПВ) і КМ-201А (сепарація компосту), що встановлюються з кутом нахилу α рівним 7° , виробництва фірми МГО «Коммаш» (м. Санкт-Петербург, Росія).

Основні характеристики грохоту для сепарації ТПВ (мм):

діаметр отворів	250;
діаметр барабану	3000;
довжина просіюючої поверхні	6000;
маса	15 т.

Основні характеристики грохоту для сепарації компосту (мм):

діаметр отворів	45-60;
діаметр барабану	2500;
довжина просіюючої поверхні	4000;
маса	20 т.

Конструкції грохотів, на яких здійснюють грохочення, класифікують за різними ознаками наступним чином:

- залежно від способів дії грохоти поділяють на нерухомі і рухомі;
- залежно від форми решітки просіювання грохоти поділяють на плоскі і барабанні;
- в залежності від виду просіюючої решітки розрізняють грохоти колосникові і ґратчасті.

У свою чергу, кожна із зазначених класифікаційних ознак відповідає значному числу різновидів конструкцій грохотів [9-12].

1.1.4 Збагачення відходів способом флотації

Збагачення відходів здійснюється шляхом виділення одного або кількох компонентів із загальної маси багатотоннажних відходів. Найпоширенішими методами підготовки відходів способами збагачення є флотаційні, гравітаційні, магнітної сепарації, електродинамічної сепарації, аеросепарації, спеціальні методи сепарації, ручного сортування та інші технологічні сепарації ТПВ.

Флотаційні способи базуються на різній змочуваності поверхонь частинками води. Тонкоподрібнені відходи обробляють водою, до якої додають флотаційні реагенти, які посилюють відмінність в змочуваності часток рудного мінералу і порожньої породи. В якості реагентів використовують масла, жирні кислоти та їх солі, меркаптани, аміни та ін.

Ефект поділу флотацією залежить від насичення води бульбашками повітря, що прилипають до зерен тих мінералів, які погано змочуються, стаючи більш легкими, вони виносяться на поверхню, відділяючись від до-

бре змочуваних частинок. В залежності від характеру насичення води повітрям розрізняють напірну, барботаажну (пінну), електричну, біологічну та хімічну флотації.

Спосіб збагачення корисних копалин у водному середовищі, базується на властивості частинок одних мінералів прилипати до повітряних бульбашок і переходити з ними в пінний шар (концентрат), інших - залишатися в підвішеному стані у воді («хвости» флотації).

Для збагачення корисних копалин широко застосовується пінна флотація, при якій частинки мінералів у водному середовищі вибірково прилипають до бульбашок повітря і піднімаються в піну, утворюючи концентрат.

Поділ змішаних (побутових) відходів термопластів за видами проводять наступними способами: флотаційним, поділом у важких середовищах, аеросепарацією, електросепарацією, хімічними методами глибокого охолодження. Найбільше поширення отримав метод флотації, який дозволяє розділити суміші таких промислових термопластів як поліетилен (ПЕ), полістирол (ПС), поліпропілен (ПП) і полівінілхлорид (ПВХ). Поділ подрібнених полімерних відходів проводиться у ванних флотаційних (розподільчих). Агрегат для флотаційного розділення полімерних відходів наведено на рис. 1.5.

Методи флотації та поділу є найбільш ефективними і економічно доцільними.

Інші методи розділення промислового застосування не знайшли. Економічно доцільно використовувати змішані відходи без поділу. Змішані відходи згідно з практичними даними досліджень СКТБ «Маш-приборпластик» мають наступний склад: поліетилен високої щільності (ПЕВЩ) - 9,5%, поліетилен низької щільності - 20,2%, поліпропілен (ПП) - 7,4%, полівінілхлорид (ПВХ) - 16,5%, полістирол (ПС) - 18,3%. Метод флотації базується на різниці питомої ваги складових компонентів композитних подрібнених полімерних відходів.

Відповідальною операцією підготовки відходів (особливо якщо вони сильно забруднені) є миття гарячою або холодною водою із застосуванням і без застосування миючих засобів. Пропоновані технології переробки полімерних відходів передбачають мийно-різальні пристрої. Однак при великій забрудненості полімерних відходів (більше 5%) миття є недостатньо ефективним і малопродуктивним. На практиці використовується багатоступінчасте миття, при необхідності із додаванням миючих засобів [10-15].

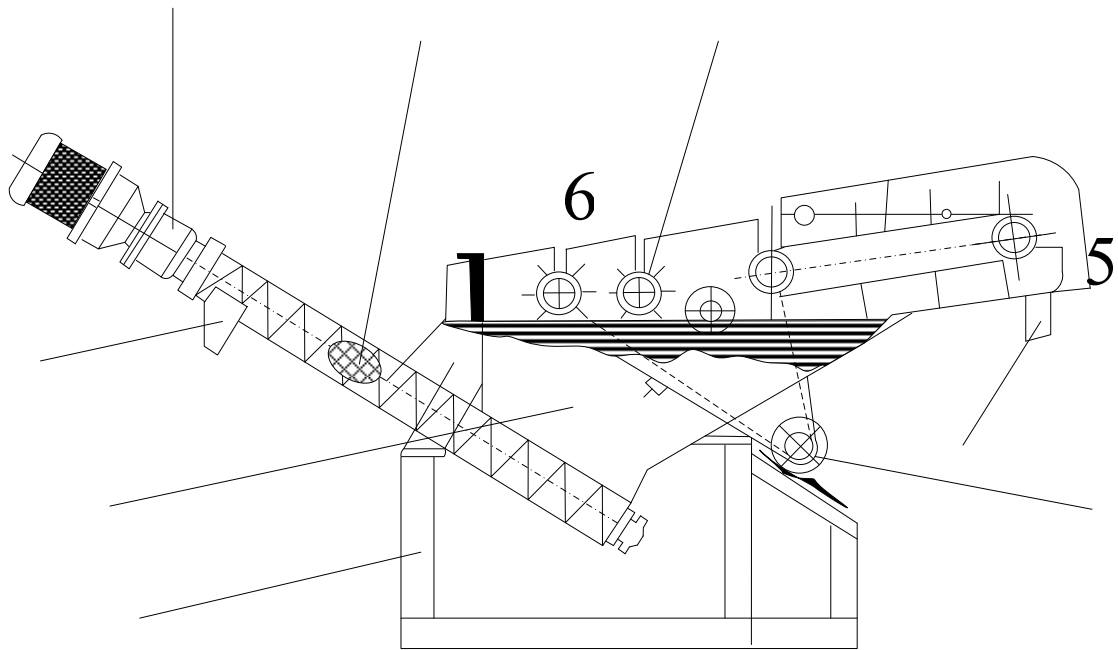


Рисунок 1.5 – Ванна роздільна: 1 - станина, 2 - електродвигун, 3 - ванна поділу фракцій; 4 - лопаті; 5 - транспортер шнековий, 6 - редуктор, 7 – лоток вивантаження важкої фракції; 8 - лоток вивантаження легкої фракції

За кордоном почали випускати установки, в яких є пристрої і для миття, і для сушіння продуктивністю до 350-500 кг/год. В таких установках подрібнені відходи завантажують у ванну, яку заповнюють мийним розчином. Плівка переміщується лопатевою мішалкою, при цьому бруд осідає на дно, а відмита плівка спливає.

Важливою ланкою при підготовці до переробки полімерних відходів є сушка подрібнених полімерів після мийно-ріжучого пристрою та флотації (розділення). Для цього застосовують сушарки різних типів; поличні, камерні, стрічкові і т.д. У більшості випадків зневоднення і сушіння плівки здійснюють на вібростолі і в вихровому сепараторі. Залишкова вологість плівки складає 0,1%.

Ідентифікація відходів передбачає визначення конкретного виду полімеру (зокрема, при розподілі змішаних відходів) і проводиться різними методами (за визначенням щільності, температури плавлення, запаху палаючого матеріалу, кольору полум'я і т.д.).

Для подрібнення кускових відходів використовують роторні ножові подрібнювачі типу ПР продуктивністю від 100 до 1000 кг/год. Плівкові і волокнисті відходи подрібнюють на подрібнювачах типу ІРНП з пристроями для попереднього і остаточного подрібнення матеріалу. В камеру різання подрібнювача при переробці плівкових відходів подається вода.

Продуктивність подрібнювача визначається його конструкцією, кількістю і довжиною ножів, частотою обертання ротора, видом відходів.

Найнижча продуктивність спостерігається при переробці відходів пінопластів, які важко компактно завантажити. Більш висока продуктивність досягається при переробці відходів плівок, волокон, видувних виробів.

Ступінь подрібнення, яка визначається величиною отворів сита, що захищає знизу або з бічної сторони камеру помолу, становить від кількох до 25-30 мм.

Подрібнення - дуже важливий етап підготовки відходів до переробки, так як ступінь подрібнення визначає об'ємну щільність, сипучість і розміри частинок одержуваного продукту. Регулювання ступеня подрібнення дозволяє механізувати процес переробки, підвищити якість матеріалу за рахунок усереднення його технологічних характеристик, скоротити тривалість інших технологічних операцій, спростити конструкцію переробного обладнання.

Перспективним способом подрібнення полімерів є кріогенний, який дає можливість отримувати дрібнодисперсні фракції з полімерних відходів зі ступенем дисперсності від 0,5 до 2 мм.

З поширених методів отримання дрібнодисперсних полімерних матеріалів для подрібнення відходів полімерів найбільш прийнятним є метод механічного подрібнення.

1.1.5 Механічне зневоднення

Механічному зневодненню піддаються осади побутових і промислових стічних вод, гальванічні шлами та інші водонасичені відходи, що утворюються в мокрих технологічних процесах. Часто такі відходи являють собою важкороздільні суспензії. Для поліпшення водовіддачі проводять попередню обробку їх реагентними і безреагентними способами. В якості реагентів використовують вапно, солі заліза, алюмінію. Основними недоліками реагентного способу обробки є висока вартість і дефіцитність реагентів, а також корозійний вплив їх на обладнання.

Безреагентна обробка відходів передбачає заморожування і відтавання, теплову обробку, введення до складу відходів тирси та ін.

При заморожуванні і відтаванні зв'язана вода переходить у вільну і відокремлюється від твердої фази. Теплова обробка полягає в нагріванні відходів до температури 170-200 ° С, при цьому частина органічної речовини розпадається, осад ущільнюється і краще віддає воду.

Основними методами механічного зневоднення відходів є фільтрування, центрифугування і пропуск пульпи через гідроциклон.

При фільтруванні відходів зазвичай використовують вакуум-фільтри і фільтр-преси. Фільтручим середовищем є фільтрувальна тканину і шар осаду, що прилипає до тканини і утворює в процесі фільтрування додатко-

вий фільтруючий шар, який і забезпечує затримання найдрібніших частинок суспензії.

Найбільшого поширення набули барабанні вакуум-фільтри. Крім барабанних застосовуються стрічкові, дискові вакуум-фільтри, а також фільтр-преси, віброфільтри.

Процес фільтрації базується на затриманні твердих зважених частинок простими перегородками, здатними пропускати тільки рідину і затримувати частинки твердої фази. В результаті безпосереднього контакту суспензії з поверхнею пористої перегородки і різного тиску до і після перегородки рідка фаза проходить через її пори і збирається у вигляді звільненого від твердих частинок фільтрату, а тверді частинки затримуються на поверхні перегородки, утворюючи шар осаду, який потім видаляється (рис. 1.6).

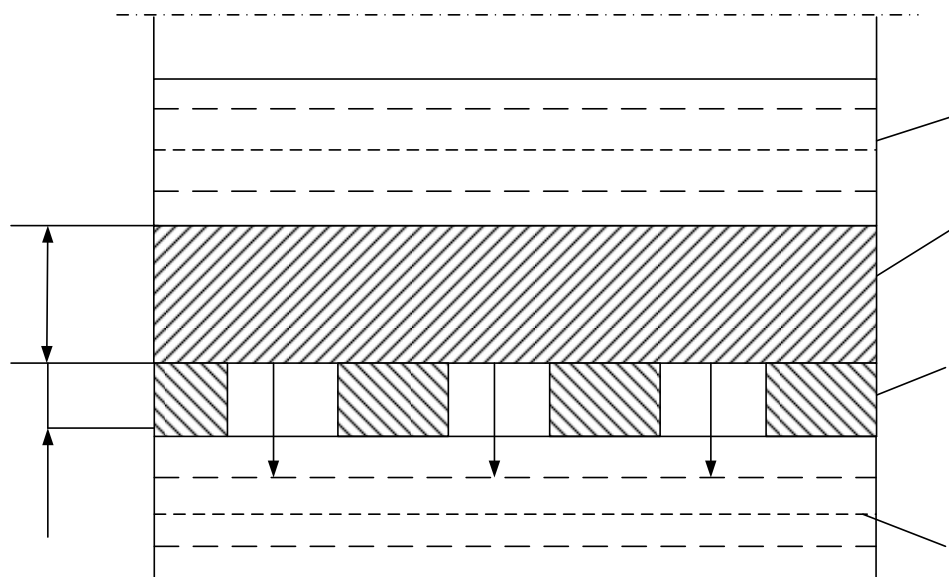


Рисунок 1.6 – Схема процесу фільтрації

Ступінь повноти розділення в значній мірі залежить від тиску, при якому протікає процес фільтрації. Фільтрат виходить більш чистим, якщо фільтрацію починають при низькому тиску, а потім підвищують його в міру збільшення осаду.

У кількісному відношенні продуктивність фільтра характеризується швидкістю фільтрації, тобто кількістю фільтрату, що проходить через 1 м² поверхні фільтруючого перегородки в одиницю часу.

Швидкість фільтрації може бути виражена рівнянням

$$C = \frac{dV}{F_0 \cdot \tau}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad (1.6)$$

де V – об'єм фільтрату в м³;

F_0 - поверхня фільтрації в м²;

τ - тривалість процесу фільтрації в секундах.

Дослідним шляхом було встановлено, що швидкість фільтрації пропорційна деякій мірі тиску, що можна розглядати як наслідок стискання каналів осаду під впливом підвищеного тиску.

Пізнішими дослідженнями було підтверджено, що протягом усього часу фільтрації, для будь-яких фільтрованих матеріалів, витрата фільтрату пропорційна величині тиску у першому ступені. Разом з тим, при фільтрації рух рідини через пори осаду настільки ускладнюється побічними факторами, що зазначена пропорційність може безпосередньо і не виявитися. Такими побічними факторами є, в першу чергу, стискуваність і неоднорідність осадів [13-17].

1.1.6 Центрифугування

Розділення рідких, неоднорідних сумішей ефективно проводиться методом центрифугування, оснований на використанні відцентрової сили.

Метод центрифугування широко використовується в різних областях техніки: число типів і конструкцій центрифуг дуже велике.

Центрифугування забезпечує високу ступінь зневоднення пульпи, осаду рідких стоків. Промисловість випускає різні типи центрифуг, що застосовуються для різних відходів.

Для згущення і зневоднення опадів на очисних спорудах середніх і малих підприємств набули поширення гідроциклони, які застосовуються, як правило, в комбінації з бункерами-ущільнювачами.

При центрифугуванні на рідину неоднорідною суміші, пульпи або осаду рідких стоків діють дві сили: сила тяжіння G і відцентрова сила C , внаслідок чого вільна поверхня рідкої суміші приймає форму параболоїда обертання (рис. 1.7). Умова рівноваги рідини полягає в тому, що вільна поверхня її в будь-якій точці повинна бути нормальна до напрямку рівнодіючої R .

Продовживши напрям рівнодіючої сили R до перетину з віссю барабана в точці O і напрям відцентрової сили C до перетину з віссю в точці M , отримаємо трикутник KOM .

Вільна поверхня, обмежена кривою FDE , характеризується постійністю відрізка OM для всіх точок, що лежать на ній. Це положення впливає з подібності трикутників KGR і OMK :

$$\frac{\overline{OM}}{\overline{MK}} = \frac{\overline{G}}{\overline{C}}. \quad (1.7)$$

Відрізок MK являє собою радіус обертання g даної точки, звідки випливає, що

$$\overline{OM} = \frac{G}{C} r, \quad (1.8)$$

але

$$C = \frac{Gm^2}{900}, \quad (1.9)$$

звідки

$$\overline{OM} = \frac{Gr}{Gr^2/900} = \frac{900}{n^2}, \quad (1.10)$$

тобто при даному числі оборотів відрізок OM є величина постійна.

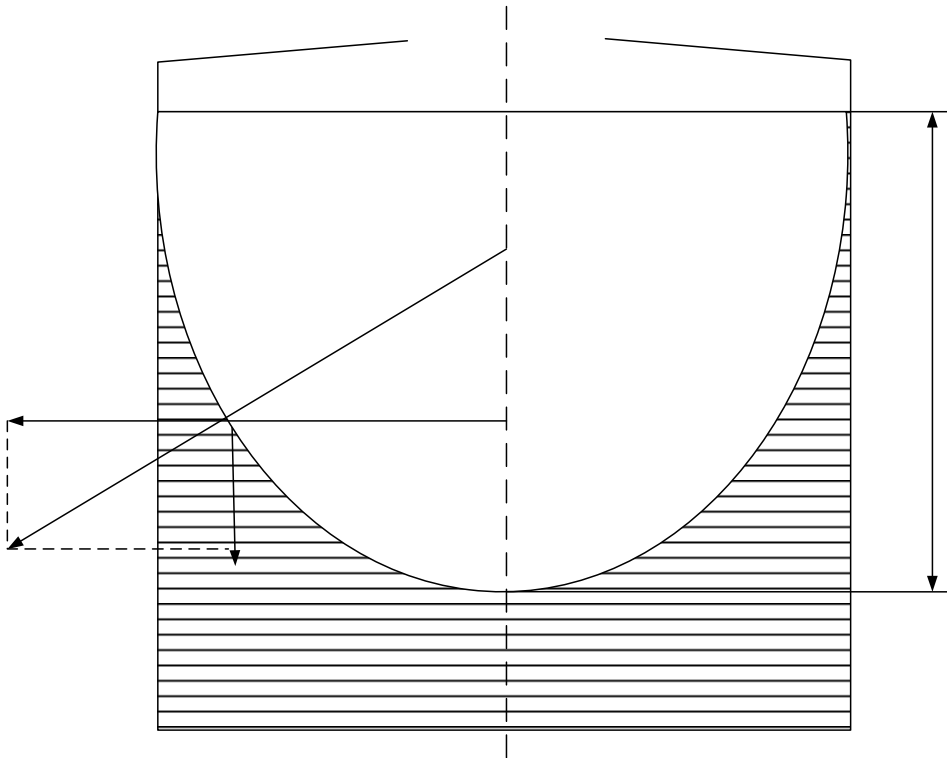


Рисунок 1.7 – Визначення розташування поверхні рідини в барабані центрифуги

Така сталість величини OM характерна для параболи, рівняння якої має вигляд

$$y = 2px, \quad (1.11)$$

де p і є постійна величина \overline{OM} .

Центрифугування можна проводити за принципом відстоювання (в суцільних барабанах) або за принципом фільтрації (в дірчастих барабанах). По своїй фізичній суті обидва процеси відрізняються один від одного. Крім

того, є окремі різновиди кожного з цих процесів, які визначаються вмістом твердої фази і ступенем її дисперсності, а також фізичними властивостями суспензії.

Центрифугування у відстійних барабанах здійснюють як для очищення рідин від забруднень, що містяться в невеликих кількостях (освітлення рідин), так і для розділення суспензій, що містять значну кількість твердої фази (відстійне центрифугування).

Центрифугування у відстійних барабанах в загальному випадку складається з двох фізичних процесів: осадження твердої фази (процес проходить за законами гідродинаміки) і ущільнення осаду; до останнього процесу застосовні основні закономірності механіки ґрунтів (дисперсних середовищ).

До деякої межі концентрації твердої фази (рівної орієнтовно 3-4% за об'ємом) її осадження у відстійному барабані протікає без утворення поверхні розділу між твердим речовиною і рідиною. При підвищенні концентрації така поверхня утворюється внаслідок укрупнення і осадження твердих частинок, що знаходяться в рідині.

Процес центрифугування в відстійних барабанах принципово відрізняється від процесу поділу у відстійниках. В останніх швидкість осадження практично можна вважати постійною, оскільки процес відбувається в полі тяжіння, прискорення якого не залежить від координат падаючої частинки.

Ще більш складним є процес центрифугування в фільтруючих барабанах. Процес протікає в три стадії: утворення осаду, ущільнення осаду і, нарешті, видалення з пор осаду рідини, що утримується капілярними і молекулярними силами.

Внаслідок цього весь процес відцентрової фільтрації не може бути ототожнений з звичайною фільтрацією, яка відбувається під дією сил тяжіння. Лише перший його період принципово близький до звичайної фільтрації і відрізняється від неї тільки величиною гідравлічного напору рідини, що протікає через шар осаду під дією відцентрових сил. В цей період волога в осаді знаходиться у вільній формі і видаляється з нього найбільш інтенсивно. Другий період аналогічний відповідному періоду при відстійному центрифугуванні і, нарешті, третій характеризується проникненням повітря в ущільнений осад, тобто механічним сушінням осаду.

Швидкість видалення вологи зменшується від першого періоду до третього, причому частина вологи, що утримується молекулярними силами, видалити не вдається. Очевидно, що другий і третій періоди центрифугування протікають по законам, абсолютно відмінним від фільтрації.

Тривалість зазначених вище періодів залежить від фізичних властивостей і концентрації суспензій, а також від характеристики центрифуги. Перший період характерний для центрифугування розбавлених суспензій при тривалому підводі їх у барабан; цей період практично відсутній або

дуже нетривалий при центрифугуванні багатьох концентрованих суспензій.

Складність і різноманіття процесів центрифугування ускладнює розробку теорії процесу (особливо його кінетики) і точних методів розрахунку центрифуг.

Зазвичай продуктивність центрифуг виражають об'ємом суспензії, що поступає в центрифугу в одиницю часу (л/год), або вагою осаду, що виходить після центрифугування (кгс/год).

Продуктивність центрифуги будь-якого типу залежить від швидкості процесу поділу, яка визначається, перш за все, режимом процесу. Тому розглянемо окремо продуктивність відстійних центрифуг і фільтруючих. В обох випадках будемо вважати, що практично в центрифугу завантажуються матеріал обсягом 50 % від повного обсягу центрифуги.

Позначимо (див. рис. 1.8):

R – внутрішній радіус барабану центрифуги в м;

r – внутрішній радіус шару матеріалу у центрифугу в м;

h – висота барабану центрифуги в м;

V_6 – повний об'єм барабану центрифуги в м^3 ;

V_m – об'єм матеріалу у центрифугу в м^3 .

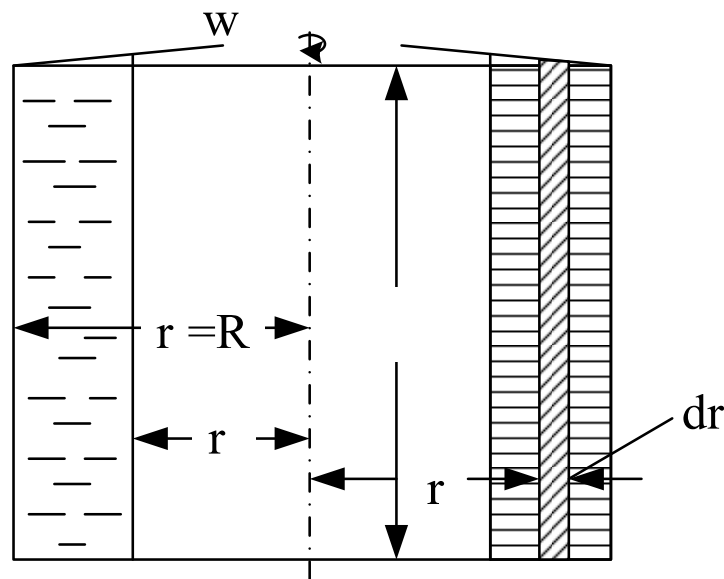


Рисунок 1.8 – Визначення продуктивності центрифуги

Тоді, очевидно

$$V_6 = \pi \cdot R^2 h, \text{м}^3, \quad (1.12)$$

$$V_m = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot h, \text{м}^3. \quad (1.13)$$

Виходячи з умови, що $V_m = 0,5 V_6$, маємо

$$0,5\pi \cdot R^2 h = \pi \cdot (R^2 - r_1^2) \cdot h \quad (1.14)$$

і, отже

$$r_1 = 0,71R. \quad (1.15)$$

Швидкість осадження твердих частинок в центрифугі змінюється за тими ж закономірностями, що і швидкість осадження пилу в циклонах, і обчислюється в залежності від режиму осадження. При визначенні продуктивності центрифуг періодичної дії необхідно враховувати витрати часу на пуск, гальмування і розвантаження центрифуги.

1.1.7 Магнітні способи сепарації

Магнітні способи збагачення оснований на поділі матеріалів за магнітними властивостями. Їх застосовують в тому випадку, якщо відходи містять металеві включення в складі ТПВ.

Магнітна сепарація - процес розділення твердих матеріалів в магнітному полі, оснований на використанні відмінностей в їх магнітних властивостях (головним чином, в магнітної сприйнятливості).

Магнітну сепарацію широко застосовують при збагаченні відходів виробництва та споживання, при збагаченні руд (залізних, марганцевих, титанових, мідно-нікелевих, вольфрамових, рідкометалевих), для видалення залістистих домішок з кварцових пісків, для регенерації феромагнітних обважнювачів в установках для поділу матеріалів у важких суспензіях .

Магнітному збагаченню піддається зазвичай матеріал крупністю 200 +0,1 мм. Для магнітного збагачення важливе значення має здатність розділюваних компонентів до намагнічування, яка характеризується магнітною сприйнятливістю.

За магнітними властивостями (за здатністю намагнічуватися в зовнішньому магнітному полі) всі речовини діляться на діамагнітні, парамагнітні і феромагнітні. Приналежність речовини до тієї чи іншої групи визначають процеси в атомах, молекулах і кристалах.

Діамагнітні речовини (вісмут, срібло, золото) володіють негативною магнітною сприйнятливістю (під дією магнітних сил електрони атомів набувають додаткову кутову швидкість, внаслідок чого в кожному атомі виникає додатковий магнітний момент, направлений проти зовнішнього поля, що його створює).

Парамагнітні речовини (хром, марганець, олово, платина, рідкоземельні матеріали) володіють позитивною магнітною сприйнятливістю (під дією магнітних сил атомні магнітні моменти орієнтуються по напрямку поля, внаслідок чого парамагнітні речовини в зовнішньому магнітному полі намагнічуються в напрямку поля).

У діа- і парамагнітних речовин магнітна сприйнятливість дуже мала і майже не залежить від напруженості поля.

Феромагнітні речовини (залізо, нікель, кобальт, кадмій) характеризуються здатністю до мимовільного намагнічування навіть при відсутності зовнішнього магнітного поля. При збільшенні напруженості зовнішнього магнітного поля намагніченість феромагнітної речовини зростає при даній температурі до повного насичення (всі атомні магнітні моменти стають паралельними і орієнтуються по полю).

При намагнічуванні феромагнітного компонента йому подається енергія на створення магнітного поля всередині компонента і поза ним. Магнітна сила, що діє на феромагнітний компонент в магнітному полі, визначається потенційною енергією, отриманою одиницею об'єму компонента під час його намагнічування:

$$F = -\frac{\mu_0 \cdot \chi \cdot H^2}{2}, \quad (1.16)$$

де χ - магнітна сприйнятливість ($\chi = 1/H$);

H – напруженість магнітного поля (А/м).

Для того, щоб магнітні компоненти притягувалися до магніту, діюча на них магнітна сила тяжіння повинна перевершувати силу тяжіння, а також опір середовища руху частинок та інші механічні сили.

Чим більше різниця магнітної сприйнятливості окремих компонентів в їх суміші, тим легше розділяються вони в магнітному полі, причому, чим вище магнітна сприйнятливість, тим менша потрібна напруженість поля для розділення компонентів (рис. 1.9).

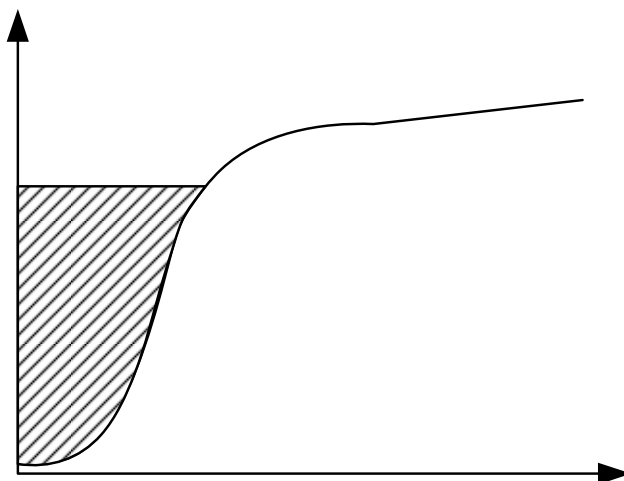


Рисунок 1.9 – Обчислення роботи намагнічування феромагнітної речовини

Феромагнітні компоненти більшості твердих відходів (в т.ч. ТПВ) мають питому магнітну сприйнятливості не менше $3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ і достатньо ефективно витягуються в магнітний продукт при використанні сепараторів з відносно слабким магнітним полем напруженістю до 120 кА/м (практично застосовуються сепаратори з магнітним полем 90-200 кА/м). До них відносяться всі вироби з чорного металу, які відслужили свій термін у побуті і потрапили в ТПВ, а також луджена консервна тара і ін.

Для виділення з відходів магнітного продукту найбільше підходять підвісні електромагнітні сепаратори-залізовідділювачі типу ПС з автоматичним розвантаженням і шківні сепаратори типу ШЕ Луганського машинобудівного заводу ім. Пархоменко. У робочій зоні цих сепараторів є магнітне поле, яке створюється системою з електромагнітів із обмоткою, яка живиться постійним струмом [16-20].

На рис.1.10 покотела схема сил, діючих на феромагнітний компонент, що транспортується нахиленим конвеєром і потрапляє в поле дії магнітної системи підвісного сепаратора, встановленого на відстані h від стрічки. Після того, як феромагнітний компонент зміщується до транспортуючої стрічки сепаратора, що видаляє його з робочої зони сепарації, магнітній силі необхідно долати силу тяжіння G або її нормальну складову $G \cos x$.

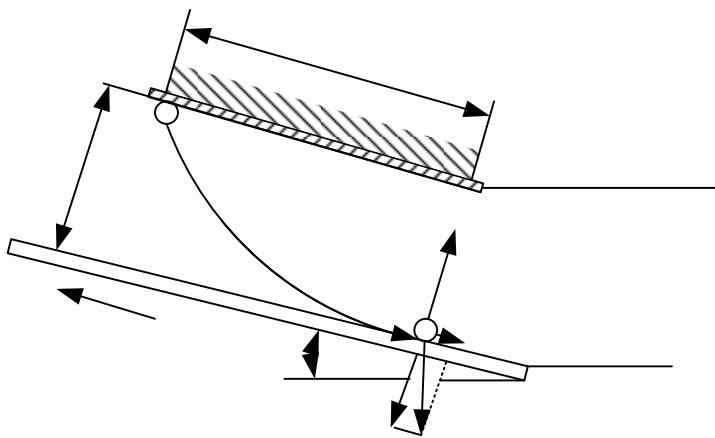


Рисунок 1.10. Схема сил, діючих на феромагнітне тіло в магнітному полі підвісного сепаратора

Мінімальна питома магнітна сила f_M , необхідна для вилучення феромагнітних компонентів при моношаровій подачі відходів в зону сепарації підвісної електромагнітного сепаратора, може бути розрахована за формулою

$$f_M = \frac{2hv^2}{l_{\text{акт}}^2} + g, H, \quad (1.17)$$

де h – висота зони сепарації, м;
 v – швидкість конвеєрної стрічки, м/с;
 $l_{\text{акт}}$ – довжина активної частини зони сепарації, м;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

На рис. 1.11 покотела схема сил, діючих на феромагнітний компонент в зоні сепарації при використанні магнітного шківа. Питома магнітна сила f_m , необхідна для вилучення феромагнітних компонентів, що входять до складу ТПВ, становить:

$$f_m = \frac{2v^2}{R_6} - g \cdot \cos x, \text{Н}, \quad (1.18)$$

де v – швидкість конвеєрної ленти, м/с;
 R_6 - радіус барабану, м;
 g - прискорення вільного падіння, м/с²;
 x – кут, що визначає положення феромагнітного компоненту на поверхні барабану, град.

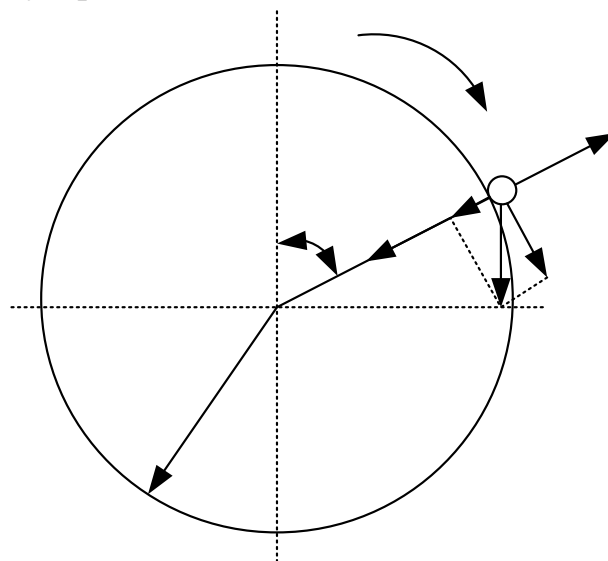


Рисунок 1.11 – Схема сил, діючих на феромагнітне тіло в магнітному полі шківного сепаратора

При сепарації ТПВ, що представляють собою крупнокусковий матеріал, коли відношення розміру часток d до радіусу барабану R_6 ($d/R_6 > 0,05$), питома магнітна сила визначається за формулою

$$f_m = \frac{v^2 \cdot (R_6 + 0,5d)}{R_6^2} - g \cdot \cos x, \text{Н}. \quad (1.19)$$

За розрахунками, питома магнітна сила, що виникає в процесі магнітної сепарації, становить 10-12 Н.

Вилучення чорного металобрухту з потоку ТПВ знаходиться в прямій залежності від інтенсивності взаємодії феромагнітних компонентів ТПВ з магнітним полем і різко знижується при віддаленні полюсів магнітного пристрою від транспортованих відходів. Гранична висота установки підвісного сепаратора над стрічкою конвеєра - 600 мм (переважно не більше 300-350 мм). У будь-якому випадку висота установки сепаратора повинна забезпечувати вільне проходження під ним транспортованого матеріалу (мінімальна висота підвісу сепаратора над конвеєрною стрічкою з ТПВ - не менше двократної висоти найбільш крупних предметів, що вилучаються).

Кінцеве вилучення компонента залежить від тривалості процесу сепарації. Час знаходження чорного металобрухту в магнітному полі сепаратора залежить від швидкості транспортування ТПВ (від швидкості конвеєрної стрічки). Необхідна для вилучення чорного металу магнітна індукція на поверхні конвеєрної стрічки, що транспортує ТПВ, незначною мірою залежить від швидкості потоку, але більшою мірою від інтенсивності масового потоку неферомагнітних компонентів.

Підвісні магнітні сепаратори встановлюють над стрічкою конвеєра, що транспортує ТПВ: найчастіше в будь-якому місці між приводним і хвостовим барабаном перпендикулярно напрямку руху конвеєра, або в місці розвантаження матеріалу з конвеєра в напрямку руху стрічки конвеєра.

Електродинамічна сепарація - комбінований процес магнітного збагачення, оснований на використанні відмінностей магнітної сприйнятливості збагачуваних матеріалів (витяг феромагнітних компонентів) або в їх електричній провідності (вилучення діа- і парамагнітних компонентів).

Основна область застосування електродинамічної сепарації - вилучення з потоку твердих відходів кольорових металів, а також поділ кольорових металів за видами. Переважна крупність видобутих компонентів +40 (+50) мм.

Вміщені в ТПВ кольорові метали є одним з основних цінних компонентів. Кольоровий металобрухт в ТПВ, в основному, представлений різними видами упаковки, що відслужила, і посуду з алюмінію (банки з-під напоїв, балончики, тубики, тарілки, ложки, виделки, каструлі, кришки тощо), значно рідше - сантехнічними виробами зі сплавів на мідній основі (бронзи, латуні). Вміст кольорових металів в ТПВ - на рівні 0,7%.

По фізичним властивостям кольорові метали відносяться до неферомагнітних електропровідних речовин, тому при зміні пронизуючого їх магнітного потоку в них виникають вихрові струми, які є індукційними і зростають зі збільшенням швидкості зміни магнітного потоку. На відміну від електричного струму в проводах вихрові струми замикаються безпосе-

редньо в провідній масі, утворюючи вихроподібні контури. В процесі електродинамічної сепарації використовується силова взаємодія магнітного поля і індукованих в провідниках вихрових струмів.

Для вилучення з ТПВ кольорових металів найчастіше використовується електродинамічна сепарація в біжучому або обертовому магнітному полі, яке, подібно магнітному полю асинхронної машини, що обертається, може створюватися обмоткою трифазного струму (лінійні асинхронні двигуни) або при відносному переміщенні барабана (стрічки) і багатополусної системи (рис. 1.12).

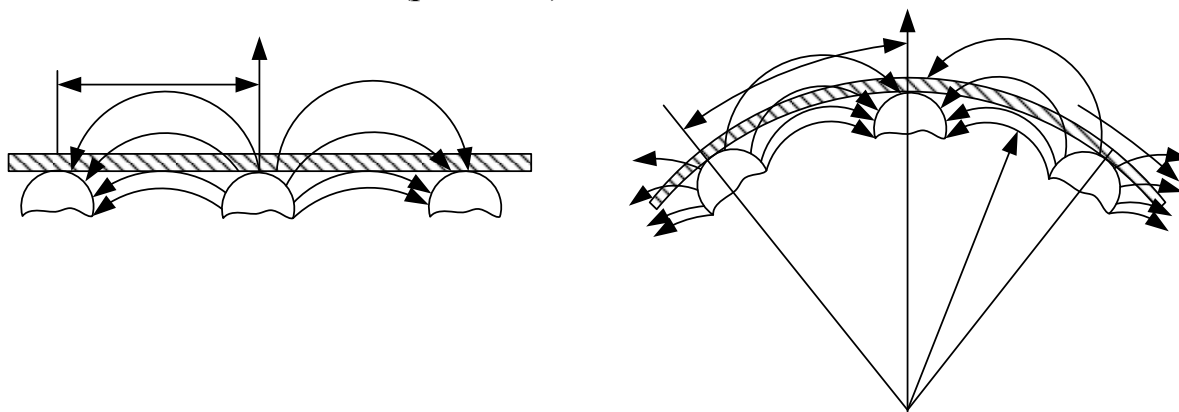


Рисунок 1.12. Схема розташування полюсів відкритої багатополусної магнітної системи в площині (а) і по циліндричній поверхні (б)

Біжуче магнітне поле породжується електричним полем (струмом зміщення): електромагнітна система з обмоткою трифазного струму створює синусоїдальне біжуче поле при накладенні трьох синусоїдальних полів, зсунутих відносно один одного на кут $2/3\pi$; в кожній точці електромагнітної системи трифазного струму біжуче поле створюється за рахунок зсуву фаз обмотки відносно один одного.

На рисунок 1.13 дана характеристика магнітного поля на поверхні індуктору лінійного двигуна і на різній відстані від його поверхні.

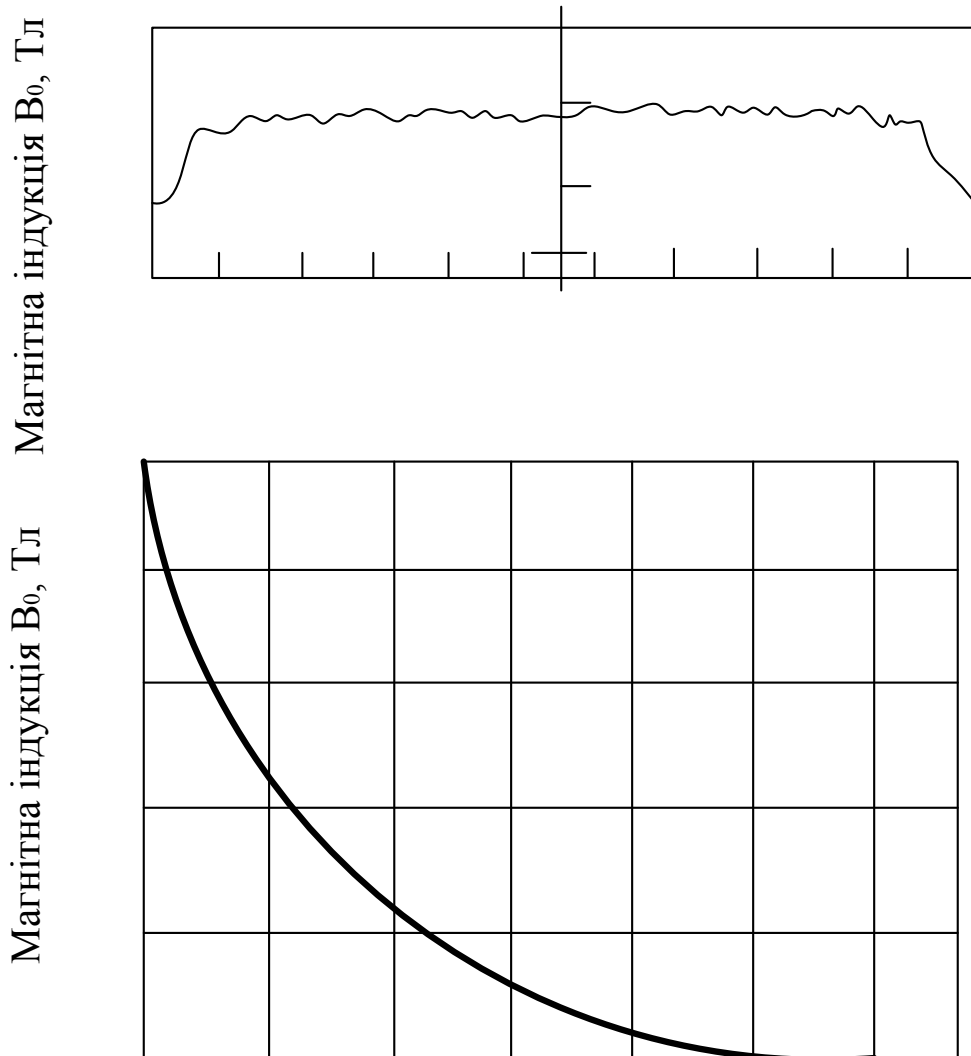
Магнітну індукцію B_z на різній відстані від поверхні індуктора розраховують за формулою

$$B_z = B_0 \cdot e^{-\frac{\pi z}{\tau}}, \quad (1.20)$$

де B_0 – магнітна індукція на поверхні індуктору, Тл;
 z – відстань від поверхні індуктору, м;
 τ – полюсний крок індуктору, м;
 e – основа натурального логарифму.

З рис. 1.13 випливає, що зі збільшенням відстані по висоті від поверхні сепаратора магнітна індукція різко знижується (з 0,19 Тл до 0,12 Тл на висоті 10 мм над поверхнею сепаратора промислового типу), у

зв'язку з чим суттєво впливати на результати сепарації повинні правильний вибір товщини конвеєрної стрічки і забезпечення по можливості одношарової подачі ТПВ в робочу зону індуктора. З малюнка також видно, що магнітна індукція істотно знижується по периферійній зоні сепаратора («крайовий ефект»). Як показали дослідження, магнітна індукція залежить, крім того, від потужності лінійного двигуна (зниження потужності двигуна в десять разів призводить до зниження величини магнітної індукції на поверхні двигуна в два рази) [17-23].



Риунок 1.13 – Характеристика магнітного поля на поверхні індуктора лінійного двигуна (а) і на різній відстані (б) від його поверхні

Збудження і сила індукованих в провіднику струмів залежать як від параметрів первинного магнітного поля, так і від фізичних властивостей провідника, його розмірів і форми.

0,2

33

0,16

По здатності піддаватися електродинамічній сепарації кольорові параметри характеризуються параметром σ/ρ - відношенням електричної провідності до щільності (електрична провідність σ - фізична величина, що кількісно характеризує здатність речовин проводити електричний струм): чим вище це відношення, тим легше, при інших рівних умовах, метал вилучається електродинамічною сепарацією (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Параметри σ/ρ для різних металів (при кімнатній температурі)

Метал	$\sigma, 10^6 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$	$\rho, 10^3 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$	$\sigma/\rho, 10^2 \text{ м}^2 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$
Алюміній	35,4	2,70	130
Магній	23,0	1,74	130
Мідь	59,1	8,93	66
Срібло	68,1	10,49	65
Цинк	17,4	6,92	25
Латунь	15,6	8,47	18
Олово	8,8	7,29	12
Свинець	5,0	11,34	4,5
Нержавіюча сталь	1,4	7,9	1,8

Пласкі частки легше піддаються дії відхиляючих сил і, отже, легше відокремлюються від неметалевих матеріалів. Проте в ТПВ міститься досить багато металевих часток сферичної або циліндричної форми, які гірше піддаються дії відхиляючих сил через те, що за впливом вихрових струмів вони починають здійснювати обертальний рух. Сепарація, базується на використанні вихрових струмів, здійснюється тим важче, чим менше розміри частинок, що сепаруються.

Результатом взаємодії магнітного поля і вихрових струмів, індукованих в частинках кольорового металу, є виникнення виштовхуючої електродинамічної сили, що діє на кольоровий метал.

На рис. 1.14 дана ілюстрація поведінки частинки кольорового металу в біжучому магнітному полі, створюваному обмоткою трифазного струму, розподіленої в пазах осердя.

На рис. 1.14 а зображений індуктор з шістьма пазами на полюсний поділ (сепаратор промислового типу) і розподіл магнітного потоку вздовж його поверхні в момент часу t . Якщо в біжуче магнітне поле лінійного двигуна (ЛД) 1 помістити (рис. 1.14 б, в) зразок у вигляді диска 2 з діамагнітної або парамагнітної речовини (алюмінію, міді), то в ньому індукується електрорушійна сила (ЕРС індукції) E і виникають вихрові струми i , які вступають у взаємодію з первинним магнітним потоком, змінюючи його індукцію. У результаті з'являється сила Fr , що має напрям,

який визначається за правилом лівої руки, перпендикулярний потоку і струму, і приводить диск в рух.

ЕРС індукції в зразку при його перетині магнітними лініями пропорційна індукції магнітного поля, швидкості біжучого магнітного поля і розмірами зразка:

$$E = B \cdot V \cdot l, \quad (1.21)$$

де B - магнітна індукція, Тл ;

V - швидкість біжить магнітного поля , м/с;

l - активна довжина зразка, м.

Швидкість руху біжучого магнітного поля, відповідного руху хвилі магнітної індукції B , дорівнює

$$V = 2\tau \cdot \nu, \quad (1.22)$$

де τ - полюсний крок індуктора, м;

ν - частота струму , Гц .

З підвищенням частоти струму i , відповідно, швидкості зміни магнітного потоку , абсолютна величина виштовхуючої електродинамічної сили зростає. Звідси

$$E = B \cdot 2\tau \cdot \nu \cdot l. \quad (1.23)$$

Величина ЕРС пропорційна магнітній індукції тої ділянки магнітного поля, яка в даний момент перетинає зразок. Ток I в провіднику буде запізнюватися по фазі відносно викликаючої його ЕРС на кут φ . Звідси в момент, коли магнітний потік має максимальне значення і ЕРС, індукована в провіднику, максимальна, ток ще не досягає максимуму, а продовжує зростати. Тому силу взаємодії між струмом в зразку і магнітним полем теоретично розрахувати дуже складно. У загальному вигляді ця сила пропорційна току і магнітній індукції, а також залежить від розмірів і форми зразка:

$$F = i \cdot B \cdot l, H. \quad (1.24)$$

Можна також стверджувати, що сила F пропорційна магнітному моменту M речовини і градієнту індукції магнітного поля $gradB$ (в неоднорідному магнітному полі зразок з індукованим струмом буде втягуватися в область більш сильного поля) :

$$F = M \cdot gradB. \quad (1.25)$$

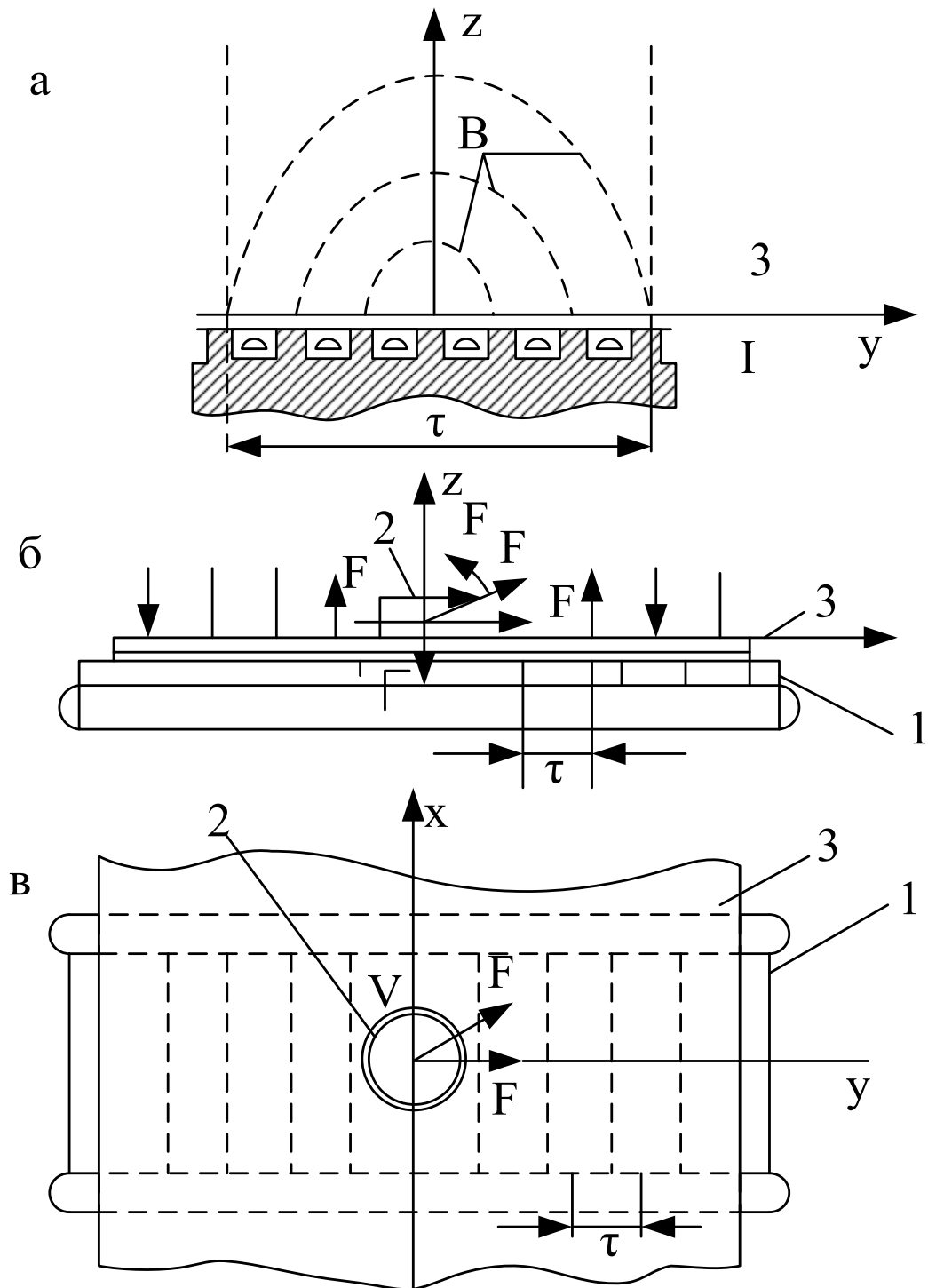


Рисунок 1.14 – Ілюстрація взаємодії частинки кольорового металу з біжучим магнітним полем ЛД:

а - розподіл магнітного потоку уздовж індуктора ЛД; б - сили, що виникають при переміщенні частинки по поверхні сепаратора; в - переміщення частинки кольорового металу дископодібної форми по поверхні сепаратора; 1 - лінійний двигун; 2 - зразок кольорового металу; 3 - конвеєрна стрічка.

Для проведення електродинамічної сепарації необхідно, щоб неферромагнітне електропровідне тіло (диск) було винесено із зони сепарації, тобто електропровідному тілу має бути повідомлено прискорення a .

В загальному вигляді рівняння руху неферромагнітного електропровідного тіла в біжучому магнітному полі має вигляд

$$ma = F - F_{\text{оп.}} - mg, \quad (1.26)$$

де m - маса неферромагнітних електропровідного тіла, кг ;
 a - прискорення, повідомлене неферромагнітних електропровідному тілу, м/с^2 ;

$F_{\text{оп.}}$ - сила опору, Н;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

F - виштовхуюча електродинамічна сила, що виникає при взаємодії електропровідного тіла з біжучим магнітним полем, Н.

Сила опору при проведенні електродинамічної сепарації, в основному, визначається силами тертя між зразком 2 і покриттям ЛД (конвеєрною стрічкою 3). Сила тертя, що перешкоджає виносу зразка із зони сепарації, прикладена до зразка провідника уздовж поверхні його дотику і завжди направлена в сторону, протилежну його переміщенню.

Електродинамічна сепарація здійснюється в разі, якщо виштовхуюча електродинамічна сила долає силу тертя і силу тяжіння і повідомляє зразку рух. Сила тертя не залежить від площі провідникового тіла, а залежить від якості обробки поверхонь зразка та покриття індуктора ЛД.

Результуюча сила F , що діє на зразок, складається з двох сил: сили F_r , яка діє в напрямку біжучого магнітного поля і, власне, визначає виштовхування неферромагнітної електропровідної речовини із зони сепарації, і сили F_v , яка обумовлює виникнення обертового моменту (направленого проти годинникової стрілки).

Теоретичне обчислення сили F , як зазначалося, утруднене, тому при вивченні процесу електродинамічної сепарації доцільно силу, що діє на зразки кольорового металу, поміщені в біжуче магнітне поле, визначати експериментально [16-24].

Практика показує, що для забезпечення повноти вилучення кольорових металів електродинамічна сепарація повинна проводитися в кілька стадій (основна і контрольні операції), причому сепаратори повинні встановлюватися на різних конвеєрах, стрічки яких мають різну швидкість (наприклад, в основній операції 0,8-1,0 м/с, в контрольній відповідно 1,0-1,2 м/с). При перевантаженні шар потоку буде ущільнюватися, а компоненти кольорових металів займуть інше, більш сприятливе становище на стрічці іншого конвеєра, що збільшує ймовірність їх довилучення в контрольній операції.

1.1.8 Аеросепарація

Аеросепарація - процес збагачення в рухомому газовому (повітряному) середовищі, оснований на використанні відмінностей в густині компонентів і їх швидкості витання.

Аеросепарацію (пневмосепарацію) застосовують при збагаченні корисних копалин (вугілля, азбесту) і техногенної сировини (ТПВ, дробленого електрокабельного брухту - видалення неметалічних компонентів, дробленого демеркуризованого склобою відпрацьованих ртутних ламп, інших відходів). Аеросепарація ефективна для знепилювання матеріалів, а також для виділення тонких класів крупності при сухому подрібненні будівельних матеріалів (повітряний сепаратор працює в замкнутому циклі з апаратом подрібнення).

Аеросепарацію при збагаченні ТПВ застосовують для поділу потоку відходів на легку і важку фракції (це необхідно, перш за все, за умовами технології вилучення металів), а також для виділення горючих компонентів для подальшої термічної переробки, хоча, в принципі, можлива не тільки енергетична утилізація легких компонентів. Крім того, аеросепарацію застосовують для очищення від домішок компосту, отриманого з ТПВ.

При аеросепарації ТПВ в легку фракцію переходять макулатура, полімерна плівка, деякі текстильні компоненти (в основному, синтетичні), вуличний змет і т.п. Рекомендована крупність аеросепарації ТПВ - 250 мм.

На поведінку легких компонентів ТПВ в процесі аеросепарації вирішальний вплив чинить підйомна аеродинамічна сила - рівнодіюча всіх сил (нормальних і тангенціальних), розподілених по поверхні частки, що знаходиться в повітряному потоці. Аеродинамічна сила залежить як від параметрів частинок (форма, розміри, стан поверхні, положення в потоці), так і від параметрів повітряного потоку і пневмосепаруючої системи в цілому (швидкість повітря і її напрямок, ступінь турбулентності, рівномірність швидкісного потоку, ширина струменя).

Розрахунок необхідної швидкості повітря, що забезпечує поділ ТПВ на дві фракції - легку і важку, можна здійснювати приблизно за швидкістю витання компонентів легкої фракції, що обчислюється із застосуванням графоаналітичного методу.

На одиночну частку, падаючу в повітряному середовищі, діють сила тяжіння, що спрямована вниз і визначається об'ємом V і щільністю ρ_T твердої частинки

$$F_T = m \cdot g = V \cdot \rho_T \cdot g, \quad (1.27)$$

і друга сила (сила Архімеда, спрямована вгору і рівна $R = V \cdot \rho_b \cdot g$).

Зважаючи на мале значення цієї сили, нею можна знехтувати; вона має значення при сепарації в рідкому середовищі. Сила аеродинамічного опору середовища F_c виражається квадратичним законом Ньютона

$$F_c = W_b^2 \cdot C_A \cdot \rho_b \cdot l_T^2, \quad (1.28)$$

де V - об'єм частинки (компонента), m^3 ;

ρ_T і ρ_b - щільності відповідно компонента і повітря, kg/m^3 ;

C_A - коефіцієнт лобового опору (аеродинамічний коефіцієнт опору повітря руху частки);

W_b - швидкість витання компонента, m/s ;

l_T - характерний лінійний розмір компонента, m .

Під швидкістю витання розуміють кінцеву швидкість, якої набуває частинка (компонент) при вільному падінні, коли сили тяжіння та опору середовища врівноважуються.

За умови рівноваги сил F_c і F_T

$$V \cdot \rho_T \cdot g = W_b^2 \cdot C_A \cdot \rho_b \cdot l_T^2, \quad (1.29)$$

$$W_b^2 = \frac{V \cdot \rho_T \cdot g}{C_A \cdot \rho_b \cdot l_T^2}, \quad (1.30)$$

$$W_b = \sqrt{\frac{\delta_T \cdot \rho_T \cdot g}{C_A \cdot \rho_b}}, \quad (1.31)$$

де δ_T - товщина плівкового матеріалу (наприклад, макулатури, полімерної плівки), m .

Для визначення швидкості витання необхідно обчислити коефіцієнт лобового опору C_A , що характеризує здатність частки чинити опір повітряному потоку. У загальному випадку він залежить від критерію режиму тиску Re , від фактора K , що враховує вплив форми частинки (δ_T , l_T), концентрації часток β і геометричних характеристик апарата L і часток L/δ_T и L/l_T .

$$C = f(Re, K, \beta, L/\delta_T, L/l_T).$$

Коефіцієнт опору C_A залежить від положення компонента в потоці повітря (від його орієнтації по відношенню до напрямку руху). Однак, в

основному, значення C_A визначається критерієм режиму руху і є функцією безрозмірного числа Рейнольдса Re .

Число Рейнольдса характеризує режим руху тіл в рідкому середовищі (турбулентний або ламінарний) і, відповідно, переважання того або іншого виду опору (динамічного опору середовища або опору в'язкості середовища). Число Рейнольдса - безрозмірна величина, рівна відношенню сил інерції до сил в'язкості

$$Re = \frac{\rho_{ж} \cdot v \cdot l}{\mu_{ж}}, \quad (1.32)$$

де $\rho_{ж}$ – щільність рідини;
 v – швидкість потоку;
 l – характерний лінійний розмір (наприклад, діаметр);
 $\mu_{ж}$ - коефіцієнт в'язкості рідини.

Виходячи з подібності фізичних явищ у рухомій рідині і газі та їх впливу на обтічні ними тіла, коефіцієнт опору C_A можна виразити у вигляді критеріальної залежності від числа Рейнольдса.

$$Re = \frac{W_B \cdot \rho_B \cdot l_T}{\mu_B}, \quad (1.33)$$

$$C_A = \frac{F_C}{W_B^2 \cdot \rho_B \cdot l_T^2}, \quad (1.34)$$

де Re - число Рейнольдса;
 μ_B - коефіцієнт в'язкості повітря.

Для визначення швидкості витання W_B з використанням числа Рейнольдса Re можна примінити графічний метод П.В. Лященко, котрий для практичних розрахунків ввів параметр $Re^2 \cdot C_A$ і побудував діаграму залежності $Re^2 \cdot C_A$ від Re (рис. 1.15).

Користуючись графіком $Re^2 \cdot C_A = f(Re)$, по знайденому значенню $Re^2 \cdot C_A$ визначають Re і по ньому обчислюють швидкість W_B .

Значення $Re^2 \cdot C_A$ можна знайти шляхом математичного перетворення, виключивши W_B і l_T з рівняння числа Рейнольдса і коефіцієнта опору:

$$Re = \frac{W_B \cdot \rho_B \cdot l_T}{\mu_B}, \quad W_B^2 \cdot l_T^2 = \frac{Re^2 \cdot \mu_B}{\rho_B},$$

$$C_A = \frac{F_C}{W_B^2 \cdot p_B \cdot l_T^2}, \quad W_B^2 \cdot l_T^2 = \frac{F_C}{C_A \cdot p_B},$$

$$\frac{Re^2 \cdot \mu_B}{p_B} = \frac{F_C}{C_A \cdot p_B}, \quad Re^2 \cdot C_A = \frac{F_C \cdot p_B}{\mu_B^2}. \quad (1.35)$$

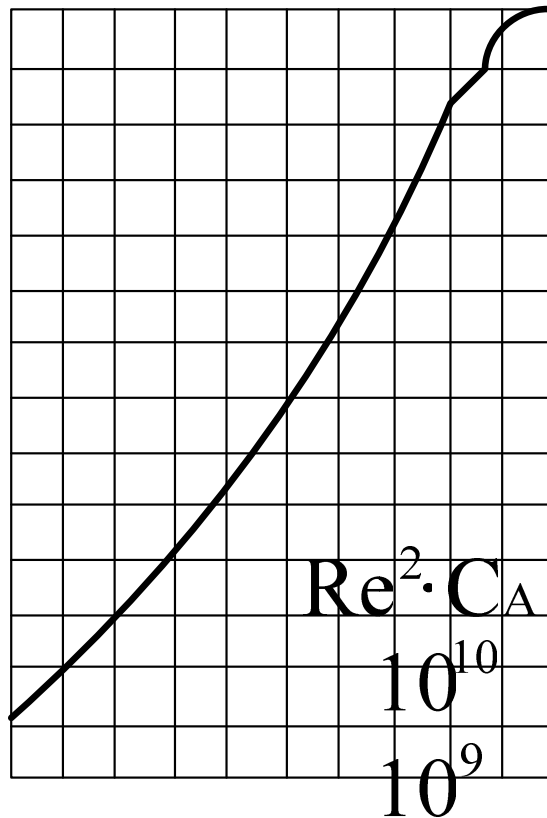


Рисунок 1.15 – Діаграма Лященко $Re^2 \cdot C_A = f(Re)$

Заміняючи F_C на F_T ($F_C = F_T$), отримуємо

$$Re^2 \cdot C_A = \frac{F_C \cdot p_B}{\mu_B^2} = \frac{F_T \cdot p_B}{\mu_B^2} = \frac{m \cdot g \cdot p_B}{\mu_B^2} = \frac{V \cdot \rho_T \cdot g \cdot p_B}{\mu_B^2}. \quad (1.36)$$

Користуючись встановленими залежностями, визначаємо параметр $Re^2 \cdot C_A = f(Re)$ і по діаграмі П.В. Лященко знаходимо число Рейнольдса Re , за допомогою якого обчислюємо швидкість видання

$$W_B = \frac{Re \cdot \mu_B}{p_B \cdot l_T}. \quad (1.37)$$

При аеросепарації використовуються два основні способи розділення компонентів: в горизонтальному потоці повітря (напрямок повітря перпендикулярний діючій на компоненти силі тяжіння) і у вертикальному потоці повітря (напрямок повітря протилежний напрямку діючої на компоненти сили тяжіння). Відповідно в аеросепараторі компоненти легкої фракції транспортуються повітрям в горизонтальному або вертикальному напрямку.

Розрахунки дозволяють отримати вираз для визначення теоретичної робочої швидкості повітря в процесі аеросепарації:
у вертикальному потоці повітря:

$$W_p^B = (1,2 \div 1,5)W_B, \quad (1.38)$$

в горизонтальному потоці повітря:

$$W_p^G = W_B \cdot \frac{l}{h}, \quad (1.39)$$

де l – зміщення часток у горизонтальному потоці повітря, рівне приблизно $20l_T$, м (l_T - лінійні розміри частки);

h – висота робочої зони сепарації, м.

h - висота робочої зони сепарації, м.

Розраховувана на підставі двох останніх виразів теоретична робоча швидкість повітря становить для сепарації ТПВ у вертикальному потоці 5 м/с, в горизонтальному - 2,5 м/с. Практично для забезпечення ефективності процесу поділу ТПВ на дві фракції, легку і важку, швидкість повітря повинна бути збільшена в 1,5-2 рази.

Технологія аеросепарації ТПВ розроблена в ВІВР (Всеросійському інституті вторинних ресурсів, нині НДЦПУРВ - науково-дослідний центр з проблем управління ресурсозбереженням і відходами).

Укрупнено-лабораторна установка аеросепаратора з вертикальним потоком повітря (рис. 1.16) включає такі основні вузли: 1 - дуттьовий вентилятор, 2 - заслінку, регулюючу витрату повітря в межах швидкості від 0 до 6,5 м/с; 3 - вертикальну камеру розподілу, що складається з нижньої циліндричної труби і верхньої частини, утвореної двома елементами усіченої конічної форми, 4 - завантажувальний пристрій, 5 - осаджувальну камеру циклонного типу; 6 і 7 - розвантажувальні пристрої відповідно легкої та важкої фракції. Для виміру швидкості повітря в робочій зоні аеросепаратора передбачені отвори. Аеросепаратор виготовлений з оргскла. Відповідно до мінімального діаметру робочої зони сепаратора максимальна крупність матеріалу в дослідях становить 160-180 мм. Продуктивність вертикального сепаратора, як і горизонтального, лімітується його завантажувальним пристроєм і становить близько 5 кг/хв.

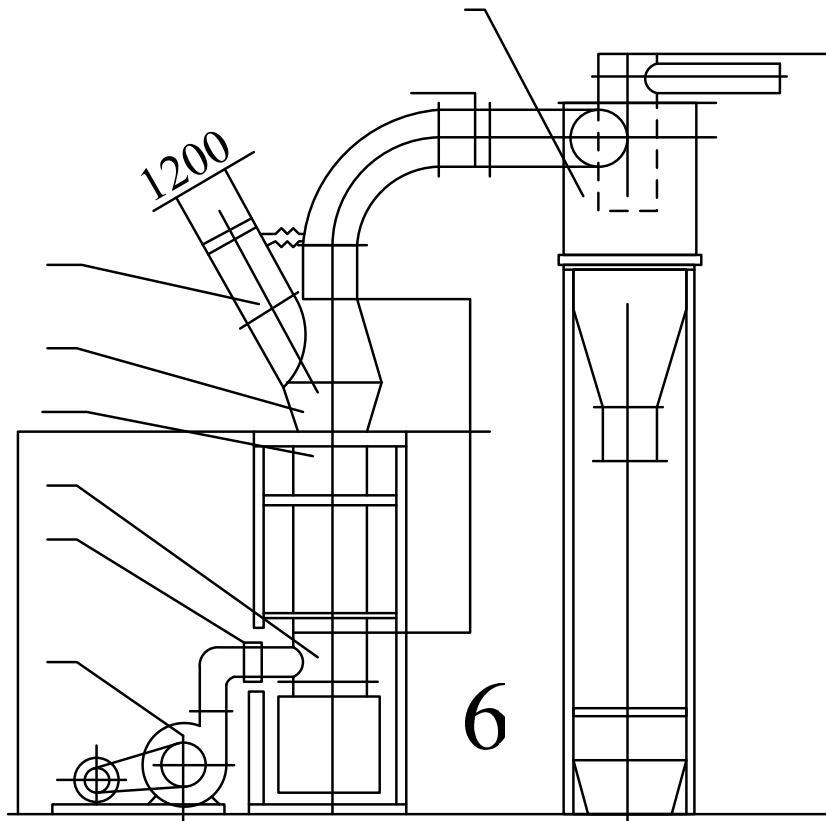


Рисунок 1.16 – Укрупнено-лабораторний аеросепаратор для сортування ТПВ у вертикальному потоці повітря: 1 - дуттьовий вентилятор, 2 - заслінка, регулююча витрату повітря в межах швидкості від 0 до 6,5 м/с; 3 - вертикальна камера розподілу, що складається з нижньої циліндричної труби і верхньої частини, утвореної двома елементами усіченої конічної форми, 4 - завантажувальний пристрій, 5 - осаджувальна камера циклонного типу; 6 і 7 - розвантажувальні пристрої відповідно легкої та важкої фракції

Аеросепаратор працює таким чином; повітря за допомогою вентилятора 1 через заслінку 2 і вузол підведення повітря 3 подається знизу в циліндричну камеру розподілу 4 і рухається вгору, утворюючи в ній вертикальний потік. Підлягаючий сепарації матеріал подається завантажувальним пристроєм 6 в зону мінімальної швидкості (камеру розподілу 5), утворену основами елементів усіченої конічної форми, де з нього вертикальним потоком повітря видуваються речовини низької щільності (переважно, макулатура, полімерна плівка, текстиль). Важка фракція виводиться з сепаратора знизу циліндричної частини камери поділу (через розвантажувальний пристрій 9). Деякі компоненти легкої фракції, які при попаданні в верхню частину камери поділу 5 не встигли відокремитися від важкої фракції і захоплюються останньою вниз, надходять в нижню частину камери розподілу 4 в зону більшої швидкості повітря і виносяться вгору, потрапляючи в кінцевому підсумку в осаджувальну камеру 7 установ-

ки. Іншими словами, конструкція сепаратора передбачає збільшення швидкості вертикального потоку повітря вгору і вниз від зони розподілу (поблизу завантаження матеріалу), забезпечує чистоту розподілу матеріалу на компоненти та повноту їх вилучення, тобто ефективність сепарації. При цьому співвідношення діаметрів основ елементів усіченої конічної форми робочої зони поділу становить 1,2:1,5, а співвідношення їх висот 2:1 (зверху вниз).

Основними факторами, що впливають на технологічні показники аеросепарації, є швидкість повітря, крупність матеріалу і його вологість. Всі три чинники впливають, головним чином, на вилучення картону, ламінованого паперу і текстилю з натуральних волокон.

При аеросепарації в горизонтальному потоці повітря штучної суміші ТПВ (повітряно-сухий стан) в легку фракцію витягується переважно газетний і ламінований папір, а також плівкові пластмаси; оптимальна швидкість повітря - близько 5 м/с. Вміст макулатури в легкій фракції досягає 75% (підвищується в порівнянні з вихідним майже в 2 рази). Вилучення в легку фракцію всіх компонентів з підвищенням вологості (швидкість 5 м/с) монотонно знижується. З підвищенням вологості селективність процесу аеросепарації дещо зростає і вміст макулатури в легкій фракції при вологості 40-50% зростає до 80% (в разі сепарації сухих сумішей - 75%). Склад важкої фракції (хвостів) аеросепарації з підвищенням вологості ТПВ дещо змінюється внаслідок великих втрат в ній текстильних компонентів і картону.

Аеросепарація ТПВ у вертикальному потоці повітря, в порівнянні з розподілом в горизонтальному, дозволяє отримати більш чистий по вмісту макулатури продукт, але при значно меншому вилученні. При сепарації вологих ТПВ в легку фракцію переходить переважно один з видів макулатури - газетний папір. Практично вилучення макулатури знижується з 55% (повітряно-сухий стан) до 43% (вологість 60%), а зміст зростає (з 78 до 88%). Таким чином, селективність процесу аеросепарації у вертикальному потоці повітря вище, ніж у горизонтальному [24-29].

Найкращим чином природні властивості ТПВ як об'єкта сепарації використовуються при послідовній аеросепарації у вертикальному і горизонтальному потоці повітря, коли живленням горизонтального аеросепаратора є важка фракція вертикального (див. рис. 1.17). При аеросепарації вологих ТПВ вже після першої стадії процесу в значній мірі відбувається підсушування матеріалу (вміст вологи знижується на 10-20%), при необхідності можливе використання підігрітого повітря), що сприяє довилученню у другій стадії щільних різновидів макулатури (картон, ламінований папір). Проте практична реалізація двохстадійної аеросепарації ТПВ істотно ускладнює об'ємно-планувальні рішення цеху сортування, тому вона може включатися в технологічні схеми збагачення ТПВ в тих рідкісних випадках, коли необхідне, наприклад, максимальне

вилучення макулатури для вторинного використання. У разі направлення легкої фракції на спалювання технологічно виправдана одностадійна аеросепарація.

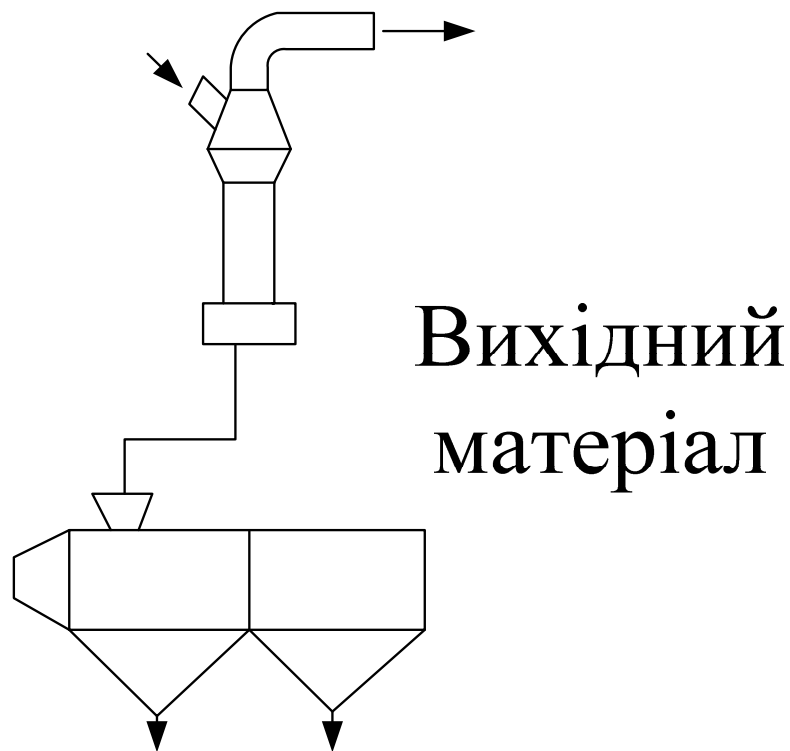


Рисунок 1.17 – Схема двохстадійної аеросепарації

Слід зазначити, що процес аеросепарації, залежно від складу сировини, що сепарується, і технологічних задач, можна регулювати за допомогою формування відповідних швидкісних полів повітряного потоку. Так, вибираючи необхідний швидкісний профіль горизонтального потоку повітря, можна при збагаченні легкої фракції, отриманої у вертикальному сепараторі, значно підвищити вміст у продукті полімерної плівки. Найбільш ефективний процес аеросепарації при швидкості горизонтального потоку повітря 0,9 м/с у верхній частині камери поділу і 1,25 м/с - у нижній, причому для інтенсифікації процесу розподілу матеріалів, близьких по щільності і аеродинамічним характеристикам, фізичні властивості компонентів легкої фракції направлено регулюються зволоженням матеріалу (оптимальна вологість матеріалу - близько 40%).

Нижче розглянуто найбільш типові конструкції аеросепараторів, що застосовуються при збагаченні ТПВ.

Для сортування міських відходів в горизонтальному потоці повітря представляють інтерес сепаратори, запатентовані в США і ФРН (рис. 1.18 і 1.19), призначені для розподілу подрібнених відходів [28-33].

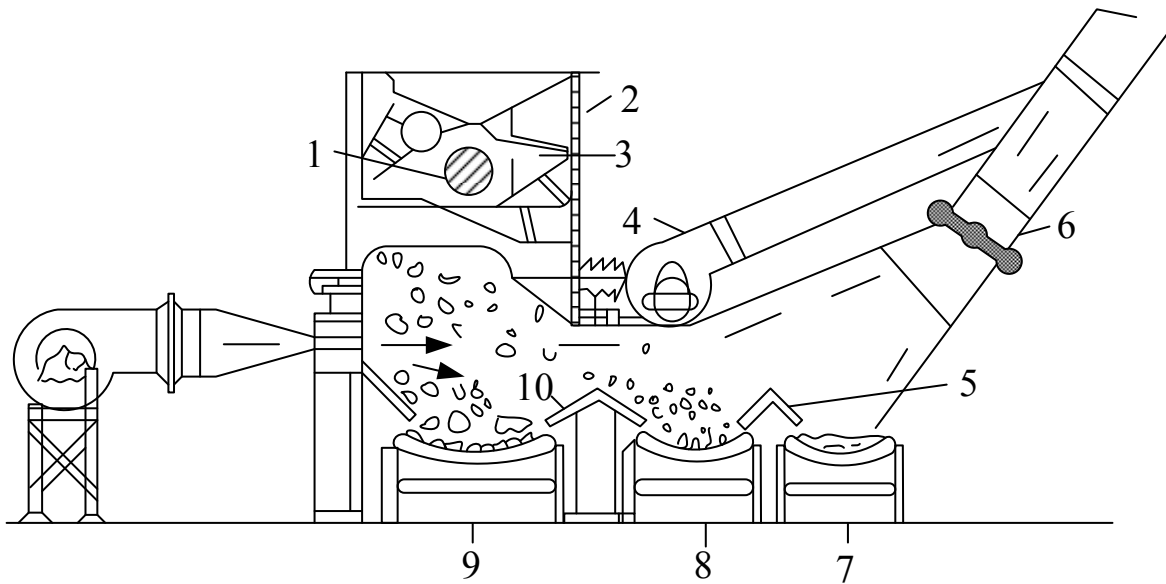


Рисунок 1.18 – Аеросепаратор для сортування ТПВ в горизонтальному потоці повітря (США): 1 - вал; 2 - приймальна воронка, 3 - подрібнювач, 4 - вентилятор; 5 - труба; 6 і 10 - напрямні вставки; 7, 8, 9 - конвеєри

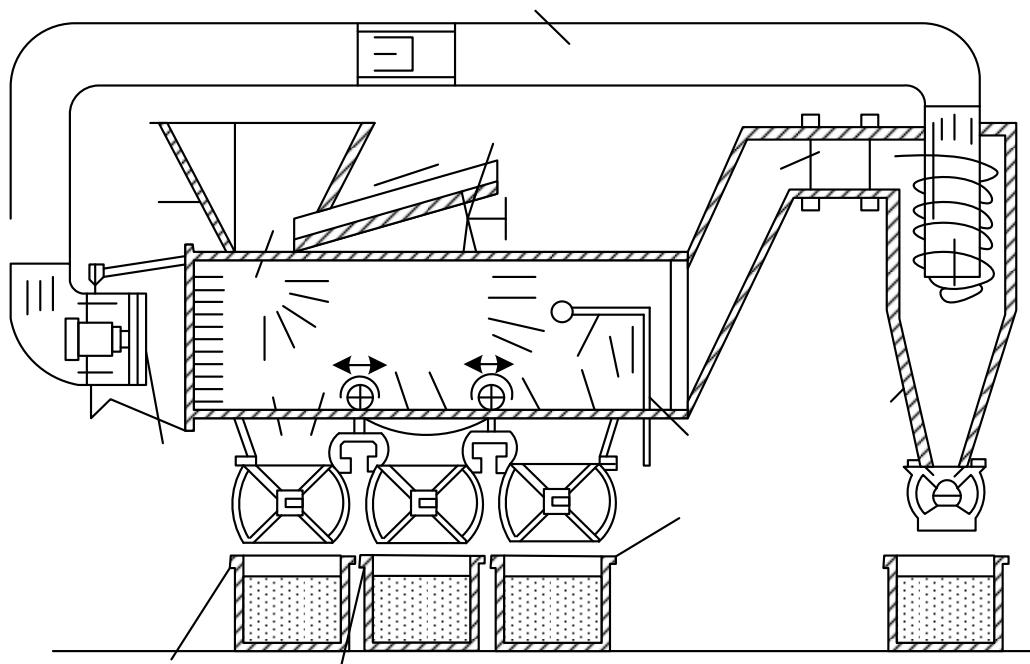


Рисунок 1.19 – Аеросепаратор для сортування ТПВ в горизонтальному потоці повітря (ФРН): 1 - вентилятор, 2 - приймальна воронка, 3 - віброживильник; 4 - система рециркуляції повітря, 5 - циклон; 6 і 9 – рухливі перегородки; 7 - перегородка; 8, 10 і 11 - збірники матеріалу

В американському сепараторі відходи подаються в приймальну воронку 2, обробляються в подрібнювачі 3 з робочим колесом, що обертається на валу 1. Подрібнені відходи підхоплюються горизонтальним

потокотом повітря. Найбільш важкі матеріали (металеві банки, гума, каміння тощо) надходять на конвеєр 9, легші (мокре дерево, неметалічні предмети) - на конвеєр 8, предмети з алюмінію та інших подібних матеріалів - на конвеєр 7. Макулатура, текстиль і т.п. підхоплюються потоком повітря і виносяться в трубу 5, куди додатково вентилятором 4 подається повітря, що направляєтьсЯ потім в топку. Для запобігання змішування відходів між конвеєрами встановлюються розділові напрямні вставки 6 і 10.

Пристрій, запатентований у ФРН (рис. 1.20), забезпечено системою циркуляції повітря 4 і камерою, виконаною у вигляді труби, з завантажувальним бункером 2, в який подрібнений матеріал подається віброживильником 3. Матеріал, підхоплений горизонтальним потоком повітря від вентилятора 1, поділяється на три фракції і віддаляється в збірники 8, 10 і 11, а найбільш легкі компоненти виносяться в циклон 5. Для регулювання сепарації всередині камери між розвантажувальними отворами встановлені рухливі перегородки 6 і 9. Зміною висоти перегородки 7 регулюється винос дрібних частинок в циклон 5.

Характерна конструкція аеросепаратора вертикального типу представлена на рис. 1.20.

У США запатентований багатосекційний вертикальний аеросепаратор для подрібнених ТПВ. Відходи засипаються в бункер 2 і переміщуються в сепаруючу камеру 5 за допомогою конвеєра 3 з лопатями 4. Поступаючий в камеру матеріал піднімається рухомим вгору потоком повітря від вентилятора 7 в прохід 6, що звужується. Відходи з вузької горловини 5 надходять всередину першої сортувальної колони 7, де потік повітря, що піднімається знизу від вентилятора 13 здійснює першу очистку. Легка фракція матеріалу піднімається повітряним потоком через горловину 9, що звужується, у другу сортувальну колону 10. Важка фракція віддаляється по нахильним ґратам 11 і 12 на конвеєр. Число сортувальних колон встановлюється в залежності від необхідної чистоти матеріалу. Установка забезпечена системою циркуляції повітря.

Різновидом аеросепарації є *віброповітряна аеросепарація*. Повітря, що подається через перфоровану віброуючу деку, і коливання деки забезпечують розпушення матеріалу і його розподіл по щільності з одночасним транспортуванням легких і важких компонентів в протилежних напрямках до розвантажувальних кінців деки (рис. 1.21). Для підвищення ефективності поділу дека встановлюється похило; кут нахилу повинен забезпечувати безперешкодний підйом важких компонентів у верхньому напрямку (при даній амплітуді і напрямку коливань деки).

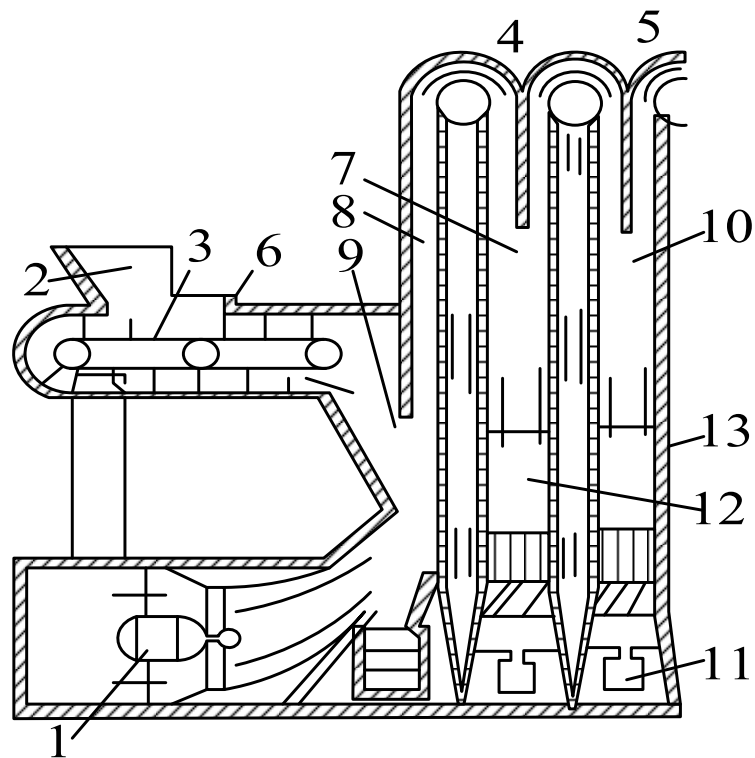


Рисунок 1.20 – Багатосекційний вертикальний аеросепаратор (США): 1 і 13 - вентилятори; 2 - приймальна воронка, 3 - конвеєр; 4 - лопаті (рифлі); 5 - камера поділу; 6 - канал; 7, 10 - сортувальні колони; 8, 9 - горловини; 11, 12 - нахильні ґрати

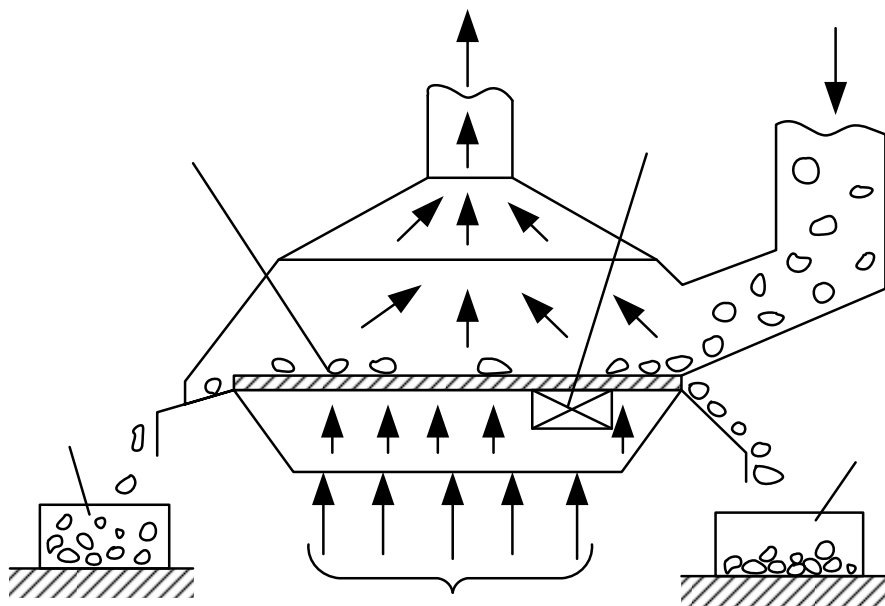


Рисунок 1.21 – Схема віброповітряного сепаратора: 1 - перфорована дека; 2 - вібратор; 3 та 4 – ємності (відповідно для легкої та важкої фракції)

Віброповітряна сепарація знайшла практичне застосування при переробці дробленого електрокабельного брухту в США, Франції, Швеції, ФРН, а також в Україні. Фірма «Орфа» (Швейцарія) вперше застосувала віброповітряну сепарацію для поділу сухих мілкодроблених вузькокласифікованих фракцій ТПВ (-1 мм; -1 + 1 мм; -10 +3 мм) з отриманням з кожного класу двох продуктів; в одному з них сконцентровані важкі інертні компоненти (суміш скла, кераміки, каміння), в іншому - більш легкі (суміш пластмаси, гуми і дерева). Важку фракцію рекомендується використовувати в технології звалища або в дорожньому будівництві, легку (пластмаса, гума, дерево) - у виробництві сталі або для виготовлення покриттів для підлоги [30-35].

1.1.9 Ручне сортування ТПВ

В ТПВ потрапляє багато цінних компонентів, потенційно придатних для вторинного використання.

Продукти, що виділяються при механізованому сортуванні всієї утвореної маси ТПВ, характеризуються (за винятком металів) невисокою якістю, внаслідок чого вони збуваються зі складнощами.

Найбільш раціонально залучати відходи в господарський оборот на основі їх селективного покомпонентного збору в місцях утворення, не допускаючи попадання цінних компонентів в загальну масу ТПВ. В цьому випадку до переробки може залучатися незабруднена вторинна сировина. Селективно зібрані в контейнери відходи практично не містять домішки інших компонентів і вимагають збагачення.

У західних країнах, де проблема отримання з ТПВ вторинної сировини багато в чому вирішується за рахунок масштабної організації роздільного покомпонентного збору відходів у місцях їх утворення, доведення селективно зібраних відходів здійснюється на спеціальних сортувальних комплексах, в основному, методами ручного сортування. При цьому проводиться як пряме сортування (вилучення цінних компонентів), так і зворотне (видалення забруднюючих компонентів, в тому числі небезпечних). В якості компонентів практикується виділення макулатури (у тому числі за сортами), пластмаси, скла та металів (метали часто вилучають в автоматичному режимі за допомогою магнітної і аеродинамічної сепарації).

Технологія сортування селективно зібраних відходів у більшості випадків ідентична і являє собою ручну вибірку тих чи інших компонентів зі стрічки тихохідного конвеєра (ширина стрічки - не більше 1200 мм, швидкість - не більше 0,5 м/с, переважно 0,1-0,2 м/с) у поєднанні з механізованим сортуванням металів. У ряді випадків ручному сортуванню передую операція грохочення вихідного матеріалу з метою видалення дрібної фракції і розпушування маси відходів; при необхідності, в

технологічну схему можливе включення операції дроблення (розтин упаковки). Обладнання механізованого сортування встановлюється на подіумі в спеціальному приміщенні-кабіні, обладнаному припливно-витяжною вентиляцією і знезаражувальним пристроєм відходів, що сепаруються. Компонування приміщень і розміщення обладнання дослідно-експериментального виробництва з сортування ТПВ потужністю 40 тис. т/рік пілотного проекту ДКП «Харківкомуночиствод» і ПКІ «ЮжтрансНП-проект» покотело на рис. 5.24.

Хвости сортування, як правило, піддають ущільненню (контейнерне компактування). Ущільненню, але методом пакування, піддають також ряд вилучених компонентів (метали, макулатуру, пластмаси, текстиль). При цьому макулатура, пластмаса та текстиль завжди пакуються з обв'язкою дротом, мотузкою і т.п. Процеси пакування корисної продукції та компактування хвостів сортування повністю автоматизовані. Пакування підвищує ефективність складування продукції, її зберігання та доставки споживачеві; розміщення пакетів на складі та їх завантаження в транспортні засоби здійснюється за допомогою автонавантажувача (для переміщення пакетів чорного металу можливе застосування магнітної шайби). Компактування хвостів сортування та їх видалення в контейнерах в ущільненому вигляді знижує транспортні витрати.

Сміттевози, що доставляють відходи на сортування, проходять радіометричний контроль, зважуються і розвантажуються на рівну бетонну площадку (мінімальні розміри 30х30 м). За допомогою фронтальних навантажувачів відходи подаються в хвостову частину заглибленого стрічкового конвеєра або пластинчастого живильника легкого типу (оптимальний варіант - використання горизонтально-похилого живильника, до пластин якого кріпиться гумова стрічка, що запобігає просипанню матеріалу). Верхня гілка живильника-конвеєра, що подає матеріал на сортувальний конвеєр, заглиблена на 0,4 м. Продуктивність однієї лінії сортування, залежно від складу збагачуваного сировини, коливається від 3 до 10 т/год. Відібрані в якості вторсировини компоненти скидаються в люки і потрапляють або в стоячі на нижній позначці контейнери, або в накопичувальні ємності (бункери), розташовані на нижній позначці (під сортувальної кабіною). Дном цих ємностей може служити горизонтальна конвеєрна стрічка, що полегшує подачу на пакування макулатури, пластмаси та текстилю (автоматична подача матеріалів на горизонтально-похилий конвеєр, що живить пакувальний прес).

Слід зазначити, що для обслуговуючого персоналу, що працює на постах ручного відбору (пости обладнуються з двох сторін горизонтального сортувального конвеєра), створюються умови підвищеного комфорту. Як правило, лінії сортування розміщуються в спеціальних закритих застелених кабінах з місцевим посиленням освітленням, пилоподавленням та кондиціонуванням повітря. Сортувальні кабіни, в свою чергу, знаходяться

в будівлі, де розміщується весь комплекс з прийому сировини, її обробки та складування продукції.

У табл. 9.2 наведено відомості про продуктивність ручного сортування ТПВ по готовій продукції (дані Міжнародної асоціації по твердим відходам ISWA - International Solid Waste Association).

Провідні європейські фірми в області виробництва конвеєрного та пресового обладнання для комплексів по сортуванню і обробці вторсировини - Presona (Швеція), UTG (Німеччина), Macpresse (Італія), Imabe Iberica (Іспанія). За технологічними та економічними критеріями обладнання фірми Presona є кращим: підйомно-транспортне обладнання фірма випускає у вигляді пластинчастих конвеєрів, покритих суцільною гумовою стрічкою, що виключає просипання і полегшує експлуатацію; для пресового обладнання фірми характерний безперервний цикл робіт.

Таблиця 1.2 - Практичні відомості про продуктивність ручного сортування ТПВ (по готовій продукції)

№ п/п	Вид матеріала	Продуктивність, кг/год на одного працівника	Вилучення
1.	Газетний папір	700-4500	60-95
2.	Гофрокартон	700-4500	60-95
3.	Склотара (без сортування за кольором)	400-800	70-95
4.	Пластмасова упаковка (ПЕТФ, ПЕВД)	140-280	80-95
5.	Алюмінієві банки	45-55	80-95

В Україні в найближче десятиліття складно організувати повсюдний селективний збір відходів споживання у населення, хоча організація експериментального контейнерного збору цінних компонентів і пунктів прийому в населення вторсировини актуальна. Для залучення ТПВ в цивілізоване масштабне сортування з метою отримання цінних продуктів і мінімізації кількості відходів, які направляються на об'єкти їхньої переробки і захоронення, в українських умовах бажаний не покомпонентний, а пофракційний збір муніципальних відходів, з адаптацією західних технологій для сортування тих фракцій відходів, які вже збагачені небрудними цінними компонентами. Практично оптимальний склад ТПВ, що втягуються в переробку для отримання корисних продуктів, повинен підбиратися на основі організації в місті незмішуваних потоків відходів житлового та нежитлового сектора міста. Сортуванню на спеціальних об'єктах повинні піддаватися переважно відходи нежитлового сектору міста (відходи ринків, магазинів, установ, шкіл тощо), збагачені, в першу чергу, макулатурою і що характеризуються невисоким вмістом харчових і рослинних залишків. Ефективність ручного сортування багато в чому за-

лежить від організації роботи на стадії збору та транспортування муніципальних відходів.

Слід зазначити, що елементи ручного сортування включаються за кордоном в технологічні схеми комплексної переробки ТПВ. Як правило, ручному сортуванню піддається крупнокусковий матеріал (клас грохочення +200 мм, іноді +300 мм). Пояснюється це тим, що великий матеріал не містить харчових відходів; крім того, невеликий матеріал погано піддається ручному сортуванню.

1.2 Технологічна схема сепарації ТПВ

Як зазначено, ТПВ представляють собою гетерогенну суміш органічних і неорганічних компонентів складного морфологічного складу (чорні і кольорові метали, макулатура, текстильні компоненти, склобій, кераміка, пластмаса, харчові і рослинні відходи, каміння, кістки, шкіра, гума, дерево, вуличний змет і ін.), багато з яких, зокрема, метали, потрапляють в категорію відходів після разового використання.

Збагачення твердих побутових відходів має свою специфіку у виборі як процесів, так і апаратів. Навіть процеси, ідентичні для інших об'єктів збагачення, стосовно ТПВ характеризуються своїм режимом, мають відмінні деталі й особливості. У той же час, деякі пристрої і технологічні прийоми, які використовуються при збагаченні ТПВ, можуть бути застосовані при збагаченні викопного сировини.

Число збагачувальних операцій, їх вигляд і послідовність у технологічній схемі залежить від морфологічного і гранулометричного складу, вологості відходів, визначається завданнями сортування в кожному конкретному випадку і закономірностями збагачення сировинних матеріалів.

Узагальнення досвіду промислової практики сортування ТПВ показує, що якість продуктів, що виділяються при механізованому сортуванні за винятком металів, нижче, ніж при ручному сортуванні, внаслідок чого макулатура (у складі легкої фракції), склобій та ін збуваються із труднощами. З цих позицій, а також з урахуванням реальної цінності матеріалу і умов ринку, в якості основних корисних компонентів ТПВ при використанні механізованої сортування слід розглядати, в основному, чорні і кольорові метали, вміст яких в ТПВ постійно зростає.

Метали необхідно виділяти також і з тієї причини, що вони не повинні потрапляти в процеси спалювання та ферментації.

Виходячи з цього, в загальному випадку раціональна схема механізованого сортування ТПВ повинна передбачати:

- вилучення в самостійні продукти чорних і кольорових металів;
- розподіл потоку відходів на дві фракції - горючу і біорозкладавану (відповідно, для термообробки, біообробки або захоронення);

- видалення небезпечних і частини баластних компонентів.

Порівняння і вибір технологічних схем сортування ТПВ за критеріальною оцінкою ускладнені, так як не всі схеми мають однакове цільове призначення і не в рівній мірі враховують закономірності збагачення сировинних матеріалів (наприклад, є поодинокі випадки порушення відомого в практиці збагачення принципу «не дробити нічого зайвого»), коли дробленню піддають всю масу вихідних ТПВ, що погіршує ефективність подальшої сепарації і збільшує витрати, не даючи при цьому ніяких очевидних переваг).

У зарубіжній практиці сортування ТПВ найбільш часто починається з операції грохочення; окремі класи крупності цієї операції збагачуються роздільно тим чи іншим методом, що в підсумку дає певний технологічний ефект (підвищення вилучення, чистоти розподілу). У той же час досвід показує, що встановлення барабанного грохота на початку процесу недоцільна, оскільки його отвори легко забиваються текстильними і вологими компонентами. Аналогічні складності відзначаються при грохоченні вихідних ТПВ по класу 70-100 мм на заводах у Франції та Швейцарії.

Враховуючи специфічність вітчизняних ТПВ, механічне перенесення західних технологій сортування в українські умови не є оптимальним рішенням. Будь-яка західна технологія повинна бути адаптована до українських умов з урахуванням технологічних властивостей ТПВ, зазначених вище.

Аналіз сучасних зарубіжних технологій сепарації ТПВ («ORFA» - Швейцарія; «Foster Wheeler» - Чикаго; «Сорайн Чеккіні» - Італія; «Asahi Juken» - Японія; «Кельн» - Німеччина) показує, що вони не є універсальними і їх недоцільно використовувати при переробці українських ТПВ, що відрізняються більш складним складом. Можна відзначити, що в більшості випадків закордонні технології вирішують приватні задачі вилучення тих чи інших цінних компонентів (або суміші компонентів) і не вирішують комплексно завдання підготовки відходів до подальшої переробки тим чи іншим методом [18-25].

Практикою доведена також невисока ефективність грохочення ТПВ по тонких класах крупності, тому технологічні схеми, що включають такі операції, не є оптимальними. Застосування ручної праці в технологіях сепарації ТПВ не є перевагою технології, а механізоване вилучення кольорових металів з ТПВ реалізовано тільки в технології фірми Foster Wheeler.

Як показує аналіз, практично всі зарубіжні технології передбачають регулювання потоку відходів, що піддаються сепарації, за допомогою грохочення. Очевидно, ефективність технології сепарації буде вищою, якщо для регулювання потоку відходів, які направляються на сепарацію, використовувати не тільки методи грохочення (сепарація ТПВ на вузькі класи крупності утруднена), але і повітряну сепарацію, що розділяє потік ТПВ на легку і важку фракції. Аеросепарація основного потоку ТПВ є також

операцією, яка поліпшує санітарно-гігієнічні умови праці, що сприяє підсушуванню відходів, підвищення повноти вилучення металів, відділенню інертних компонентів.

Таким чином, актуальним завданням є використання при проектуванні вітчизняних заводів працездатною, апробованої технології сепарації ТПВ, що повною мірою враховує їх специфічний склад, а також досягнення світової практики в цій галузі.

Разом з тим, закордонні технології недоцільно використовувати без адаптації для сепарації українських ТПВ.

За даними ситового аналізу морфологічного складу, основна частина ТПВ, що утворюються у населення, припадає на клас -150 мм (більше 80% від маси ТПВ); в цьому класі концентрується близько 80% чорного металу, близько 80% лудженої тари, більше 95% брухту алюмінію, більше 60% паперу (від загального вмісту цих компонентів в ТПВ). При збагаченні ТПВ стоїть технічна задача селективного розділення компонентів, що входять у вузький клас крупності -200 (-150) +0 мм, а також відділення крупнокускових компонентів. Побудова технологічної схеми збагачення ТПВ в загальному випадку визначається з чотирьох основних умов:

- морфологічного складу ТПВ;
- числа компонентів, які входять до складу ТПВ, представляють практичну цінність в даних техніко-економічних умовах і повинні вилучатись як самостійний продукт;
- вимог, що пред'являються до продуктів збагачення;
- числа компонентів, які входять до складу ТПВ, є небезпечними або баластними в даних умовах і повинні видалятися з процесу переробки.

При створенні ефективної вітчизняної технології сортування складних по складу українських ТПВ за основу необхідно прийняти:

- вилучення з потоку ТПВ кольорових металів без поділу потоку на легку і важку фракції утруднене, так як кольоровий металобрухт «заплутується» в легких компонентах ТПВ і його важко виділити в самостійний продукт; з цієї ж причини неможливо забезпечити і високу ступінь вилучення чорного металобрухту;

- найбільші компоненти чорного металобрухту, а також текстильні компоненти повинні бути вилучені на початку процесу, що дозволить найкращим чином реалізувати аеросепарацію для поділу ТПВ на дві фракції (зменшення потоку матеріалу, ударного навантаження на апарати, запобігання забивання і т.д.); після виділення з ТПВ крупного металобрухту, текстильних і полімерних матеріалів відходи за своїм складом наближаються до ТПВ європейських країн, у зв'язку з чим принципово можливе застосування операції грохочення в барабанному грохоті;

- після видалення з ТПВ легкої фракції повинна бути введена операція довилучення чорних металів, оскільки їх присутність в потоці ускладнює застосування електродинамічної сепарації;

- колективний магнітний концентрат повинен піддаватися переписній сепарації (для забезпечення відповідності вмісту металу в готовому продукті чинним стандартам);

- із збагачених фракцій, що спрямовуються на термічну і бестермічну обробку, бажано видалити відпрацьовані електробатарейки;

- фракція ТВ, що спрямовується на термообробку, повинна бути максимально збагачена горючими компонентами при максимально можливому видаленні шкідливих і баластних компонентів; бажано також забезпечити підсушування легкої фракції;

- бажана, по можливості, моношарова подача матеріалу в процес сортування.

Технологічна схема сортування ТПВ, основні операції якої відпрацьовані на потоці ТПВ при продуктивності 15 т/год, наведена на рис. 1.22.

Вибір режимів, що забезпечують селективність збагачення і повноту вилучення, базується на забезпеченні максимальної ефективності сепарації в кожній збагачувальній операції як складової частини єдиної технології.

Дослідження сепараційних операцій, вивчення ТПВ як об'єкта сепарації та аналіз практики діючих підприємств дозволяють обґрунтовано сформулювати принципи побудови технологічної схеми сепарації ТПВ та об'єднання окремих операцій в єдину технологію:

- видалення на початку процесу компонентів, що ускладнюють подальшу сепарацію (крупнокускові і волокнисті компоненти, лом чорних металів);

- мінімізація кількості відходів для дроблення;

- роздільна сепарація легкої та важкої фракції;

- реалізація в схемі можливості регулювання масового потоку відходів (регулювання виходу легкої та важкої фракції за допомогою аеросепарації);

- направлення на аеросепарацію і електродинамічну сепарацію фракції ТПВ крупністю -250 мм;

- найбільш повне виділення чорних металів перед електродинамічною сепарацією;

- максимально можливе видалення баластних та екологічно небезпечних компонентів з фракції ТПВ, що спрямовується на термообробку (при максимальному збагаченні цієї фракції горючими компонентами).

Найбільш повне і селективне розділення ТПВ на компоненти досягається при моношаровій подачі їх до сортувальних апаратів і пристроїв, коли окремі компоненти не перекривають один одного і знаходяться в роз'єднаному стані. Моношарова подачу відходів в процесі сепарації забезпечують їх розподіл на легку і важку фракції і ступінчасте збільшення швидкості потоку ТПВ перед кожною наступною операцією збагачення по ходу технологічного процесу (від 0,2 до 1,5 м/с).

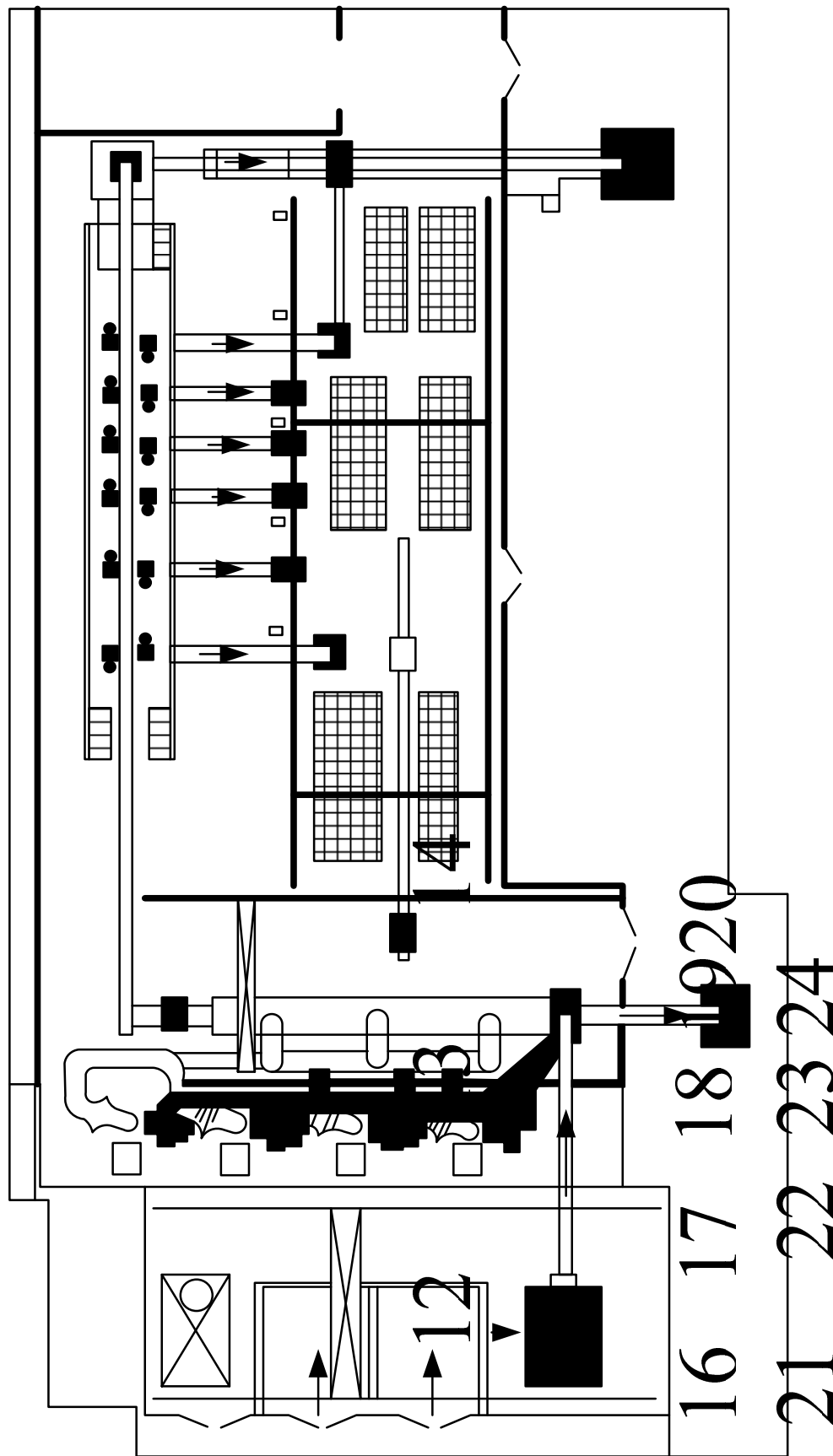


Рисунок 1.22 – План приміщень і розміщення обладнання.

Експлікація приміщень та елементів технологічного процесу: 1 - відсік прийому ТПВ валового збору; 2 - відсік прийому; 3 - кран мостовий грейферний в/п 3,2 т, 4 - приймальний бункер з пластинчастим живильником; 5, 8, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 27 - стрічковий конвеєр; 6 - сушильно - знезаражуюча камера; 7 - повітряно-циркуляційна система; 9 - бункер прийому непереробних відходів; 12 - технологічний майданчик з металоконструкцій; 13 - жолоб для подачі вторсировини на конвеєр; 14 - робоче місце сортувальника вторсировини; 21, 22, 23, 24 - комплекси для пакування ВПС, макулатури, картону, текстилю; 26 - електромагнітний залізовідділювач; 28 - прес для металобрухту; 29 - контейнер збору вторинних пляшок ПЕТ; 30 - бункер збору непереробних відходів фр. > 60 мм ємн. 12 м³; 31 - підвісний електричний кран в/п до 1 т; 32 - установка по знезараженню ТПВ (резервний варіант); 33 - вагонетка для внутрішньоцехового транспорту пакетованої вторсировини; 34, 35 - майданчики тимчасового зберігання пакетованого; 36 - кран - балка в/п 3 т.

1.3 Історія виникнення термічної переробка ТПВ

З різних методів переробки ТПВ найбільш відпрацьованим є спалювання. Можливість використання цього методу для переробки ТПВ базується на морфологічному складі ТПВ, які містять до 70-80% органічної (горючої) фракції.

Історично спалювання стало першим технічним напрямом, який людство застосувало на практиці, вступивши у фазу планомірної боротьби з муніципальними відходами: перше «сміттєспалювальний заклад» було побудовано в 1878 р. поблизу Лондона. Природно, в першу чергу такі установки стали будувати в країнах з відносно малою площею та високою щільністю населення. В даний час сміттєспалювання найбільш поширене в Японії, Швейцарії, Данії, Швеції, Німеччині, Нідерландах, Франції.

У 80-х роках ХХ століття кількість спалюваних відходів на душу населення становило: в СРСР, Норвегії та Іспанії - 0,05 кг/чол. на добу; у Великобританії, Італії, США, Канаді та Фінляндії - 0,05-0,15; у Франції, Японії, Австрії, ФРН, Бельгії та Нідерландах - 0,25-0,4; в Швеції, Швейцарії, Данії, Люксембурзі і Монако - більше 0,5. В даний час в європейських країнах з застосуванням термічних методів переробляють 25-30% обсягу міських відходів, в Японії - 65-70%, в США - 15-20%.

Оскільки спалювання являє собою екзотермічний процес, тепло, що виділяється, може бути утилізовано.

З поглибленням енергетичної кризи в середині 70-х років ТПВ стали розглядати як енергетичну сировину. Було підраховано, що при спалюванні 1 т ТПВ можна отримати 1300-1700 кВт-год теплової енергії або 300-50 кВт-год електроенергії. Саме в цей період відзначається досить інтенсивне будівництво сміттєспалювальних заводів з утилізацією тепла

відхідних газів. А також розвиток робіт з отримання горючої фракції ТПВ палива у вигляді брикетів для використання на електростанціях в суміші з вугіллям (частка підмішуваних відходів - до 20%). Це паливо з відходів в різних країнах отримало різні назви: «RDF» в США, «BRAM» в Німеччині, «Brini Fuel» в скандинавських країнах. В даний час виробництво з ТПВ брикетованого палива для продажу стороннім споживачам втратило актуальність і застосовується рідко; кращим є виробництво енергії безпосередньо на заводі з переробки ТПВ із забезпеченням енергетичних потреб самого заводу і передачею надлишків енергії споживачам.

До 2000 р. у різних країнах діяло понад 400 заводів, на яких застосовувалося спалювання ТПВ з виробництвом пари і виробленням електроенергії.

Підраховано, що в Західній Європі спалювання всіх відходів, що утворюються, могло б покрити 5% споживаної теплової енергії для побутового сектору. У той же час, наприклад, у Швеції тепла енергія, що виробляється на сміттєспалювальних заводах, складає 13% потреби побутового сектору країни в теплі.

У 1996 р. в світі діяло близько 2400 заводів, на яких використовувалися термічні процеси для переробки ТПВ або виділених з них горючих фракцій. Передбачається, що до 2005 р. в світі буде діяти близько 2800 таких заводів.

Більшість європейських сміттєспалювальних заводів мають продуктивність від 170 до 800 т/добу. і переважно використовують котлоагрегати невеликої та середньої продуктивності - 5-15 т/год.

Техніка та технологія спалювання ТПВ безперервно удосконалювалися.

У 30-ті роки були розроблені печі для безперервного кульового спалювання ТПВ, здійснюваного на колосниковій ґратці, встановленій в нижній частині печі.

На початку 80-х років стали з'являтися котлоагрегати з топками з псевдозрідженим шаром (система «тверде-газ»), а в кінці 80-х - печі з циркулюючим киплячим шаром, що більшою мірою відповідають екологічним вимогам, які не потребують обов'язкової підготовки відходів до спалювання.

На початку 90-х років були проведені дослідження по спалюванню ТПВ в шарі барботированого шлакового розплаву при температурі 1350-1500 °С із застосуванням збагаченого киснем дуття, що в принципі дозволяє знизити об'єм газів, що відходять, і отримати знешкоджений шлак.

І, нарешті, в останні роки були розроблені та апробовані нові комбіновані термічні методи переробки ТПВ, що включають процеси «піроліз-спалювання» і «піроліз-газифікація».

Сучасні термічні процеси є екологічно безпечними при термообробці підготовлених ТПВ, при дотриманні технологічних норм і при використанні сучасних методів газоочистки (в свою чергу, ефективність газоочистки багато в чому визначається реалізацією так званих первинних заходів в термічному процесі). В цьому випадку, за даними практики Німеччини, промислові викиди знаходяться значно нижче меж, що регламентуються жорстким природоохоронним законодавством.

Кількість і склад димових газів, що утворюються при термічній обробці ТПВ, залежать від складу відходів, що застосовується обладнання та режиму процесу. Так, при шаровому спалюванні з 1 т ТПВ утворюється 4,5-6 тис. м³ газів; при газифікації відходів або їх спалюванні з використанням кисневого дуття, обсяг газів, що відходять, знижується до 600-1000 м³/т.

Крім газів, що відходять, при спалюванні 1 т ТПВ утворюється 700-1100 м³ водяної пари, 200-400 кг шлаку і 20-50 кг летючої золи.

Ефективність термічної переробки ТПВ визначається складом відходів, технологією процесу, ступенем підготовки відходів до спалювання і стабілізацією їх складу, режимом процесу (температурою процесу, часом перебування газів, що відходять, в камері спалювання, температурою відхідних газів, кількістю і розподілом дуттєвого повітря), технологією автоматизації процесу.

Витрата повітря на спалювання в сучасних котлоагрегатах може підтримуватися на мінімально можливому рівні (концентрація кисню в димових газах не більше 3% при вмісті СО не більше 10 мг/м³). Дуттєве повітря виконує кілька функцій: постачає кисень для горіння органічних компонентів відходів, регулює процес спалювання неоднорідної сировини, змішує димові гази, охолоджує вузли котлоагрегату та димовий газ.

У зв'язку з тим, що дорога газоочистка погіршує економічні показники заводів, підвищується значення прямого відновлення матеріалів, що потрапляють у відходи, збагачення відходів та реалізації первинних заходів, що полегшують газоочистку: зменшення потоку відходів, які направляються на спалювання (за рахунок селективного збору та сортування), стабілізація складу відходів, виділення перед спалюванням не тільки корисних, але й небезпечних компонентів і ін.

У Німеччині, наприклад, де традиційно переважають термічні методи переробки ТПВ та технічний розвиток у цій області до останнього часу було пов'язаний саме з вдосконаленням термічних технологій, названі проблеми певною мірою вирішуються за рахунок організації селективного збору відходів у місцях їх утворення. При цьому селективним збором охоплені не тільки ті чи інші цінні компоненти (скло, метали, макулатура та ін.) Можна констатувати, що такі небезпечні відходи, як відпрацьовані електробатарейки, в ТПВ практично не потрапляють. Аналогічна ситуація склалася в Японії і низці інших країн.

В Україні селективний збір ТПВ практично відсутній, тому при виборі технологічних рішень необхідно враховувати відмінності у складі відходів, що піддаються термічній переробці, в західних країнах і в Україні. Крім того, ТПВ західних країн значно перевершують українські по калорійному потенціалу.

Оскільки спалювання ТПВ є ефективним способом знешкодження відходів, необхідно визначити оптимальне місце сміттєспалювання в системі комплексної переробки ТПВ. Очевидно, що спалюванню слід піддавати не всю утворювану масу ТПВ, а переважно їх горючу, досить усереднену фракцію, що істотно знизить шкідливий вплив газових викидів на навколишнє середовище, зменшить потрібну продуктивність печей і дозволить виділити цінні компоненти ТПВ для використання як вторинної сировини.

Основна тенденція розвитку сміттєспалювання - перехід від прямого спалювання ТПВ до оптимізованого спалювання виділеної з ТПВ горючої (паливної) фракції і перехід від спалювання як процесу ліквідації ТПВ до спалювання як процесу, що забезпечує поряд із знешкодженням відходів отримання теплової та електричної енергії.

Основні переваги сучасних методів термічної переробки:

- зниження обсягу відходів у 10 разів;
- ефективне знешкодження відходів;
- попутне використання енергетичного потенціалу органічних відходів.

При енергетичному використанні відходи можна розглядати як нетрадиційне паливо. У той же час спалювання слід оцінювати, насамперед, як метод переробки відходів, а не спосіб виробництва енергії, тобто пріоритетними вважати умови, оптимальні для зниження екологічної небезпеки технології, а не для досягнення максимально можливого виробництва енергії [10-13, 18-20].

1.3.1 Оцінка потенційно небезпечних інгредієнтів, що впливають на газові викиди при термічній переробці ТПВ

Для проектування заводу, який задовольняє еколого-економічним вимогам, необхідно володіти досить фундаментальними знаннями про потенційно небезпечні інгредієнти, що містяться у відходах і утворюються при їх спалюванні, а також їх поведінку в процесі спалювання.

Тверді побутові відходи являють собою гетерогенну суміш, в якій присутні майже всі хімічні елементи у вигляді різних сполук.

Найбільш поширеними елементами є вуглець, на частку якого припадає близько 30% (за масою) і водень (4% за масою), що входять до складу органічних сполук; теплотворна здатність ТПВ складає 1900-2400 ккал/кг, досягаючи в ряді випадків 3300 ккал/кг; прогнозується подальше

зростання теплотворної здатності відходів, що вплине на конструктивні особливості елементів термічного обладнання.

Спалювання ТПВ, як правило, є окислювальним процесом, і в камері спалювання переважають окислювальні реакції. Головними продуктами згоряння вуглецю і водню є відповідно CO_2 і H_2O ; при неповному згорянні (умови недопалювання) утворюються небажані продукти - монооксид вуглецю CO , низькомолекулярні органічні сполуки, поліциклічні ароматичні вуглеводні, сажа та ін.; аналогічні з'єднання можуть бути продуктами реакцій, що відбуваються в зоні більш холодних елементів обладнання (наприклад, на виході з печі, на стадії газоочистки і т.п.).

При спалюванні необхідно враховувати, що в ТПВ присутні потенційно небезпечні елементи, які характеризуються високою токсичністю, високою летючістю і підвищеним вмістом: різних сполук галогенів (фтору, хлору, броду), азоту, сірки, важких металів (міді, цинку, свинцю, кадмію, олова, ртуті).

У табл. 1.3 приведений порівняльний вміст у ТПВ та земній корі ряду небезпечних елементів.

Таблиця 1.3 - Порівняльний вміст низки небезпечних елементів в ТПВ та земній корі

Елементи	Вміст, г/т	
	ТПВ	Земна кора
Хлор	5000-8000	150
Бром	30-200	2,4
Сірка	1000-3000	500
Мідь	200-1000	60
Цинк	600-2000	70
Свинець	400-1000	14
Ртуть	0,5-5	0,1
Кадмій	5-15	0,15

З таблиці видно, що вміст у ТПВ галогенів, сірки і важких кольорових металів на 1-2 порядки вище, ніж в земній корі.

В умовах спалювання ТПВ галогени переважно знаходяться у формі їх сполук з воднем (HCl , HBr , HF), які є найбільш стійкими продуктами згоряння.

Сірка переважно (до 70%) переходить в нелеткі сульфати, що потрапляють в шлак, і в летючий діоксид сірки SO_2 .

Всі летючі продукти реакцій потрапляють в димові гази. В неочищених димових газах приблизні концентрації викидів складають (мг/м^3):

HCl - 300-1000, HBr - 100-500, HF - 2-10, SO_2 - 100-500.

Сухі ТПВ містять близько 1% азоту (за масою). Основний продукт окислення азоту - монооксид азоту NO, його звичайна концентрація в неочищеному газі - 200-400 мг/м³.

Деякі важкі метали, містяться в ТПВ (залізо, хром, нікель), не утворюють летючих продуктів при спалюванні і в основному переходять в шлак.

З важких металів свинець та кадмій утворюють хлориди, що уносяться з димовими газами. При охолодженні димових газів до 200 °С вони конденсуються і уловлюються разом із золою на стадії газоочистки. У той же час один з найбільш токсичних металів - ртуть та її сполуки залишаються, головним чином, у газовій фазі і при більш низьких температурах.

За останнє десятиліття вміст у ТПВ важких металів різко підвищився за рахунок відпрацьованих сухих гальванічних елементів, акумуляторів, ламп розжарювання, люмінесцентних ламп, синтетичних матеріалів (барвники, стабілізатори), металевих покриттів шкіри та ін. За даними практики Німеччини, в 1 т ТПВ в середньому міститься 300 г сухих батарей, і в ТПВ міста з населенням 0,5 млн. чоловік накопичується щорічно близько 50 т брухту сухих батарей. Вміст ртуті в цьому брухті коливається в межах 1-25%, в брухті нікель-кадмієвих акумуляторів міститься близько 15% кадмію. Загальний вміст кадмію в ТПВ Німеччини становить 10-15 мг/кг (основні джерела кадмію - синтетичні матеріали і батарейки).

За даними, отриманими в США, головними джерелами свинцю в ТПВ (і, відповідно, в газових викидах при спалюванні відходів) є: 65% - свинцево-кислотні акумулятори (переважно, автомобільні), 27% - споживча електроніка, 4% - скло і кераміка, 2% - пластмаси (температурні стабілізатори та барвники), а джерелами кадмію: 54% - побутові гальваноелементи (відпрацьовані батарейки), 28% - пластмаси, 9% - споживча електроніка, 5% - інші побутові прилади (мийні машини і т. п.), 4% - барвники; основне джерело ртуті - відпрацьовані батарейки.

При спалюванні ТПВ 90% кадмію потрапляє в димові газу і осідає, в основному, на дрібних (менше 2 мкм) частинках летючого попелу. Тому при газоочистці завдання багато в чому зводиться до максимально повного уловлювання летючого попелу, яка характеризується не тільки високим вмістом кадмію, але і свинцю, та інших металів.

За даними практики, концентрація металів в газах при спалюванні вихідних ТПВ в 10-100 разів перевищує концентрацію металів в відведених газах енергетичних установок, що працюють на кам'яному вугіллі, тобто важкі метали є специфічними викидами сміттєспалювальних заводів.

В процесі спалювання ТПВ, особливо в умовах недопалювання, утворюються дуже токсичні сполуки - поліхлордібензодіоксини і поліхлордібензофурані.

Прагнення до досягнення при спалюванні максимально високих температур і створення будь-яких додаткових зон допалювання не вирішує повністю проблему зниження концентрації діоксинів у відхідних газах, тому що не враховує здатності діоксинів до нового синтезу при зниженні температури. У той же час із збільшенням температури збільшується вихід летких металів і їх вміст в летючій частці (особливо із збільшенням вмісту в спалюються відходи хлорорганічних речовин).

Теоретично можливі два способи придушення утворення діоксинів:

- зв'язування утворюваного при спалюванні ТПВ HCl за допомогою соди, вапна, гідроксиду калію;

- переведення в неактивну форму іонів міді та заліза, наприклад, зв'язування міді в комплекси з допомогою амінів.

1.3.2 Вибір температури термічного процесу

Термічна переробка ТПВ по суті є високотемпературним окисленням органічних компонентів. Температура термічного процесу не може бути довільною, вона диктується конкретними екологічними і технологічними вимогами.

1. Для мінімізації виходу шлаку і токсичних летючих органічних сполук необхідно забезпечити максимально повне термічне розкладання органічних компонентів ТПВ (в умовах недопалювання утворюються моноксид вуглецю, сажа і створюються оптимальні умови для утворення дібензооксінов і дібензофуранів - найбільш токсичних і небезпечних сполук).

За даними практики, при використанні технології спалювання в циркулюючому киплячому шарі, що забезпечує найбільш інтенсивне перемішування підготовленого (дробленого) матеріалу і його хороший контакт з теплоносієм, мінімально необхідна температура процесу становить 850 °C - вміст недопалювання в шлаку при такому режимі знаходиться на рівні 1% (практично спалювання в киплячому шарі реалізують при температурі 850-950 °C).

При використанні технології шарового спалювання неподготовлених (не дроблених) ТПВ настільки інтенсивне перемішування матеріалу неможливо, і необхідна температура процесу становить 900-1000 °C (кількість недопалювання в цих умовах при правильно організованому процесі не перевищує 2-3%).

Для процесу газифікації ТПВ або їх збагаченої фракції в щільному шарі кускового матеріалу з використанням в якості газифікуючого агента паро-повітряної суміші, необхідна температура, за даними експериментів, не менше 1200 °C (для порівняння - класична некаталітична газифікація вугілля активно протікає при температурі вище 900 °C).

2. Для забезпечення розкладання утворюються в процесі спалювання органічних сполук (в першу чергу, дібензооксинів і дібензофуранів) до нешкідливих і нетоксичних речовин мінімально необхідна температура при спалюванні в киплячому шарі, за даними досліджень ЕРА, становить 850 °С (при цьому час перебування газів, що відходять в камері спалювання, повинен бути не менше 2 секунд). По суті, екологічні вимоги до температури процесу збігаються з технологічними. У реальних умовах для гарантії розкладання небезпечних сполук передбачається перебування газів, що відходять, в камері спалювання протягом не менш, ніж 3 секунд.

3. Для знешкодження шлаку (отримання в процесі термічної переробки ТПВ шлакового розплаву і його подальшого склування) температура процесу повинна бути вище температури плавлення шлаку (1300 °С).

Орієнтовний склад шлаку європейських заводів (г/кг): Si - 500; Ca - 150; Fe - 30-50 (до 100); Al - 100; Na, K - 60; Mg - 25; C - 15; S - 5 -10; Zn - 2-8; Cu - 1-4; Pb - 1-3,5; Ni - 0,1-0,4; Cr - 0,15-0,6; Cd - 0,003-0,3 ; Hg - 3 · 10⁻⁴; Cl - 3; F - 0,3. Переважна крупність шлаку становить - 25 +4 мм (вихід за масою 50%). Важкі метали в шлаку знаходяться у вигляді оксидів (переважно в класі -1 мм).

Практично в реальних процесах зазвичай підтримують температуру 1350-1500 °С:

- для отримання шлакового розплаву в процесі Ванюкова необхідна температура становить 1350-1400 °С;

- для отримання електрошлакового розплаву температура становить 1400-1500 °С;

- для отримання розплаву шлаку в процесі «напівкоксування-спалювання» (спільне спалювання пірогазу і твердого вуглецевого органічного залишку, відокремленого від мінеральної фракції) достатня температура, за даними практики, 1300 °С;

- в процесі газифікації твердого піролітичного залишку ТПВ (вуглецевого залишку, відокремленого від мінеральної фракції або спільно з нею) при реалізації комбінованих технологій «піроліз-газифікація» з рідким шлакоувидаленням і використанням в якості газифікуючого агента кисню, великий вміст кисню в дутті забезпечує високу температуру процесу - до 2000 °С.

1.3.3 Класифікація технологій термічної переробки

В даний час для практичного використання запропоновані десятки варіантів термічних технологій, більшість з яких рекламуються як найкращі у світовій практиці. Тому дуже важливо визначити оптимальну область застосування кожного методу і його реальну практичну цінність.

Критичний аналіз і зіставлення термічних технологій неможливі без їх чіткої класифікації.

В залежності від температури процесу, всі методи термічної переробки ТПВ, що знайшли промислове застосування або пройшли досліду апробацію, можна розділити на дві великі групи: процеси при температурах нижче температури плавлення шлаку і процеси при температурах вище температури плавлення шлаку. У свою чергу, за принциповим характером процесу з цих груп можна виділити по три підгрупи, які піддаються детальній класифікації по конкретному виду застосовуваної технології (табл. 1.4).

Основні фактори, що впливають на вибір термічної технології - ступінь готовності процесу до промислового використання, допустима продуктивність обладнання, еколого-економічні критерії (екологічний вплив, капітальні та експлуатаційні витрати), експлуатаційні критерії (міжремонтний пробіг допоміжного обладнання, ремонтпридатність, надійність в роботі, можливості автоматизації).

Технологія термічного знешкодження твердих побутових відходів харківського мегаполісу на стаціонарній установці МСУ-100, розробленої науково-виробничою фірмою «Північно-Східний науковий центр Національної академії наук України» (рис. 1.23), є компромісною серед інших технологій і розрахована на переробку ТПВ змінного складу і змінної вологості.

Установки призначені для спалювання твердих побутових і горючих промислових відходів, непридатних до використання лікарських засобів, отрутохімікатів і т.п.

Таблиця 1.4 - Класифікація методів термічної переробки ТПВ

№ п/п	Група (температура процесу)	Підгрупа (принциповий характер процесу)	Вид (застосовувана технологія)
1	2	3	4
1	Термічні процеси при температурах нижче температури плавлення шлаку	1. Шарове спалювання з примусовим перемішуванням і переміщенням матеріалу	а) на перештовхуючих ґратах; б) на валкових ґратах; в) в барабанних печах, що обертаються
		2. Спалювання у киплячому шарі	а) в стаціонарному киплячому шарі; б) в вихровому киплячому шарі; в) в циркулюючому киплячому шарі

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
1		3. Спалювання-газифікація у щільному шарі кускового матеріалу без примусового перемішування та переміщення матеріалу	а) паро-повітряна класифікація (процес Інституту хімічної фізики РАН в Чорноголовці)
2	Термічні процеси при температурах вище температури плавлення шлаку	1. Спалювання в шарі шлакового розплаву	а) з використанням збагаченого киснем дуття (процес Ванюкова); б) з використанням в якості дуття природного газу (ф'юмінг-процес); в) з використанням електрошлакового розплаву
		2. Спалювання в щільному шарі кускового матеріалу і шлаковому розплаві без примусового перемішування та переміщення матеріалу	а) доменний процес (з використанням підігрітого до 1000°C повітря)
		3. Комбіновані процеси	а) піроліз-спалювання пірогазу та відсепарованого вуглеводневого залишку з використанням незбагаченого дуття (процес Siemens); б) піроліз-газифікація (отримання синтез-газу при сумісній термообробці пірогазу, відсепарованого від металів вуглеводневого залишку та мінеральних компонентів) з використанням збагаченого киснем дуття (процес «Noell»); в) піроліз-газифікація (отримання синтез-газу при сумісній термообробці пірогазу, вуглеводневого залишку та мінеральної фракції з використанням збагаченого киснем дуття (процес «Thermoselect»))

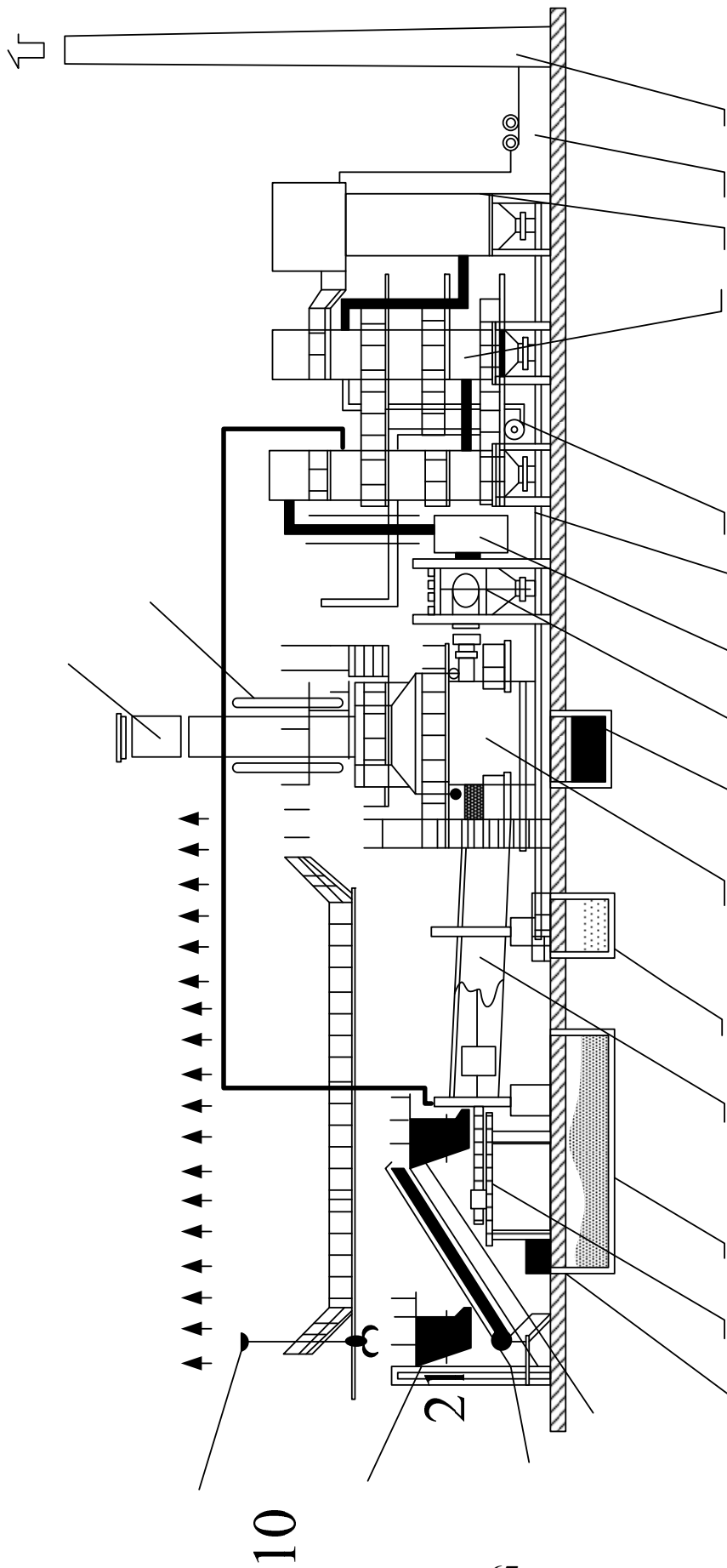


Рисунок 1.23 – Будова стаціонарної сміттєспалювальної установки СУ -700 :

- 1 - кран - балка з грейфером; 2 - відсік для прийому відходів; 3 - проміжний бункер; 4 - стрічковий конвеєр, 5 - авантажувальний бункер, 6 - авантажувальний пристрій, 7 - дробарка для відсортованих пластмасових відходів; 8 – піч, що обертається; 9 - камера допалювання; 10 - кришка димаря прямого скиду з пневмоприводом; 11 - ванна для прийому шлаку; 12 - інерційно-вихровий коаксіальний пиловловлювач; 13 - каталітичний апарат; 14 - скребковий конвеєр; 15 - рекуператор; 16 - вентилятор високого тиску; 17 - фільтр рукавний; 18 - димосос; 19 - димова труба; 20 - бункер для шлаку; 21 – котел – утилізатор

Сміттєспалювальні установки виробляються як мобільні (на залізничних платформах або автотранспорт) одиничною потужністю від 50 до 300 кг/год (0,25-1,5 м³/год), обладнані камерною піччю, так і стаціонарні одиничною потужністю до 6 т/год (30 м³/год), обладнані піччю, що обертається.

В даний час знаходяться в експлуатації дві мобільні установки одиничною потужністю 150 кг/год, одна на Південній залізниці, друга в морському порту «Південний» (Одеська область).

У м. Люботин (Харківська область) введена в експлуатацію стаціонарна установка (рис. 1.24) одиничною потужністю до 1 т/год (5 м³/ч).

Технологічний процес переробки відходів в установці будь-якого типу включає в себе:

- приймання відходів;
- завантаження відходів в піч;
- спалювання відходів у печі, що обертається;
- збір та утилізацію золи та шлаку;
- охолодження, очищення і викид в атмосферу продуктів згоряння.

По складу зола відповідає речовинам 4-го класу небезпеки і може бути використана для підсипання доріг, насипів, а також як заповнювач при виробництві бетонних виробів типу тротуарної плитки, облицювальних плит комунікаційних тунелів і т.п.

Багатоступенева система газоочистки забезпечує комплексну очистку продуктів згоряння до Європейських нормативів. Технологія очищення наступна:

- допалювання важких вуглеводнів і оксиду вуглецю відбувається в камері допалювання при температурі 950-1050 °С;
- для збільшення ступеня знешкодження органічних високотоксичних шкідливостей продукти згоряння проходять через каталітичний реактор. Недогорілі в камері допалювання печі важкоокислювані органічні шкідливості, включаючи бенз(а)пірен, діоксини та інші, знешкоджуються на каталізаторі;
- очищення продуктів згоряння від кислих неорганічних сполук проводиться за рахунок упорскування в них лужного розчину;
- механічні забруднення, включаючи з'єднання важких металів і залишкові кількості сажі, осідають в інерційно-вихровому і касетному тканинному фільтрах [17-26].

Охолодження продуктів згоряння здійснюється в теплоутилізаційних пристроях з підігрівом повітря горіння до 400 °С в установках будь-якого типу і отриманням теплової та (або) електричної енергії в стаціонарних установках в кількості 3,5-4,5 ГДж/т відходів.

Собівартість переробки відходів не перевищує 10 грн/м³.

На всіх типах установок передбачена практично повна механізація виробничого процесу та автоматизація управління режимами роботи.

1.4 Технологічні основи переробки полімерних відходів

До основних технологічних операцій, що виконуються при підготовці до переробки вторинної полімерної сировини, відносять:

- попереднє розбирання відходів за габаритами, за кольором, частково за видами композиційних полімерних матеріалів;
- подрібнення;
- очищення від сторонніх включень і прилиплому бруду;
- механізований розподіл відходів за типами полімерів;
- сушку (зневоднення);
- модифікацію матеріалу (введення наповнювачів, барвників, стабілізаторів, пластифікаторів та ін. добавок);
- гранулювання.

Гранульований полімерний матеріал є найкращою формою сировини для переробки його у виробі на сучасному обладнанні: термопластавтоматах, черв'ячних пресах (екструдерах), видувних агрегатах, каландрах і т.д.

Попереднє розбирання відходів за габаритами, за кольором, за ступенем забруднення, частково по полімерних матеріалів, як правило, здійснюють вручну, тому першою механізованою операцією з підготовки відходів до переробки є подрібнення.

Всі види відходів термопластичних полімерних матеріалів подрібнюють в роторних ножових подрібнювачах, що відрізняються розміром ротора, його формою, кількістю рухомих ножів, встановлених на роторі, і нерухомих ножів в корпусі подрібнювача, потужністю встановленого електродвигуна приводу і ін.

Роторні ножові подрібнювачі призначені для безперервного подрібнення матеріалу між ножами, встановленими в корпусі і на роторі, що обертається (рис. 1.24). Ступінь подрібнення визначається величиною отворів сита, огороджуючого знизу, або ж з бокової сторони камери подрібнення.

Спеціалізовані подрібнювачі мають вхідні вікна в корпусі, відповідні формі перероблюваного виду відходів: щілинні - для листів і плівок; круглі або квадратні - для переробки труб і профільних погонажних виробів.

Вхідний отвір бункера подрібнювача закривають гумовими або пластмасовими заслінками, ланцюгами або набором металевих пластин з метою усунення викиду сировини.

У випадку, якщо подрібнювач використовується для переробки однотипних бракованих деталей або іншого виду відходів полімерів, то додатково встановлюють пристрій для механізованої подачі цих матеріалів в

завантажувальний отвір бункера: стрічкові і шнекові транспортери, віброживильники, ковшові підйомники, циклони і шлюзові затвори.

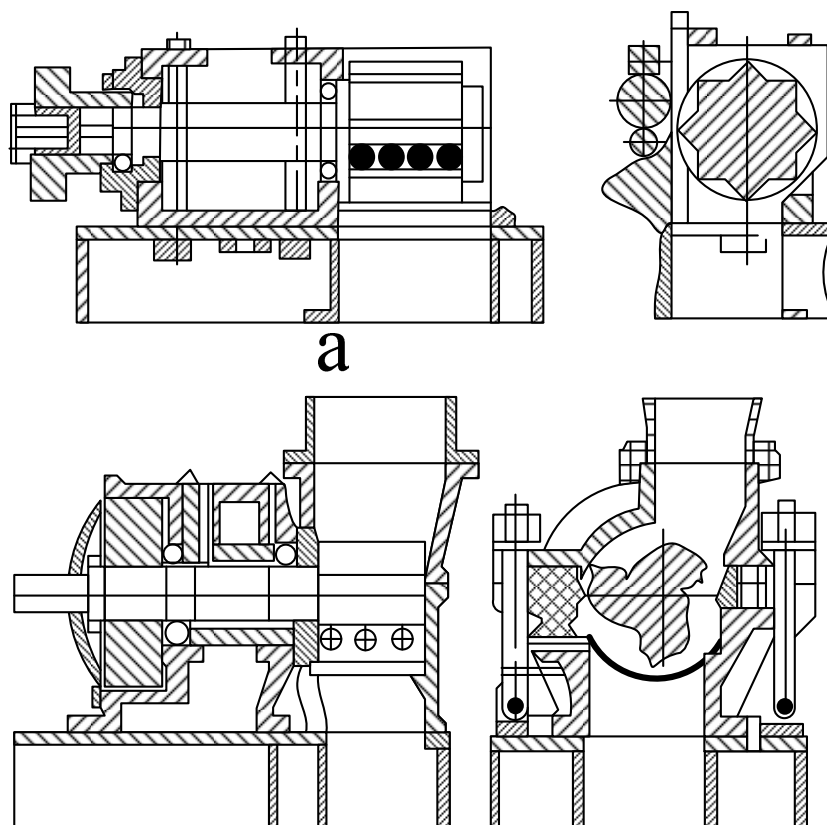


Рисунок 1.24 – Роторні подрібнювачі для термопластів: а - подрібнювач для листових термопластів; б - подрібнювач для термопластичних відходів

З відомих методів для подрібнення композиційних полімерних відходів найбільш прийнятним є спосіб механічного подрібнення. В Україні найбільш поширений подрібнювач типу ПР, розроблений Харківським СКТБ «Машприборпластик».

У табл. 1.5 наведені технічні характеристики роторних ножових подрібнювачів.

Роторні ножові подрібнювачі комплектуються наборами сит з круглими, квадратними і рідше довгастими отворами. Діаметр отворів калібрувальних сит зазвичай 4, 6, 8, 10, 12, 16 (17), 20 і 24 мм. Найбільш поширені сита з отворами розміром 8-12 мм.

Вказувана в технічних характеристиках продуктивність подрібнювачів, як правило, не ув'язується з розмірами сита, проте з досвіду відомо, що продуктивність подрібнювача практично пропорційна діаметру отворів калібрувального сита. За інших рівних умов продуктивність подрібнювача залежить також від виду перероблюваних відходів. Вона зменшується (у порядку убування) при подрібненні листів і профілів, видувних та вакуум-формувальних виробів, монолітів, плівок, волокон і пінопластів.

Для подрібнення видувних виробів, плівок, літників встановлюють відношення довжини ротора до його діаметру в межах 1,5 - 2,5; для подрібнення товстостінних виробів це відношення встановлюють в межах 0,8 -1,3.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики подрібнювачів для відходів термопластів

Параметры	ІПР-100	ІПР-150	ІПР-300	ІПР-450	ЕТ-27-01
Продуктивність, кг/год (в залежності від матеріалу, що переробляється)	25-60	100-150	300-350	800-1000	150-300
Максимальні розміри відходів, що переробляються, мм	120x80x250	230x120x120	600x185x185	800x325x270	300x150x150
Діаметр ротора, мм	100	150	300	450	320
Довжина ножа, мм	13	19,5	40	60	400
Кількість ножів в шт.:					
рухомих	3	3	3	5	3
нерухомих	2	2	2	3	2
Швидкість обертання ротора, об/хв.	1500	1300	1350	750	1300
Потужність електродвигуна, кВт	1	1,6	20	23,2	22
Габаритні розміри, м	0,5 x 0,5 x 1	0,9 x 0,7 x 1,5	1,5x 0,6x 2	2,2 x 1,3x 2,3	1,6x 0,95 x 1,68
Вага, кН (кг)	0,7(74)	3(312)	14(1402)	20(2000)	1300
Вентилятор:					
продуктивність, м ³ /год	-	760	760	760x2	-
потужність двигуна, кВт	-	1,1	1,1	1,1x2	-
напір, мм вод. ст.	-	260	260	260	-

Ряд зарубіжних фірм - «Condux», «Palfman» (ФРН), «Rapid» (Швеція), «Cumberland» та інші випускають уніфіковані подрібнювачі, мають при однаковому діаметрі ротора різну довжину, кратну 1,5, 2 і 3.

УкрГПКТІ вторинних ресурсів (м. Харків) запропоновані подрібнювачі моделей ВД і ІРП з порожнистим ротором, у яких завантаження подрібнюваних відходів подається всередину ротора, що розширює номенклатуру подрібнюваних відходів однак вимагає попередньої порізки відходів через мале завантажувальне вікно.

Подрібнювачі моделі ПД (подрібнювачі дискові) призначені для подрібнення відходів у вигляді злитків і товстостінних виробів (ВД - 500) та відходів труб (ІДТ - 400). Характерна їх особливість в тому, що

конструкція ротора виконана таким чином, що процес подрібнення розбитий на дві послідовні операції: порізка відходів на пластини, а потім подрібнення пластин в крихту.

Подрібнювачі моделі ІРП призначені для подрібнення тонкостінних виробів і плівки термопластів.

Для всіх роторних ножових подрібнювачів характерною особливістю є підвищений шум, тісно пов'язаний зі специфікою процесу подрібнення полімерних відходів. Шляхи зменшення шуму: ретельна балансування обертових частин, надання жорсткості шумовідтворювальним пластинам, з'єднання деталей через еластичні резинометалічні прокладки, установка подрібнювача на віброопори.

Ефективним методом подрібнення плівкових полімерних відходів є суміщення процесів подрібнення та промивання в мийно-різальних агрегатах. Мийно-різальний агрегат (рис. 1.25) являє собою високошвидкісний змішувач-подрібнювач, призначений для подрібнення та промивання відходів полімерів у вигляді використаного посуду разового користування, відходів плівки, ПЕТ-пляшки та ін.

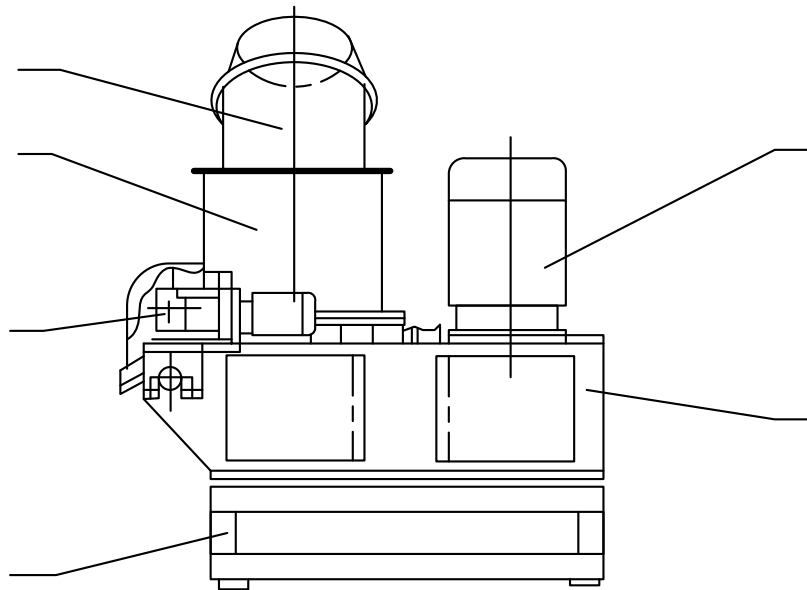


Рисунок 1.25 – Агрегат мийно-різальний: 1 - каркас підставки; 2 – станина; 3 - електродвигун; 4 – корпус; 5 - завантажувальний бункер; 6 - редуктор

Агрегат складається з корпусу циліндричної форми, усередині якого встановлений вертикальний вал із закріпленими на ньому трьома парами ножів. Передбачено пристрій для подачі мийного розчину або води, а також вікна для вивантаження готового подрібненого напівфабрикату сировини і зливу мийної рідини в систему водовідведення через систему водочистки і відстійники. Вал з ножами приводиться в обертання електродвигуном за допомогою клинопасової передачі ⁵.

Завантаження в мийно-різальний агрегат проводиться в бункер безперервно в процесі роботи агрегату. Одночасно в робочу зону подається

вода і здійснюються промивка від забруднень і подрібнення завантаження полімерної сировини. Для запобігання зависання фракцій подрібненої і промитої сировини на розвантаженні передбачений чотирьох-лопатевий скребок з приводом. Скребок закритий захисним кожухом.

Таблиця 1.6 - Технічна характеристика мийно-різального агрегату

Найменування параметрів	Величина параметрів
Продуктивність, кг	100
Потужність приводу, кВт	30
Діаметр робочої камери, мм	510
Частота обертання ножів, с ⁻¹	25
Об'єм робочої камери, дм ³	127
Габаритні розміри, мм: довжина	1540
ширина	790
висота	1700
Кількість ножів, шт.	6
Витрата води, м ³ /ч	1

Подрібнення з промиванням сприяє зменшенню зносу ножів і полегшує видалення зважених у воді забруднень. Видалення зважених забруднень є складним завданням, тому що розміри фракцій забруднень і подрібнених відходів близькі. Неподрібнені відходи плівки не можуть бути добре відмиті. Досвід показує, що при транспортуванні до місця переробки забруднення плівкових відходів становить 5-23%.

Перспективними є методи попереднього глибокого охолодження або введення хладоагента в ході подрібнення.

Кріогенний спосіб подрібнення дозволяє отримувати дрібнодисперсні відходи зі ступенем дисперсності від 0,5 до 2 мм. Як хладоагента найчастіше використовують рідкий азот. При кріогенному подрібненні досягають продуктивності до 1200 кг/год, скорочення витрат енергії і витрат робочого часу, поліпшення розподілу композитних полімерних відходів, зменшення деструкції. Враховуючи високу вартість хладоагентів, цей метод не знайшов широкого поширення.

Подрібнені плівкові волокнисті і спінені полімерні відходи мають ряд особливостей при їх переробці через малу насипну щільність. Продуктивність екструдера, що переробляє подрібнені полімерні відходи, залежить не тільки від конструктивних особливостей робочого циліндра і черв'ячного шнека, але також від рівномірності подачі подрібненого матеріалу в завантажувальну зону екструдера і попереднього ущільнення полімерного вторинної сировини.

Дослідним шляхом встановлено, що мінімальна насипна щільність, що забезпечує задовільну завантаження, дорівнює 250 кг/м³. Насипна щільність подрібнених плівкових відходів може бути менше 100 кг/м³, а

спінених полімерів менше 10 кг/м^3 . Тому такі матеріали після подрібнення агломерують, ущільнюють і при переробці на черв'ячних екструдерах дозують за допомогою завантажувального пристрою для живлення екструдера вихідною полімерною сировиною.

Технологічні процеси подрібнення, мийки, агломерації, грануляції і міжапаратного транспортування сировини та напівпродуктів здійснюються на обладнанні, скомпонованому в технологічну лінію з переробки полімерних відходів.

Технологічний процес підготовки і переробки полімерних відходів складається з одного технологічного потоку (рис. 1.26).

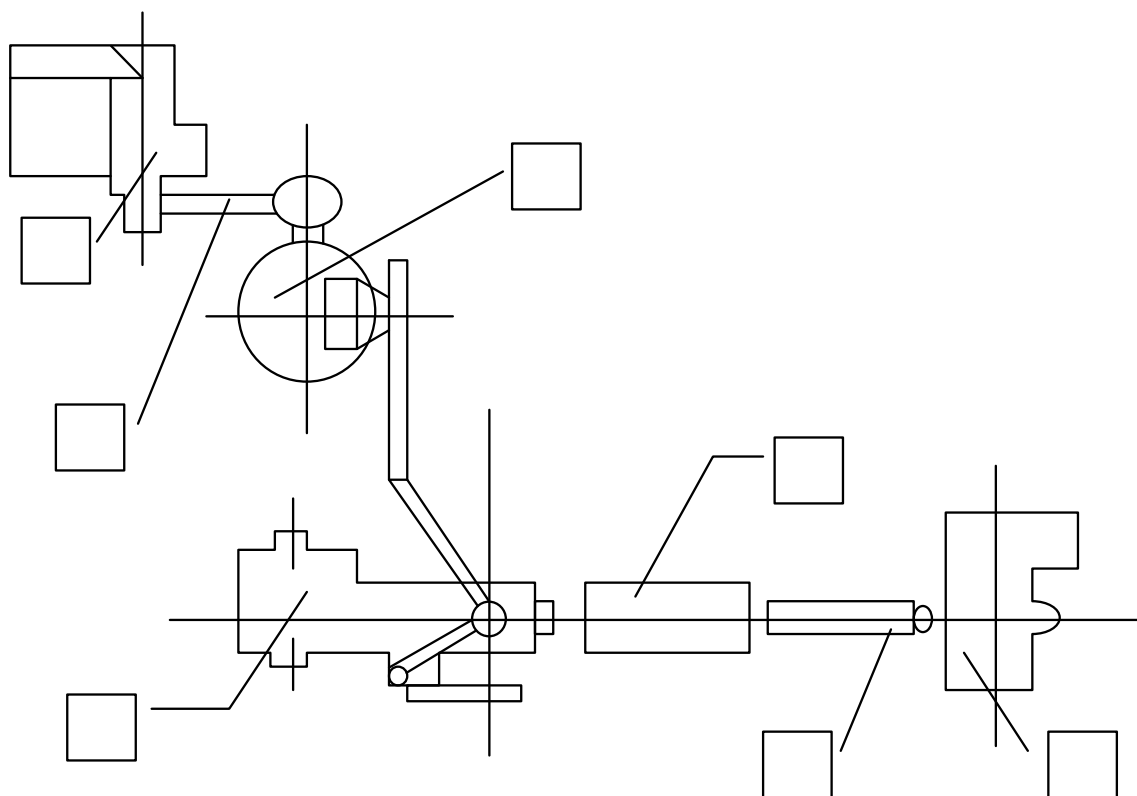


Рисунок 1.26 – Схема технологічної лінії переробки полімерних відходів:
1 - мийно-різальний агрегат (подрібнювач); 2 - пневмотранспорт з калорифером (сушкою), 3 - бункер-накопичувач;
4 - екструдер-гранулятор, 5 - бункер-усереднювач гранульованої сировини

Вторинна полімерна сировина випускається у вигляді гранул, які в межах однієї партії повинні бути однаковою геометричної форми розміром 2-6 мм. Для отримання однорідності партій гранульованого вторинної сировини гранули ретельно перемішують механічною мішалкою з приводом в бункері-усереднювачі.

Одержуваний за таким регламентом вторинний гранульований полімер повинен відповідати ТУ 63-178-74-88.

Контрольні питання

1. Коротка характеристика методів підготовки і переробки відходів.
2. Способи подрібнення відходів.
3. Методи укрупнення відходів виробництва.
4. Коротка характеристика процесу грохочення.
5. Характерні відмінності класифікації та сортування відходів.
6. Фізична сутність розподілу полімерних відходів способом флотації.
7. Будова барабанних грохотів.
8. Фізична сутність розподілу полімерних відходів способом флотації.
9. Методи механічного зневоднення.
10. Фізична сутність фільтрації.
11. Розділення рідких сумішей методом центрифугування.
12. Магнітні способи розподілу відходів.
13. Магнітна сепарація.
14. Комбінований процес збагачення відходів електродинамічною сепарацією.
15. Фізична сутність процесу аеросепарації .
16. Коротка характеристика аеросепарації в технологічних лініях сортування відходів.
17. Коротка характеристика технологічної схеми сортування ТПВ.
18. Методи термічної переробки ТПВ.
19. Екологічні та технологічні вимоги до вибору температури при термічній обробці відходів.
20. Критерій оцінки небезпечних інгредієнтів при термічній переробці ТПВ.
21. Подрібнення плівкових полімерних відходів.
22. Конструкція і технічна характеристика мийно-різального агрегату подрібнення полімерних відходів.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ВІДХОДІВ

Безвідходне виробництво - це першочергова задача майбутніх технологічних розробок, які дозволять людству піднятися ще на один щабель власного розвитку.

Переробка відходів промисловості є досить перспективним методом отримання додаткових матеріальних ресурсів, скорочення витрат на виробництво, економії коштів на утилізацію відходів.

Поряд з постійно зростаючою кількістю винайдених матеріалів, збільшився попит на них і відповідно дефіцит. Досить вагомою перевагою більшості винайдених полімерів є можливість їхнього повторного використання. Полімери мають також особливість - можуть складатися з великої кількості наповнювачів або слугувати в якості складової в іншій композиції. В якості наповнювачів для полімерних та інших композицій можуть слугувати перероблені текстильні відходи, а також натуральні і штучні шкіри. Вони додають матеріалу більшої в'язкості, змінюючи іноді кардинально властивості матеріалів. Відходи бавовняного виробництва слугують матеріалом для виготовлення вати. Перероблені відходи деревини, такі як деревне борошно широко використовуються у виробництві клеїв, у тваринництві, в якості домішок до кормів, а також у хімічній промисловості, в якості наповнювачів до полімерів.

Вибір наповнювача для утворення будь-якого полімеру в більшості випадків залежить від форм і розмірів часток.

На сьогоднішній день існує велика кількість переробного обладнання, яка дозволяє отримувати вихідний матеріал необхідного розміру і форми. Велике розмаїття обладнання дозволяє висувати, відповідно, різноманітні вимоги до нього. Це можуть бути якість переробки, ступінь дисперсності вихідного матеріалу, енергетичні витрати на переробку одиниці об'єму матеріалу, продуктивність обладнання. Для того, щоб зорієнтуватись в великій кількості обладнання, правильно підібрати те чи інше устаткування залежно від вихідних умов переробки, була розроблена класифікація усього існуючого обладнання за типовими ознаками, що притаманні певним групам подрібнювачів. Основними ознаками є вид подрібнюваного матеріалу, його вихідна дисперсність, тип подрібнюючого органу, продуктивність.

Класифікація подрібнювачів розпочинається, перш за все, з розділення усього обладнання за типом подрібнюючого (робочого) органу. Це пов'язано з тим, що саме подрібнюючий орган є головним елементом конструкції, від якого залежить вид матеріалу, що буде подрібнюватись, його дисперсність, якість і продуктивність процесу переробки.

Усі існуючі пристрої для подрібнення поділяються на дві великі і групи: подрібнювачі без подрібнюючих тіл і з подрібнюючими тілами (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Класифікація подрібнювачів

2.1 Подрібнювачі без подрібнюючих тіл

Подрібнювачі без подрібнюючих тіл мають характерну конструкцію, яка не має явно вираженого подрібнюючого тіла. В якості робочого органу може виступати потік рідини, повітря та інші види енергії, тобто робочим органом в такому обладнанні може бути будь-яка речовина, що здатна передавати енергію.

Дана група подрібнювачів, в свою чергу, включає в себе декілька менших підгруп. До них ми можемо віднести струйні, кавітаційні колоїдні і електрогідравлічні подрібнювачі (рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Подобрибнювачі без подобрибнюючих тіл

2.2 Струйні подрібнювачі

Струйними називають подрібнювачі, в яких кінетичну енергію переносять частинки подрібненого матеріалу потоком повітря, пару або продуктів горіння, а подрібнення відбувається за рахунок удару при зіткненні зустрічних потоків частинок матеріалу [10-14].

Струйні подрібнювачі розрізняються за видом енергоносія: повітроструйні, пароструйні і газоструйні продукти горіння палива. За тиском газу - енергоносія перед подрібнювачем - розділяються: з тиском перед соплом від 0,2 до 1,5 МПа - високонапірні; від 0,02-0,03 до 0,2 МПа - низьконапірні і до 0,02-0,03 МПа - вентиляторні.

Конструкція струйного подрібнювача складається з генератора енергоносія, в якості якого можуть бути використані повітропродувка або компресор високого тиску. Вони можуть працювати або в комплексі з реактивними камерами горіння, або незалежно. Також до конструкції входять газотурбінна установка, генератор, паровий котел, звідки пара може попадати безпосередньо в пароструйний подрібнювач.

Подрібнюваний матеріал потрапляє в бункер струйного подрібнювача (рис. 2.3) по направляючій, потім в розгінну трубку, знизу до якої подається газ - енергоносіє.

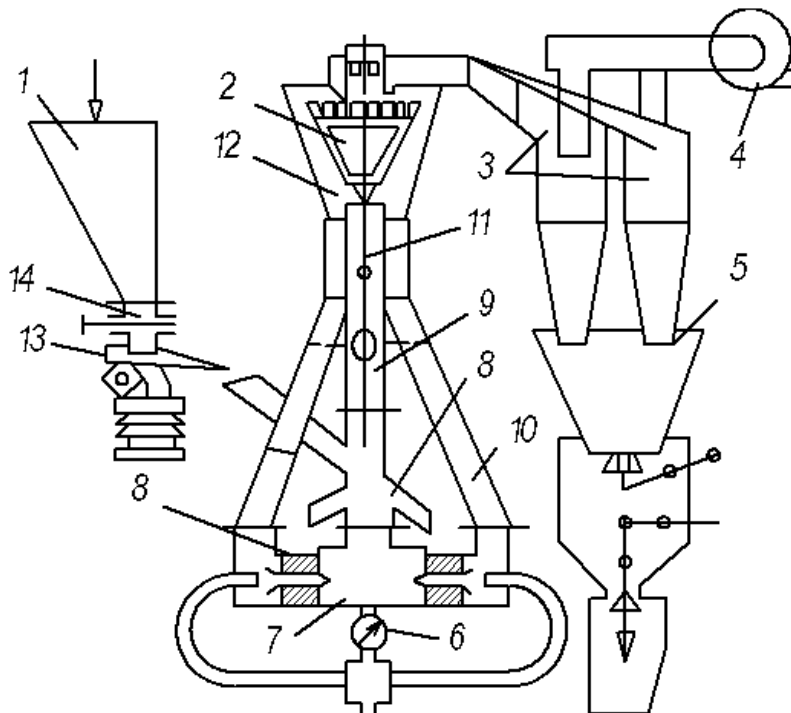


Рисунок 2.3 – Подрібнювальна струйна установка: 1 – бункер вихідного матеріалу, 2 – крильчатка класифікатора, 3 – циклон, 4 – вентилятор, 5 – бункер готового продукту, 6 – підсос додаткового повітря, 7 – манометр, 8 – струйний подрібнювач, 9 – центральна труба, 10 – труба для повернено-

го матеріалу, 11 – розподільник матеріалу, 12 – повітряний класифікатор, 13 – живильник, 14 – заслінка

Частинки матеріалу набувають швидкості в розгінній трубі і на виході з неї вдаряються або об підбійну плиту (в прямоточному подрібнювачі), або з зустрічними частинками (в зустрічно-струйному подрібнювачі). За рахунок таких ударів частинки матеріалу подрібнюються, після чого пилогазовий потік слідує в класифікатор. Потік газу з частинками по трубопроводу направляється в пилоосадник, а відроблений газ викидається ексгаустером. Грубі частинки матеріалу повертаються на повторне подріблення по направляючим.

Продуктивність процесу подрібнення залежать від геометричних параметрів самої установки.

Струйні подрібнювачі, як і будь-які, мають свої переваги, до яких можна віднести порівняно просту конструкцію, відсутність рухомих частин і складних підшипників. З іншого боку, можливості роботи струйних подрібнювачів обмежені складністю розгону крупних частинок матеріалу і, в той же час, необхідністю створення великих швидкостей для подрібнення дуже маленьких частинок та складністю уловлювання продуктів їх подрібнення. Такий тип подрібнювачів використовується для подрібнення крихких матеріалів з розмірами частинок не більше 5 мм (до 30-40 мкм) [25].

2.3 Кавітаційні колоїдні подрібнювачі

Важливою складовою частиною технологічних процесів легкої, хімічної, нафтопереробної і будівельної промисловості є дезінтеграційні, диспергуючі і змішувальні апарати.

Більше третини всього обладнання, і зокрема обладнання для переробки відходів, тільки в хімічній і легкій промисловості складають апарати по дезінтеграції, змішуванню, диспергуванню і гомогенізації вихідних силовинних компонентів і продуктів [10-15].

Все більшого поширення набувають ідеї використання нових фізичних ефектів і явищ для інтенсифікації технологічних процесів дезінтеграції, диспергування і змішування.

Такою є ідея використання для інтенсифікації перерахованих вище процесів гідродинамічної й ультразвукової кавітації.

Явище гідродинамічної кавітації полягає в утворенні заповнених парогазом областей усередині потоку рідини або на границі обтічного тіла в результаті місцевого зниження тиску, зумовленого рухом рідини.

Пристрої, у яких процеси дезінтеграції і диспергування відбуваються в результаті кавітаційних впливів, що цілеспрямовано створюються у технологічних середовищах гідродинамічним шляхом за рахунок різкої зміни геометрії течії, відносять до кавітаційних змішувачів [10-15, 25-29, 33, 35].

Існуюча класифікація кавітаційних змішувачів не охоплює всієї різноманітності їх конструкцій. Залежно від характеру введення енергії кавітаційних бульбашок, що вибухають, кавітаційні змішувачі можуть бути розділені на два основних класи: ємнісні і проточні.

До ємнісних змішувачів відносяться пристрої, що забезпечують локальне введення енергії кавітаційних бульбашок, що вибухають, в рідке середовище, яке вільно циркулює в робочій ємності пристрою. До такого типу змішувачів належать як звичайні, так і спеціальні мішалки, призначені для роботи на режимах гідродинамічної кавітації.

Проточно-кавітаційні змішувачі (ПКЗ) - це апарати локального введення енергії кавітаційних бульбашок, що вибухають, у безперервний потік оброблюваного середовища, що примусово надходить у зону обробки. Вони бувають двох типів: динамічні і статичні. Кінетична енергія у динамічних ПКЗ, що необхідна для збудження кавітації, підводиться до середовища за допомогою рухомих кавітаторів, а в статичних - самим потоком оброблюваного середовища. Частина динамічних змішувачів працює в насосному режимі, інші ж вимагають примусової подачі оброблюваного середовища за допомогою допоміжного насоса. Статичному ПКЗ для ефективної роботи завжди потрібен допоміжний насос.

Кавітаційні змішувачі знайшли широке застосування в різних галузях промисловості. Найбільшого поширення набули статичні ПКЗ. Це пояснюється простотою їх конструкції, монтажу і налагодження. Найбільша кількість кавітаційних змішувачів впроваджена в нафтопереробній, нафтохімічній, харчовій і целюлозно-паперовій промисловості. Цей клас технологічного обладнання тільки розвивається і найближчим часом варто очікувати розширення областей використання кавітаційних змішувачів.

2.4 Ємнісні кавітаційні змішувачі

Практично будь-які швидкохідні мішалки можуть працювати у режимі гідродинамічної кавітації $Re = 1 \cdot 10^5 \dots 1 \cdot 10^6$. Дослідження гідродинамічних режимів кавітації в апаратах зі швидкохідними перемішувальними пристроями показали, що робота змішувача істотно залежить від типу мішалки і її геометричних параметрів.

На даний момент розроблена велика кількість конструкцій ємнісних кавітаційних змішувачів, у яких як генератори кавітації запропоновано використовувати встановлені на кронштейнах крильчатки. У першому такому апараті крильчатки розміщувалися між кільцевими перегородками, що утворюють у корпусі циліндричні канали, у які підводилося середовище, що обробляється. Особливість іншого змішувача полягає в тому, що крильчатки, розташовані між двома сусідніми перегородками, виконані з протилежним кутом закручення лопатей.

До переваг ємнісних змішувачів можна віднести можливість кавітаційної обробки середовища в малій кількості. Основним їхнім недоліком є висока металоємність і енергоємність, низька продуктивність. Це вплинуло на те, що ємнісні кавітаційні змішувачі не знайшли практичного застосування в промисловості. В більшості випадках вони використовуються в лабораторних умовах.

2.5 Динамічні проточно-кавітаційні змішувачі

Загальною ознакою для динамічних проточно-кавітаційних змішувачів є наявність динамічного кавітатора. Апарат представляє собою центрифугу (рис. 2.4) з віссю 1, на якій укріплений резервуар 2 з підключеними радіально до нього трубками 3, що мають змінний переріз по довжині. У резервуарі 2 вмонтований резервуар 4 для речовини, яка підмішується, що через вихідні патрубки 5 направляється до вхідних отворів трубок 3. Підведення змішуваних компонентів здійснюється через патрубки 6 і 7. Рідина з резервуарів 2 і 4 під дією відцентрової сили протискається через трубки 3, де піддається кавітаційному впливу і викидається в зливальний кожух 8. Готовий продукт виводиться з апарата через патрубок 9. У цьому апараті роль кавітатора виконує трубка змінного перерізу, що є не чим іншим, як трубкою Вентурі. Кавітатором може бути тіло практично будь-якої форми.

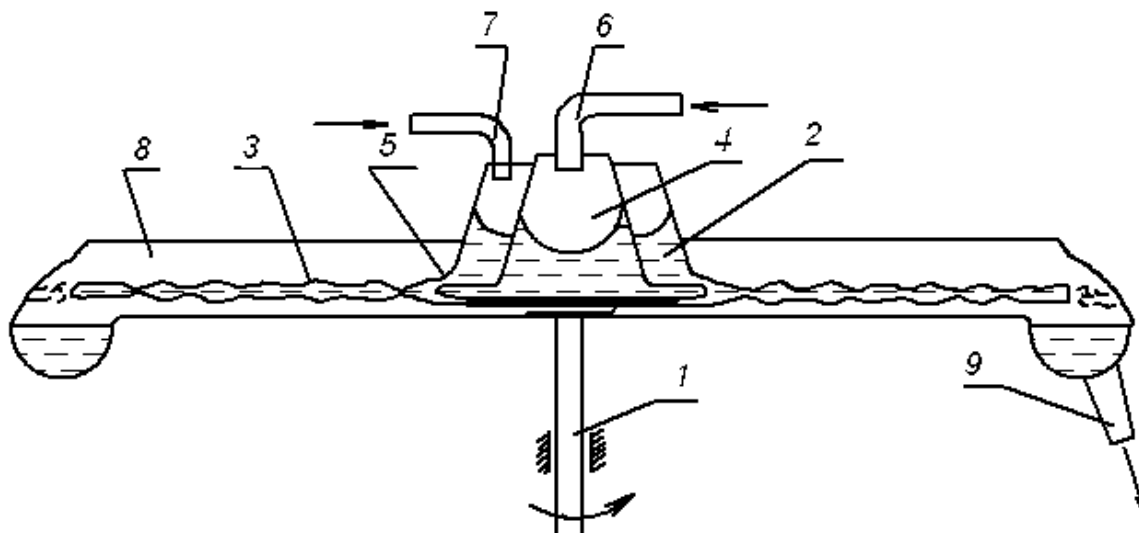


Рисунок 2.4 – Відцентровий кавітаційний змішувач:

1 – вісь; 2 – резервуар; 3 – трубки; 4 – резервуар для речовини, що підмішується; 5 – вихідні патрубки; 6, 7 – патрубки для підведення змішуваних компонентів; 8 – зливальний кожух; 9 – патрубок

Існує цілий ряд динамічних проточно-кавітаційних змішувачів, в яких кавітатором є тіла з рифленими поверхнями обертання. До таких апаратів належить генератор кавітації, покотелий на рис. 2.5 [12].

Він являє собою установлені коаксіально з зазором статор 1 і ротор 2 з робочими мікрозубчастими поверхнями. Кавітація в такому апараті збуджується в зазорі між цими поверхнями. Оброблювана рідина надходить через патрубок 3, а відводиться через патрубок 4. Генератор кавітації може працювати в насосному режимі і застосовується при створенні емульсії з води і нафтопродуктів. Для підвищення ефективності такої конструкції генератора кавітації статор і ротор можуть бути виконані у вигляді двох циліндричних ділянок різного діаметра, а висота мікрозубів на їх поверхні збільшена.

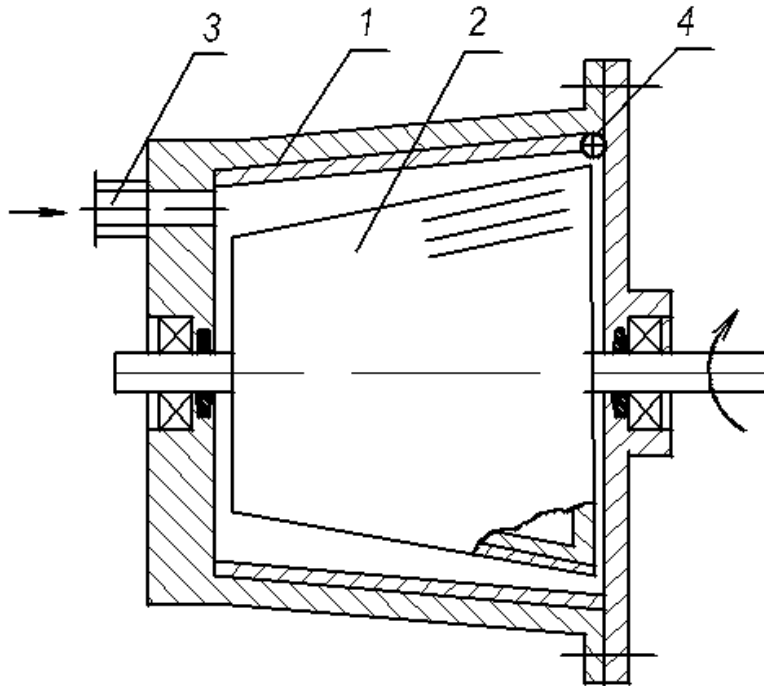


Рисунок 2.5 – Генератор кавітації: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – патрубок для підведення рідини, що обробляється; 4 – патрубок для відведення рідини, що обробляється.

Конструкція генератора кавітації, у якій ротор виготовлений у вигляді диска була запропонована з метою зменшення і габаритів і зниження енергетичних втрат. Функцію статора виконують кірцеві поверхні корпусу. Робочі поверхні статора і ротора виконано шорсткими.

Одним з головних недоліків таких кавітаційних змішувачів є те, що замикання кавітаційних каверн і бульбашок відбувається безпосередньо на тілі кавітатора. У результаті через активне зношування робочих органів вони мають дуже низьку довговічність. Крім того, продуктами зношування забруднюється технологічне середовище. Цей недолік відсутній у динамічному проточно-кавітаційному змішувачі, у якому в ролі кавітатора використовується крильчатка (рис. 2.6).

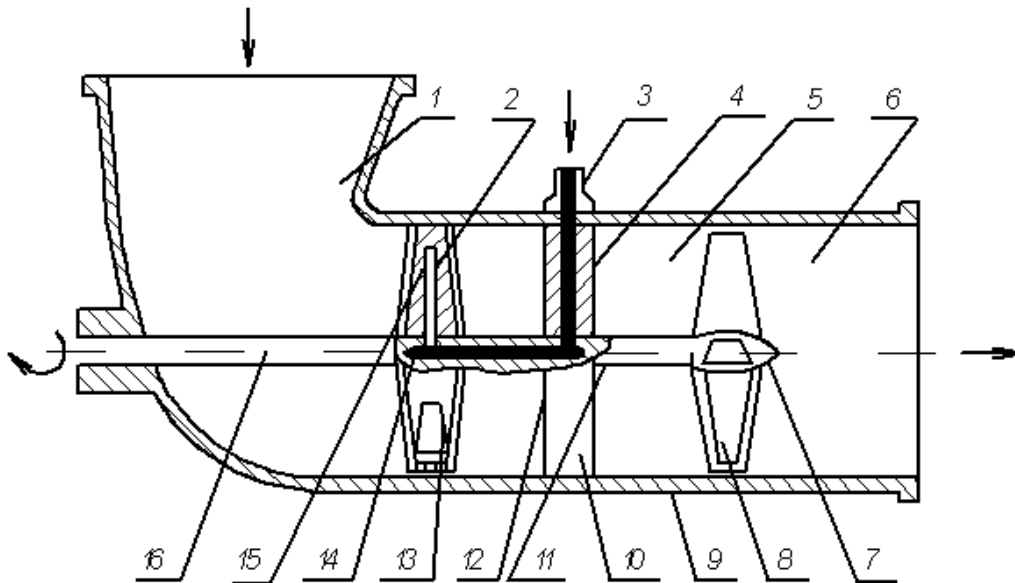


Рисунок 2.6 – Змішувач із профільованою крильчаткою: 1 – вхідна ділянка; 2,4 – радіальні канали; 3 – штуцер; 5 – змішувальна камера; 6 – вихідний патрубок; 7, 14 – крильчатка; 8, 15 – лопаті; 9 – корпус; 10 – радіальні ножі; 11 – маточина; 12 – осьовий канал; 13 – отвори; 16 – вал

Для роботи такого апарату, як правило, потрібен допоміжний насос. Більшість кавітаційних змішувачів такого типу, подібно до відцентрового насоса, можуть працювати в насосному режимі. Досягається це відповідним розташуванням патрубків підведення і відведення маси, а також конструкцією робочої камери, що подібна до відцентрового насоса. У промислових умовах такий кавітаційний змішувач може бути виготовлений на базі серійного відцентрового насоса.

Конструкція кавітаційного апарата відрізняється від попередньої тим, що в робочій камері встановлений контркавітатор, виконаний у вигляді пластини трапецієподібного перерізу, звернений великою основою трапеції у бік розташування патрубку подачі маси.

Однак розвиток кавітації на лопатях змішувача призводить до погіршення його роботи. З аналогічним явищем стикаються в суднобудуванні: у випадку розвитку кавітації на всмоктувальній поверхні лопатей гребного гвинта починають зменшуватися його момент, ККД і упирання. Суперкавітуючі гвинти мають профільовані лопаті, виконані з гострою передньою і тупою задньою кромками. Такі гвинти працюють у режимі кавітації. Тому було запропоновано використовувати як робочий орган кавітаційного змішувача [12] суперкавітуючі гвинти. Наданий момент у конструкціях більшості динамічних проточно-кавітаційних змішувачів використовується суперкавітуюча крильчатка. Для збільшення ступеню гомогенізації і диспергування приводний вал у таких змішувачах може бути обладнаний коливальним пристроєм. Поздовжні коливання вала

викликають пульсацію каверн, що сприяє збільшенню кількості кавітаційних бульбашок.

В кавітаційному змішувачі в якості генератора імпульсного тиску може бути використаний переривач потоку оброблюваного середовища [50], пружна мембрана [49], пневмомеханічний пристрій [51].

Інший спосіб створення пульсуючого режиму кавітаційної обробки, що реалізований у змішувачі, покотело на рис. 2.7.

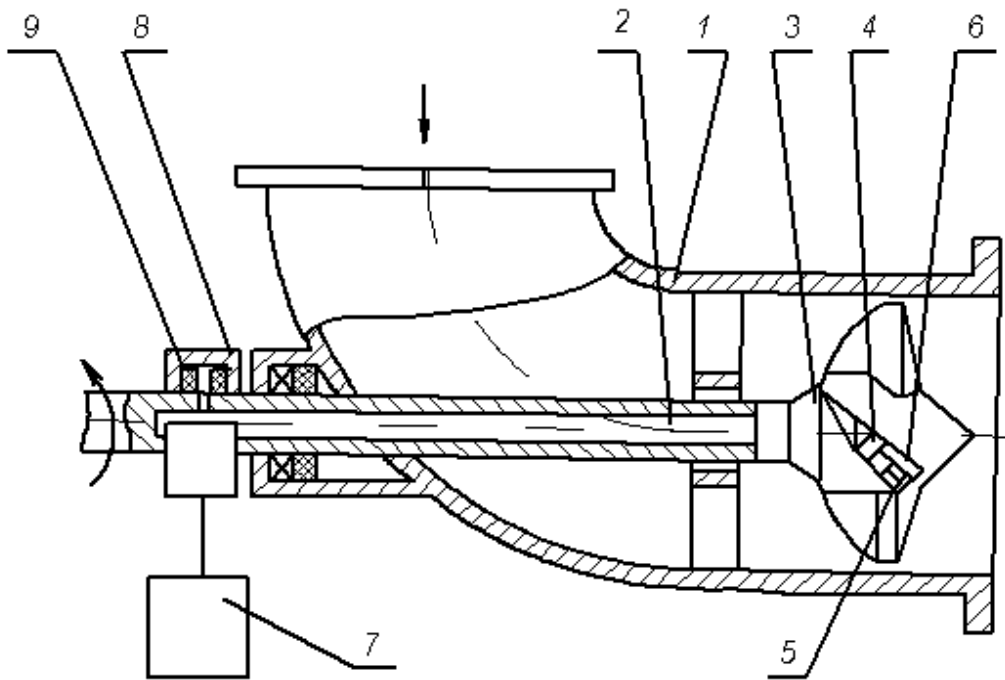


Рисунок 2.7 – Динамічний ПКС із пневмопульсатором:

- 1 – корпус; 2 – вал; 3 – крильчатка; 4 – лопаті суперкавітуючого профілю;
- 5 – канали; 6 – пружні мембрани; 7 – генератор коливань;
- 8 – живильна камера; 9 – ковзні ущільнювальні кільця

Змішувач має корпус 1, усередині якого розташований вал 2 із крильчаткою 3, що має лопаті 4 суперкавітуючого профілю. Уздовж вихідних кромek лопатей крильчатки на нагнітальній поверхні, виконані канали 5, закриті пружними мембранами 6. Канали 5 сполучені з генератором коливань, що представляють собою джерело імпульсного тиску плинного середовища (рідини або газу) 7. Змішувач обладнаний також живильною камерою 8 з ковзними ущільнювальними кільцями 9. Періодичні зміни тиску рідини або газу за допомогою джерела імпульсного тиску 7 у герметичних каналах 5 відповідно піднімають або опускають над нагнітальною поверхнею лопатей 4 пружні мембрани 6. У моменти підняття мембран 6 над поверхнею лопатей вони підгальмовують потік, що викликає підвищення напору, створюваного крильчаткою. У моменти зниження тиску в каналах 5 мембрани 6 займають вихідне положення під дією

сил пружності мембран і реакції середовища. Періодичні коливання мембран викликають відповідні коливання напору, що створює пульсуючий режим кавітації [12].

Інший шлях удосконалення конструкцій динамічного проточно-кавітаційного змішувача передбачає регулювання величини стиснення потоку (рис. 2.8).

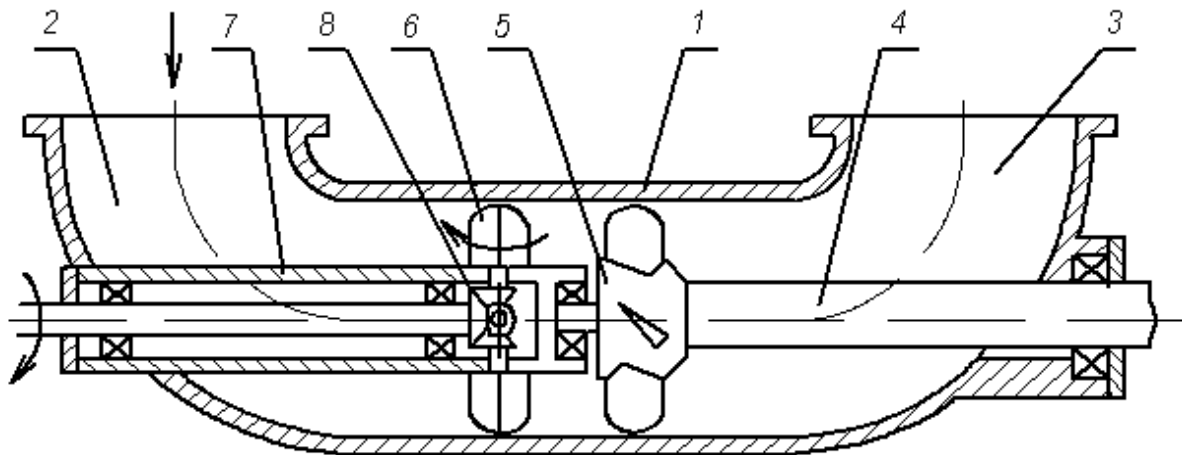


Рисунок 12.8 – Кавітаційний змішувач з механізмом регулювання кута атаки: 1 – корпус; 2 – патрубок подачі вихідної суміші; 3 – патрубок відведення; 4 – вал; 5 – кавітаційний елемент; 6 – крильчатка; 7 – втулка; 8 – механізм повороту лопатей

В такому кавітаційному змішувачі можна цілеспрямовано змінювати кут атаки лопатей кавітатора [9-14]. Регулювати кавітатором напрямок і величину закручення основного потоку перед крильчаткою можна, змінюючи за допомогою механізму повороту кут установки лопатей крильчатки.

Найбільш універсальними з ПКЗ є змішувачі, кавітаційний елемент у яких виконаний у вигляді суперкавітуючої крильчатки. Такі апарати служать одночасно осьовими СК-насосами.

Істотними недоліками кавітаційних змішувачів такого типу є підвищені вимоги до умов їх експлуатації й обмежені можливості щодо регулювання режимів кавітаційної обробки. Це викликано тим, що суперкавітуючі насоси працюють з досить високими кавітаційними характеристиками і ККД при невеликих індуктивних кутах атаки ($\gamma = 1...5^\circ$) і дуже чутливі до найменшої зміни цих кутів. Наприклад, зміна кута атаки усього лише на $1... 1,5^\circ$ може привести до зміни гідродинамічної характеристики СК-насоса до 50% [12]. Подібні типи змішувачів знайшли практичне застосування переважно в будівельній і харчовій промисловостях.

2.6 Статичні проточно-кавітаційні змішувачі

Статичні проточно-кавітаційні змішувачі (СПКЗ) позбавлені недоліків, властивих звичайним мішалкам, що працюють у кавітаційному режимі, і кавітаційним змішувачам динамічного типу, відмінною рисою СПКЗ є те, що енергія, необхідна для збудження кавітації, підводиться в змішувач швидкісним потоком рідини. Тому для їх роботи завжди необхідний допоміжний насос.

СПКЗ був вперше розроблений, випробуваний і запатентований у США [12] і Великобританії.

Принципова схема СПКЗ покотела на рис. 2.9. У найпростішому вигляді він являє собою послідовно з'єднані конфузори 1, проточну камеру 2 і дифузори 3. У проточній камері 2, що має прямокутну або циліндричну форму перерізу, перпендикулярно до її осі встановлений кавітатор 4, що створює, місцеве звуження каналу проточної камери.

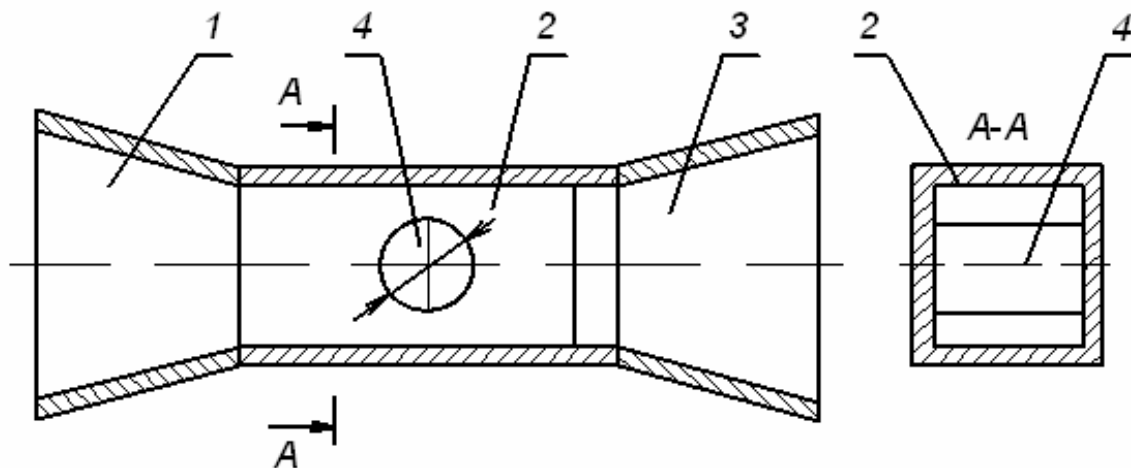


Рисунок 2.9 – Принципова схема статичного ПКЗ: 1 – конфузор; 2 – проточна камера; 3 – дифузор; 4 – кавітатор

СПКЗ працює в такий спосіб. Потік компонентів, що обробляються, подається допоміжним насосом зі швидкістю 1...3 м/с у конфузор 1. У конфузори швидкість потоку зростає до 10...20 м/с, і він надходить у проточну камеру 2, обтікаючи кавітатор 4. За кавітатором у результаті місцевого зниження тиску утворюються кавітаційні каверни і бульбашки, що у зоні підвищеного тиску вибухають, здійснюючи динамічний вплив на оброблюване середовище. У дифузори 3 швидкість потоку знижується до необхідної за умовами транспортування.

В СПКЗ, покотелому на рис. 2.10, реалізований своєрідний спосіб підвищення ерозійної активності кавітаційного поля.

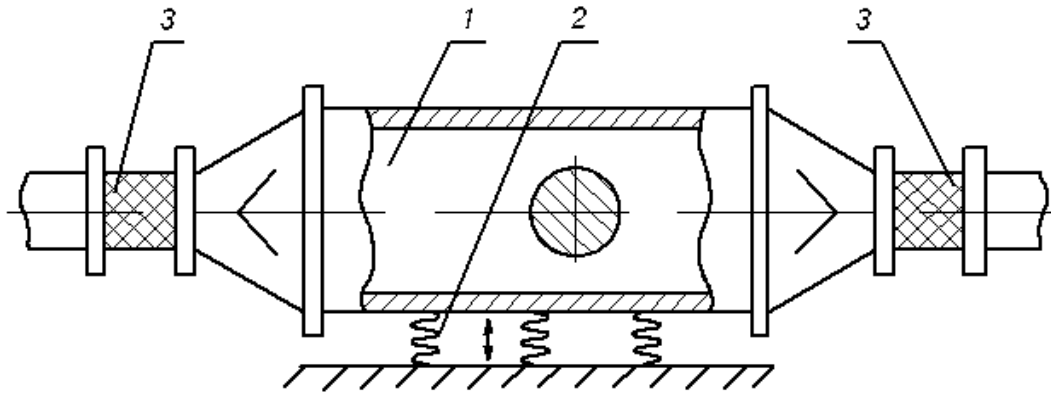


Рисунок 2.10 – СПКЗ на пружній підвісці: 1 – проточна камера; 2 – пружноеластичні елементи; 3 – гнучкі трубопроводи

За рахунок використання ефекту резонансних коливань корпусу реакційної камери від вібраційних складових пульсацій тиску кавітаційного поля відбувається підвищення ерозійної активності кавітаційного поля в даній конструкції змішувача. Вібрація змішувача викликає додаткові присінні кавітаційні ефекти і сприяє підвищенню градієнта тиску в зоні кавітації.

Однак, необхідно звернути увагу на той факт, що такий змішувач може бути джерелом підвищеної небезпеки для обслуговуючого персоналу через значні амплітуди коливань у режимі резонансу.

Особливість іншого кавітаційного змішувача (рис.2.11) полягає в тому, що в ньому реалізована можливість управління робочими режимами зміною геометрії кавітатора. У цьому змішувачі кавітатор 1 виконаний у вигляді двох шарнірно закріплених на стержні 2 пластин 3.

Пластини розміщені на стрижні з можливістю їх повороту навколо його осі. Між пластинами встановлена пружна оболонка 4, внутрішня порожнина якої з'єднана з трубопроводом 5 через золотниковий пристрій із пневмоджерелом. Змінюючи величину тиску в порожнині пружної оболонки, можна регулювати величину кута між пластинами 3 і тим самим змінювати ступінь стиснення потоку. А створюючи в порожнині пружної оболонки знакозмінний тиск, можна створити пульсуючий режим кавітаційної роботи змішувача.

Можна використовувати ефект збільшення числа кавітаційних бульбашок, що схлопуються, при підведенні рідини до приграничного шару кавітатора. Це підвищить ефективності такої конструкції. Змішувач такого типу покотелий на рис. 2.12.

До його конструкції проточна камера 1, усередині якої встановлений порожнистий кавітатор 2, виконаний у вигляді усіченого конуса. Внутрішня порожнина 3 кавітатора з'єднується з його робочою поверхнею 4 отворами 5.

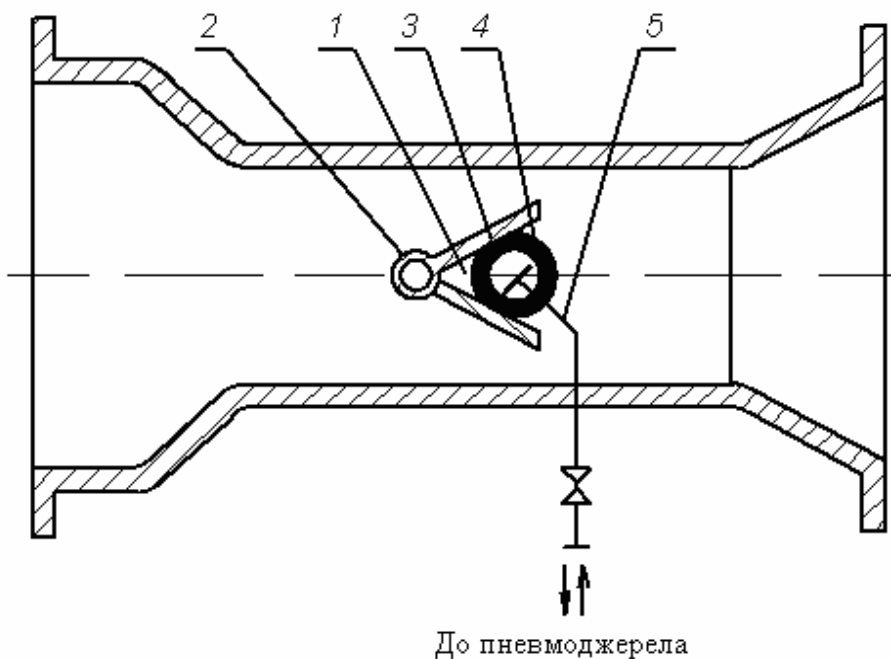


Рисунок 2.11 – Змішувач з регульованим стисненням потоку:
 1 – кавітатор, 2 – стержень, 3 – пластини,
 4 – пружна оболонка, 5 – трубопровід

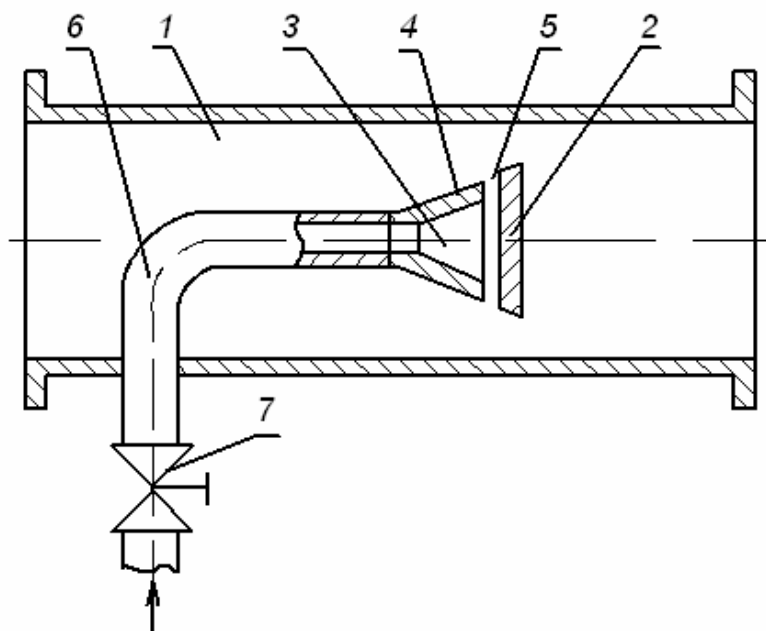


Рисунок 2.12 – СПКЗ із регульованим підведенням рідини в приграничний шар кавітатора: 1 – проточна камера; 2 – порожнистий кавітатор; 3 – внутрішня порожнина кавітатора; 4 – робоча поверхня кавітатора; 5 – отвори; 6 – патрубок; 7 – регулятор

Для подачі рідини в приграничний шар на поверхні кавітатора 2 передбачений патрубок 6 з регулятором 7. Здійснюючи підведення або відведення рідини в приграничний шар кавітатора, можна управляти інтенсив-

ністю кавітаційної обробки. Збільшення витрати рідини, що підводиться у приграничний шар, приведе до виникнення і розвитку "твердих" режимів кавітації. Однак існує верхня межа витрат рідини, що підводиться, яка пов'язана з ефектом "запирання" кавітації.

Процес перемішування в подібних змішувачах можна інтенсифікувати також створенням низькочастотних пульсацій тиску в потоці. На рис. 2.13 наведена схема пульсаційного змішувача, у якому вплив на потік здійснюється за допомогою пружної мембрани.

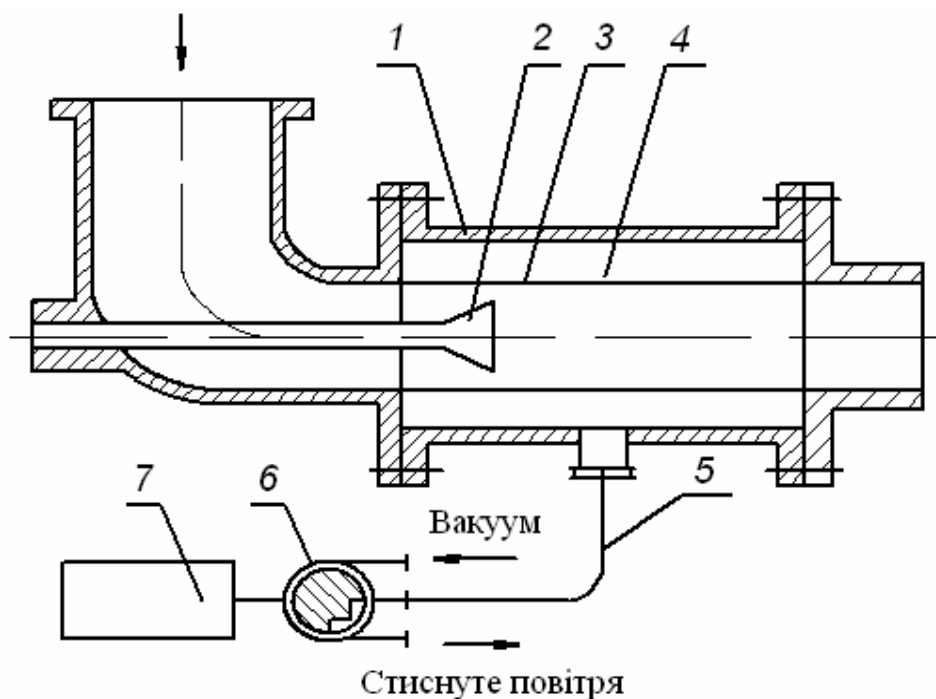


Рисунок 2.13 – Пульсаційний ПКЗ: 1 – корпус; 2 – кавітаційний елемент; 3 – пружна мембрана; 4 – циліндрична камера; 5 – трубопровід; 6 – золотниковий пристрій; 7 – електродвигун

Закручування у взаємно протилежні сторони кільцевих частин потоку можна здійснити і в одному робочому модулі. Ці ідеї знайшли реалізацію в ряді конструкцій кавітаційних змішувачів.

Робочі режими у статичних ПКЗ із кавітаторами-крильчатками, аналогічно динамічним ПКЗ, можна регулювати, задаючись величиною стиснення потоку. Регулювання стиснення потоку досягається або зміною кута установки лопатей крильчатки, або зміною кута атаки потоку, що набігає на лопаті.

Одна зі схем такого змішувача (рис. 2.14) основана на зміні кута атаки лопатей кавітатора-крильчатки 1 регулюванням закручення основного потоку рідини [12].

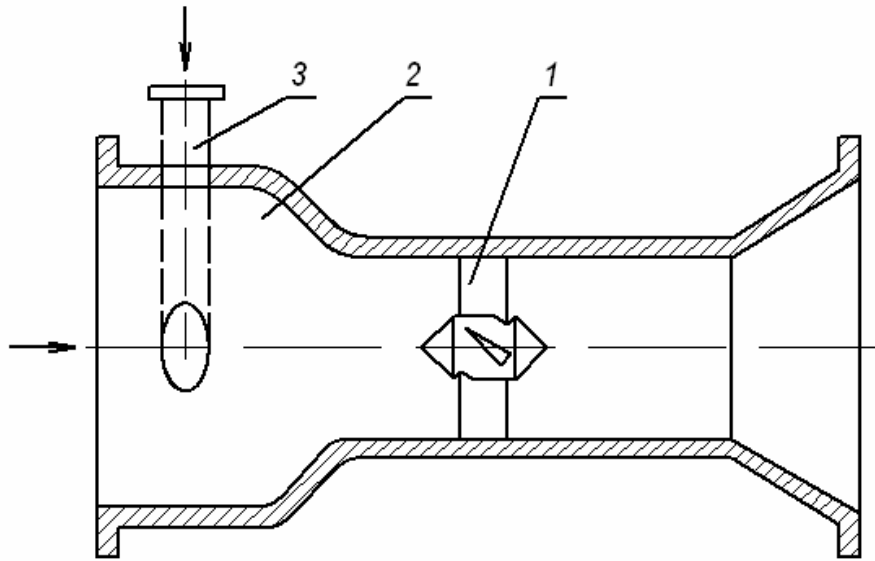


Рисунок 2.14 – Кавітаційний змішувач з СК-крильчаткою: 1 – кавітатор-крильчатка; 2 – конфузор; 3 – патрубок

Існує група СПКЗ, у яких роль кавітатора виконує струмінь рідини, що подається назустріч основному потоку. Уперше такий спосіб організації кавітаційних течій запропонував Л.И. Седов. В проточній камері змішувачів встановлюються трубки-сопла, вихідними отворами спрямовані у бік конфузора (рис. 2.15).

Таким способом вдається одержати стійку кавітаційну течію у діапазоні швидкостей струминки $V_c = (0,5...1,15)V$. У цих апаратах також можна реалізувати пульсуючий режим кавітаційної обробки, розмістивши на патрубку подачі рідини до сопел пульсатор.

Труба Вентурі може бути використана як без кавітаційний СПКЗ.

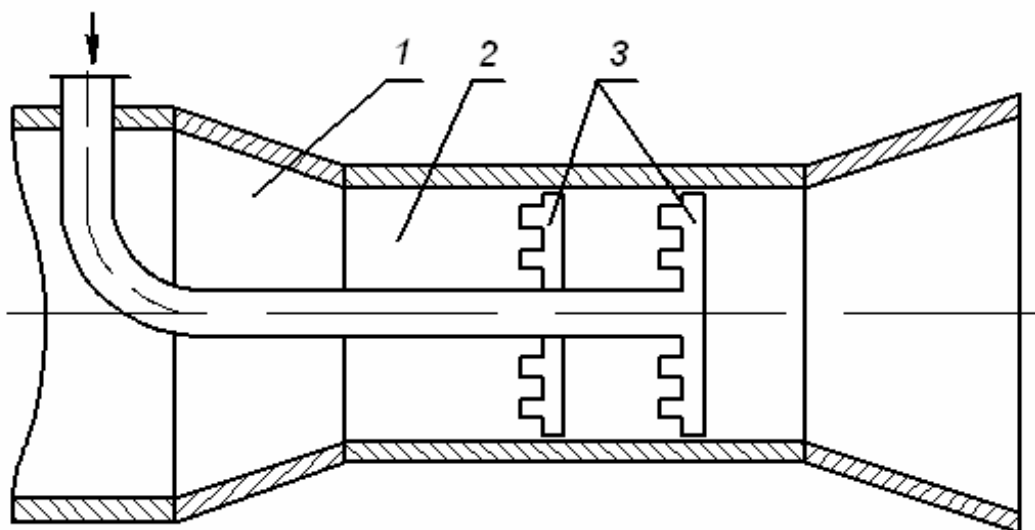


Рисунок 2.15 – Струминний кавітаційний змішувач: 1 – конфузор; 2 – проточна камера; 3 – кавітаційні елементи (трубки-сопла)

У порівнянні з іншими кавітаційними змішувачами СПКЗ мають істотні переваги: простота конструкції й обслуговування, надійність у роботі, низькі енерговитрати і металоємність. Економічна ефективність застосування СПКЗ зумовлюється також скороченням виробничих площ для їх розміщення. До недоліків можна віднести залежність їх продуктивності від типу застосовуваного живильного насоса.

2.7 Гідромеханічні пристрої для розмелу волокнистих матеріалів

Гідромеханічні пристрої застосовуються для остаточного розпуску маси (макулатури). Маючи високу швидкохідність, ці машини є ефективними при великих відстанях між робочими органами, вплив на волокно зумовлюється змінними тисками, дотичними напруженнями зсуву й ударами до рухомих і нерухомих елементів машини. За таких умов волокна практично не коротшають.

У гідродинамічних млинах типу ентштипера маса надходить через центральний патрубок у кришці (рис. 2.16).

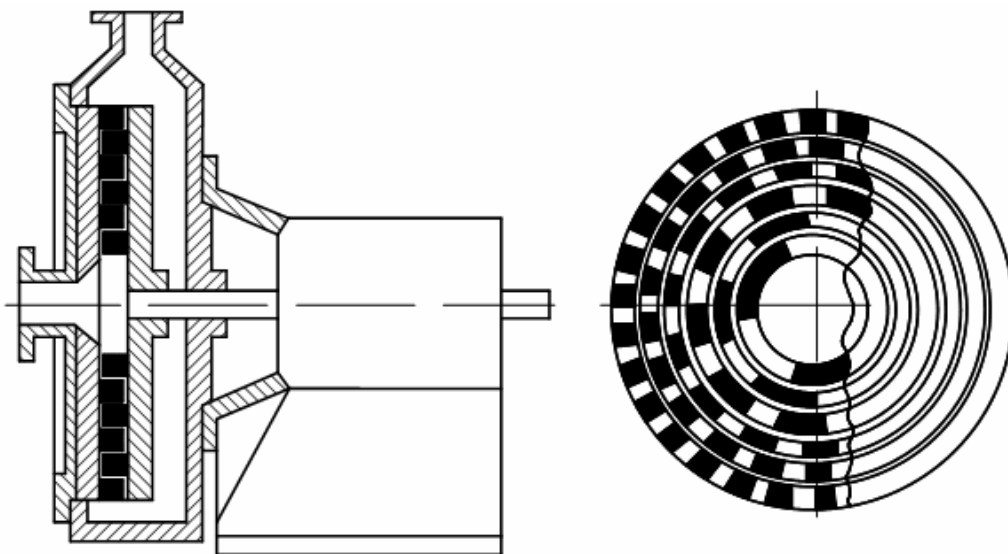


Рисунок 2.16 – Гідродинамічний млин типу ентштипера

Роторне кільце захоплює масу і відкидає в пази статорного кільця. При цьому виникає ударна взаємодія між матеріалом і бічними стінками пазів статорних кілець, а переданий швидкісний напір майже цілком перетворюється в статичний тиск, що переміщає масу до наступного роторного кільця. Крім ударної дії виникають також змінні тиски завдяки перекриттю пазів нерухомих кілець виступами рухомих і навпаки. Відмінною рисою цього пристрою є те, що внутрішні поверхні статорних і зовнішніх роторних кілець виконані з деякою конусністю, а також є механізм, що дозволяє змінити зазор між кільцями. Тому в млині може

поєднуватися ножова і гідродинамічна дія на волокно. Характер обробки можна регулювати в широкому діапазоні. Можна одержати результати, близькі до результатів розмелу на ножових млинах [12-14].

Для розмелу шкіри більш прийнятний гідромеханічний млин типу суперфайнер (рис. 2.17).

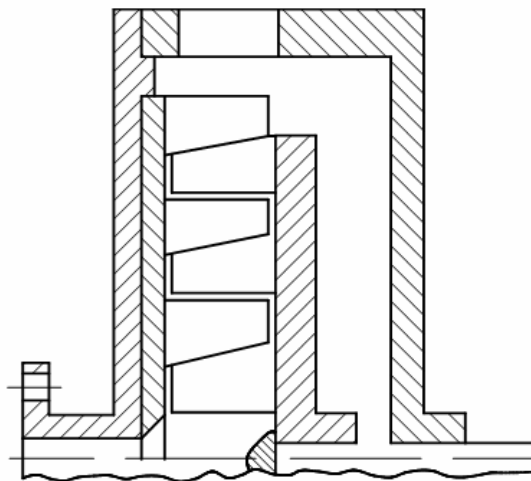


Рисунок 2.17 – Гідромеханічний млин типу суперфайнер

Оскільки шкіряні волокна більш міцно скріплені, ніж у папері, то сполучення гідродинамічного впливу з механічним, яке реалізується в суперфайнері, є більш ефективним для розмелу шкіри. Однак це обладнання рекомендується використовувати для розмелу шкіряних відходів після попереднього подрібнення до певного розміру. При цьому воно ефективне при малій концентрації маси шкіри у воді (3,5...4 %), що є недоліком подібних пристроїв.

Відомості про гідромеханічні методи подрібнення досить обмежені [12]. Ці методи використовуються при подрібненні целюлози й азбесту. Відомостей щодо подрібнення шкіри цими способами немає. Перевагою є те, що під дією зовнішнього впливу відбувається ніби "розплутування" волокон. Волокна відокремлюються один від одного цілими, неушкодженими, як це має місце при різного роду механічних впливах, а звідси і висока якість волокна. Гідродинамічна кавітація, яка супроводжує гідромеханічні методи створює великий тиск при схлопуванні бульбашок на поверхні твердих матеріалів.

2.8 Подрібнювачі з подрібнюючими тілами

Група подрібнювачів з подрібнюючими тілами характеризується явно вираженими робочими органами. В такому обладнанні робочі органи можуть бути різноманітні як за конфігурацією, так і за призначенням.

Дана група подрібнювачів, в свою чергу, включає в себе дві підгрупи, які розрізняються за характером закріплення робочих тіл:

подрібнювані з вільними подрібнюючими тілами і з закріпленими подрібнюючими тілами.

2.8.1 Подрібнювачі з вільними подрібнюючими тілами

Ця група подрібнювачів не має жорсткого зв'язку з трансмісією, В такому обладнанні в якості робочих органів можуть виступати різноманітні за формою тіла, наприклад, кульки, ролики, що виготовляються з різних твердих матеріалів.

Дана група включає в себе ще дві підгрупи подрібнювачів: барабанні гравітаційні обертові і барабанні з високим прискоренням (рис. 2.18).

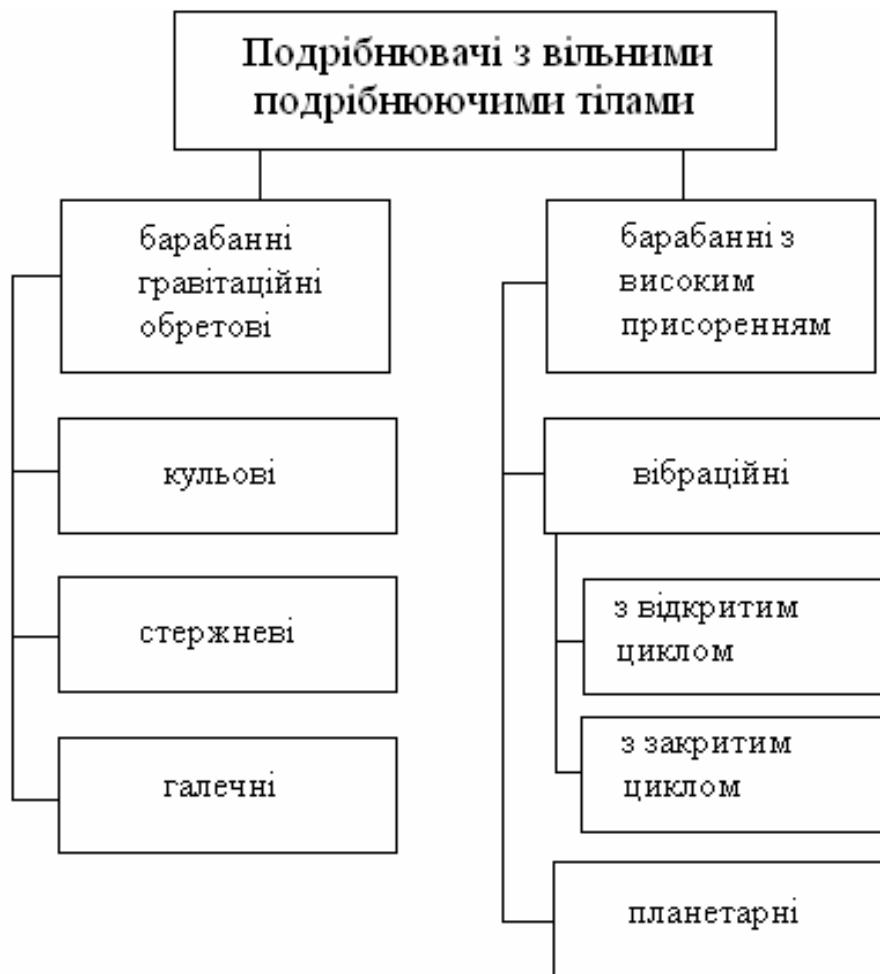


Рисунок 2.18 – Подрібнювачі з вільними подрібнюючими тілами

2.8.2 Барабанні гравітаційні обертові подрібнювачі

До таких подрібнювачів відносяться подрібнювані, в яких руйнування матеріалу відбувається за рахунок вільного удару робочого органу (кульок, роликів). При вільному ударі ефект руйнування залежить від маси тіл, що ударяються і швидкості руху тіл в момент удару. При зіткненні ро-

бочих тіл і частинок матеріалу зусилля, що виникають визначаються силами інерції частин, що взаємодіють.

Таке обладнання ділиться на кульові, стержневі і галечні подрібнювачі.

Кульові подрібнювачі використовуються для розмелювання мергелю, шихти з вапнякової сировини і шни, доменного шлаку, кварцевого піску і будь-якого крихкого матеріалу.

Таке обладнання може бути використане в ливарній, будівельній, хімічній і переробній промисловостях.

Принципова схема кульового кільцевого подрібнювача представлена на рис. 2.19.

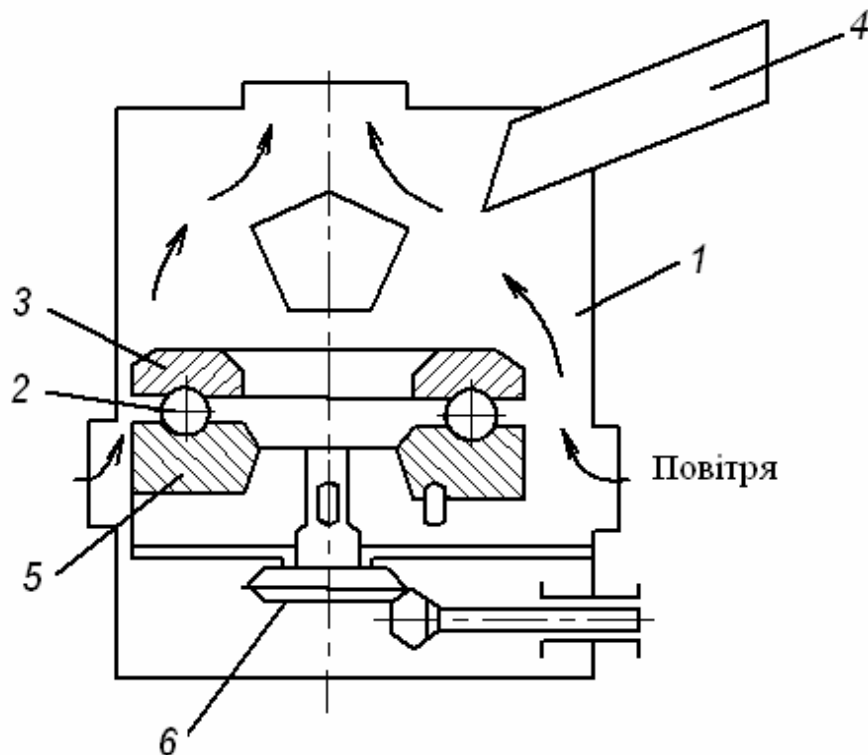


Рисунок 2.19 – Принципова схема кульового кільцевого подрібнювача: 1 – корпус; 2 – кулі; 3 – верхнє кільце; 4 – бункер; 5 – нижнє напрямлює кільце; 6 – конічна передача

Подрібнення матеріалу відбувається після його завантаження в бункер 4, що виконаний в верхній частині корпусу 1. Постійна подача повітряного потоку забезпечує, циркуляцію крихкого матеріалу посередині і попадання його частинок під кулі 2, що рухаються разом з напрямлюючими кільцями 3 і 5. Подрібнені до вигляду пилу частинки матеріалу виносяться повітряним потоком із зони подрібнення. Якісне подрібнення матеріалу забезпечується тим, що великі частинки, маючи більшу вагу, залишаються в зоні подрібнення, а мілкі - весь час виносяться повітряним потоком у накопичувач переробленої сировини.

В подальшому подрібнені відходи можуть використовуватись як додаткові сполуки цементних сумішей у будівельній галузі, також їх можна використовувати в хімічній промисловості в якості наповнювачів.

Розмелювання у таких подрібнювачах відбувається за рахунок роздавлювання кулями крихких частинок матеріалу, що попадають в юну подрібнення.

Даний процес подрібнення є досить простим і вивченим. Розроблені математичні моделі для визначення потужності, питомої продуктивності, залежно від коефіцієнту помолу фракцій та інших параметрів процесу подрібнення. На основі вивчених конструкцій кульових подрібнювачів складені деякі характерні залежності між габаритними розмірами установок і необхідними потужностями двигунів. Усі дані зведені в табл. 2.1.

Питома продуктивність в даному виді обладнання в великій мірі залежить від виду подрібнюваного матеріалу (табл.2.2).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики кульових подрібнювачів періодичної дії [71]

Параметр млина	Внутрішній діаметр барабана, м				
	0,89	1,26	1,61	1,725	2,175
Довжина барабана, м	0,81	1,09	1,69	1,86	2,21
Частота обертання, хв ⁻¹	35	22	18	16	14
Ємність барабана	500	1300	3420	4400	8200
Маса, кг					
корисного завантаження	250	650	1700	2200	4100
куль	250	650	1700	2200	4100
фарфорової внутрішньої обшивки	445	1100	2115	2890	4350
барабану без футерування і	1100	2050	4200	4600	8100
без кульок	2	3,8	8	10	14
Потужність двигуна, кВт					
Габаритні розміри, м	2,2	2,7	3,7	4,0	5,3
довжина	1,2	1,6	1,9	2,1	2,6
ширина	1,2	1,6	1,9	2,1	2,6
висота					

2.8.3 Подрібнювані барабанні з високим прискоренням

До обладнання такого типу відносяться пристрої, в яких подрібнення відбувається за рахунок передачі механічної енергії частинкам подрібнюваного матеріалу при взаємодії частинок між собою. Дія покращення процесу подрібнення в суміш матеріалу можуть додаватися вільні подрібнюючі тіла.

Такі подрібнювачі включають в себе ще два типи обладнання: вібраційні і планетарні подрібнювачі.

Розглянемо вібраційні подрібнювачі.

Таблиця 2.2 – Питома продуктивність кулевих подрібнювачів [72]

	Значення q , кг/(кВт ч), при помолі	
Мергель з опором розмелювання:		
високим	40-60	40-50
середнім	70-90	60-70
низьким	100-120	80-100
Шихта з вапнякової сировини та глини з опором розмелювання:		
високим	50-70	50-60
середнім	70-90	70-80
низьким	100-150	80-100
Сировинна шихта (крейда + глина)	150-250	–
Доменний шлак + вапняк:		
з високим опором розмелювання	–	30-40
з середнім опором розмелювання	–	30-40
Клінкер печі, що обертається	–	36-40
Доменні гранульовані шлаки	–	35-40
Опора, трепел	–	50-60
Трас	–	20-25
Кварцевий пісок	–	30

Таке обладнання використовується для руйнування на більш мілкіші фракції сипучих і крихких матеріалів. Даний вид обладнання може використовуватись в хімічній, будівній і видобувній промисловостях. В зв'язку з малою продуктивністю такі подрібнювачі є мало використовуваними.

Величина частинок вихідного продукту може бути визначена за формулою

$$d \leq D/(5...6),$$

D - діаметр кулі або ролика, м.

Конструкція вібраційного подрібнювача (рис.2.20) включає в себе корпус 1, який встановлений на пружинах 2.

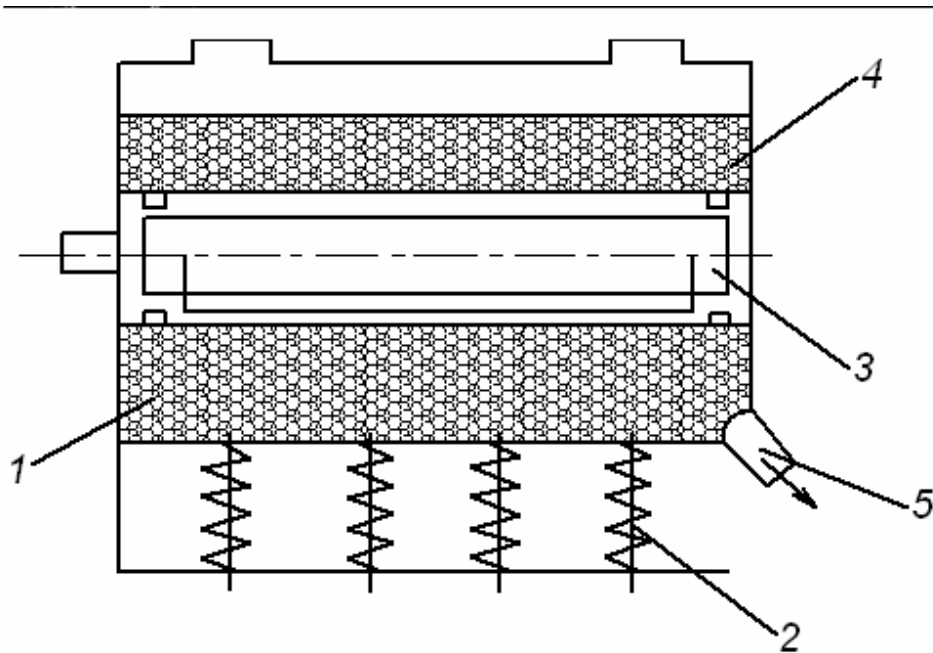


Рисунок 2.20 – Вібраційний подрібнювач: 1 – корпус; 2 – пружини; 3 – вібруючий елемент; 4 – матеріал; 5 – вихідний патрубок

На даний момент існує велика кількість обладнання даного типу. Кожна установка дозволяє отримувати той чи інший вихідний результат. Розглянемо установку, яка забезпечує максимальну ефективність процесу подрібнення за рахунок безперервності самого процесу.

Безперервний спосіб подрібнення наповнювачів здійснюється двома шляхами: у відкритому циклі на "прохід" і в замкнутому циклі з сепаратором і циклоном. Останній спосіб дозволяє отримувати вихідний продукт з частинками визначеної мілкості. Віброподрібнювачі, що працюють у замкнутому циклі, бувають з нижнім і верхнім відбором подрібненого матеріалу.

На рис. 2.21 представлений віброподрібнювач М-400, що працює у замкнутому циклі з сепаратором. Такий подрібнювач призначений для тонкого помолу з розміром частинок вихідного матеріалу від 2-3 мм до 600-100 мкм.

З бункера 1 віброживителя 2 матеріал подається до вібромлина 3, звідки повітряний потік по повітропроводам 4л 5 потрапляє в сепаратор 6, де відбувається розділення частинок матеріалу за величиною. Великі частинки потрапляють до млина 3 по трубі 7, де повторно подрібнюються. Частинки необхідної мілкості потрапляють в ємність 10 крізь трубу 8 і циклон 9, а повітряний потік засмоктується вентилятором високого тиску 11. Технічні характеристики деяких подібних установок зведені в табл. 2.3, 2.4 [9-14].

При роботі з різною частотою коливань, але однаковою кількістю вживаної енергії і при інших рівних умовах, продуктивність установки не

мінється. Так, продуктивність подрібнювача М-200-1,5, частота коливань якого дорівнює 25 Гц, а амплітуда - 3,5 мм, співпадає з продуктивністю того ж самого млина з частотою коливань 50 Гц, амплітудою 2 мм і однаковою потужністю привода 20 кВт.

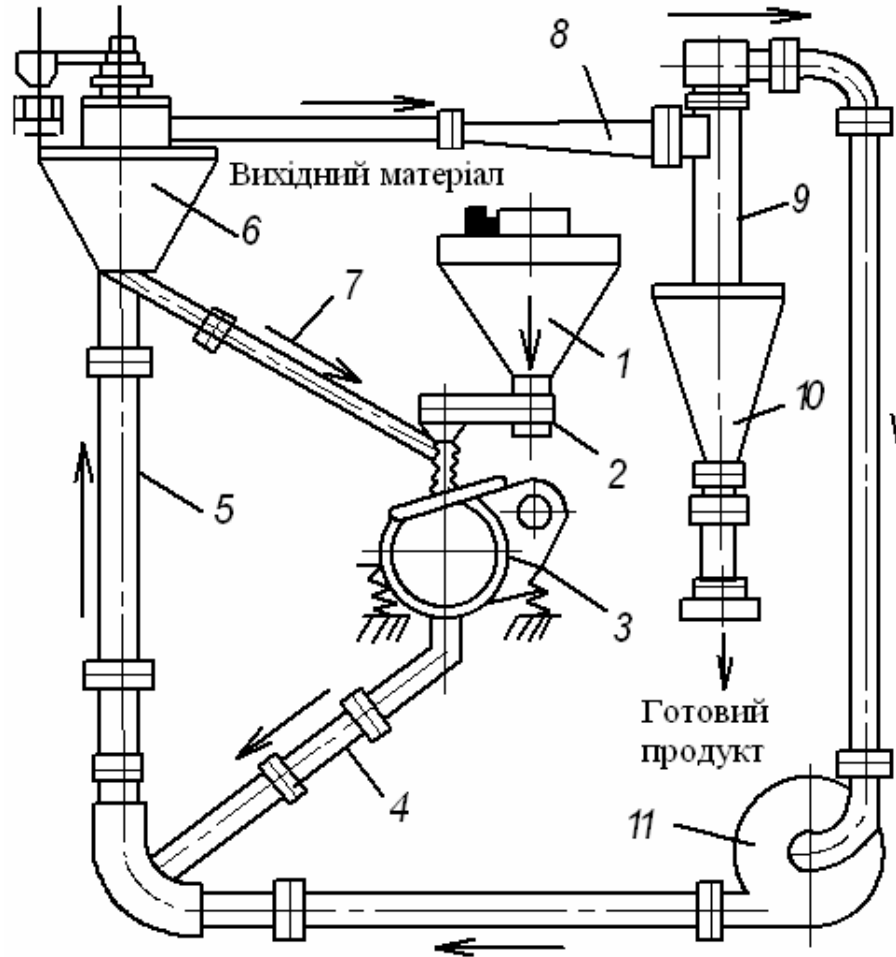


Рисунок 2.21 – Віброподрібнювач М-400, що працює в замкнутому циклі з сепаратором: 1 – бункер; 2 – віброживитель; 3 – вібромлин; 4 – повітропроводи; 6 – сепаратор; 7,8 – труби; 9 – циклон; 10 – ємкість; 11 – вентилятор високого тиску

2.8.4 Подрібнювачі з закріпленими подрібнюючими тілами

Подрібнювачі з закритими подрібнюючими тілами (рис.2.22) з більш ефективними, ніж попередня група обладнання. Це пов'язано з тим, що передача енергії йде безпосередньо на робочий орган, який в свою чергу, взаємодіючи з матеріалом, подрібнює його. У подрібнювачів з вільними тілами більша частина енергії витрачалась на тертя і процес перемішування.

Ефективність роботи такого обладнання характеризується в більшій мірі потужністю приводу та робочим органом.

Варіантів виконання робочих органів дуже багато. Така різноманітність пов'язана з широким діапазоном подрібнюваних матеріалів. В такому обладнанні при проектуванні враховуються фізико-механічні властивості матеріалів, динаміка взаємодії робочих органів з матеріалом, що подрібнюється.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вібраційних подрібнювачів

Параметр	Млин			
	М-200-1,5	М-230	М-100-1,5	М-100-1 з двома помольними камерами
Об'єм корпусу, дм ³	200	230	400	1000
Амплітуда коливань, мм	3	4	4	3
Момент вібратора, Нм	14–17,5	44–32	40	56
Маса, кг:				
Тіл, що мелються	740	850	1480	3800
Стальних кульок чи роликів	740	850	480	3800
Фарфорових шариків	240	–	480	–
Млина з електродвигуном без тіл Що мелються	700	1600	1880	4900
Потужність двигуна, привода, кВт	14	28	40	100
Габаритні розміри, м:				
довжина	1,98	2,3	2,6	3,7
ширина	0,98	0,82	1,2	2,5
висота	1,4	1,0	1,6	1,8

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики подрібнювальних установок вібраційного типу

Параметр	Помольна установка з футуруванням	
	керамічною	металічною
Продуктивність, кг/год	150–300	До 1000
Потужність двигуна, кВт	22	40
Частота обертання, хв ⁻¹	1450	1500
Вентилятор		
продуктивність, м ³ /год	1800	1800
напір, Па	66500	66500
Маса установки, кг	4080	5140
Габарити, м: довжина	3,1	3,5
ширина	2,2	2,4
висота	4,5	4,4

Використання різних як за конфігурацією, так і за способом подрібнення матеріалів робочих органів дозволяє отримувати досить широкий діапазон фракцій вихідного матеріалу.

Переваги різання розширили область застосування ріжучих пристроїв. В залежності від умов навантаження розділяють різання з контрножем (зосереджене) та без контрножа (незосереджене).

Незосереджене різання застосовують для розділу на частини великогабаритних матеріалів. Пристрій може бути виконаний у вигляді обертового багатолезового ножа або ніж закріплений нерухомо, а обертається матеріал, що подрібнюється.

Зосереджене різання застосовується в роторних ножових подрібнювачах (рис. 2.23), в яких ножі розташовані як в роторі, так в статорі.

Такий пристрій складається з ротору 1, ножа ротора - 2, корпусу 3, решітки – 4, ножів статора - 5.

Процес подрібнення матеріалу починається з його завантаження в бункер, звідки він потрапляє на ротор 1 і на його ножі 2. Матеріал подрібнюється при взаємодії з ножами ротора 2 і нерухомо закріпленими ножами 5 статора. Після цього матеріал просіюється через решітку 4 і потрапляє до бункера готового продукту (не покотело).

Ножовий роторний подрібнювач використовується для подрібнення паперу, еластичних матеріалів, пластично-в'язких матеріалів, полівінілхлоридних матеріалів, волокнистих матеріалів, заморожених матеріалів.

Даний тип подрібнювача може знайти своє застосування в хімічній промисловості, целюлозно-паперовій, харчовій, будівній і легкій промисловості.

Після переробки волокнистих матеріалів отримані відходи можна використовувати для створення нових видів короткочасного й одноразового користування, різноманітних гідро-, звуко- і теплоізоляційних матеріалів, геотекстильних матеріалів для житлового і дорожнього будівництва, прокладок, технічної вати і т. ін.

Як вже було вище згадано, одним з найбільш розповсюджених методів подрібнення є різання. При механічному подрібненні відходів більша частина енергії витрачається на пружне деформування. Таким чином, з точки зору економії енергії, подрібнення слід проводити в умовах, при яких відбуватиметься мінімальне деформування матеріалу. Так при руйнуванні відходів легкої промисловості різанням частина матеріалу, що знаходиться в складно напруженому стані, порівняно невелика та зосереджена поблизу ріжучої кромки ножа. Внаслідок чого робота руйнування при різанні значно менша.

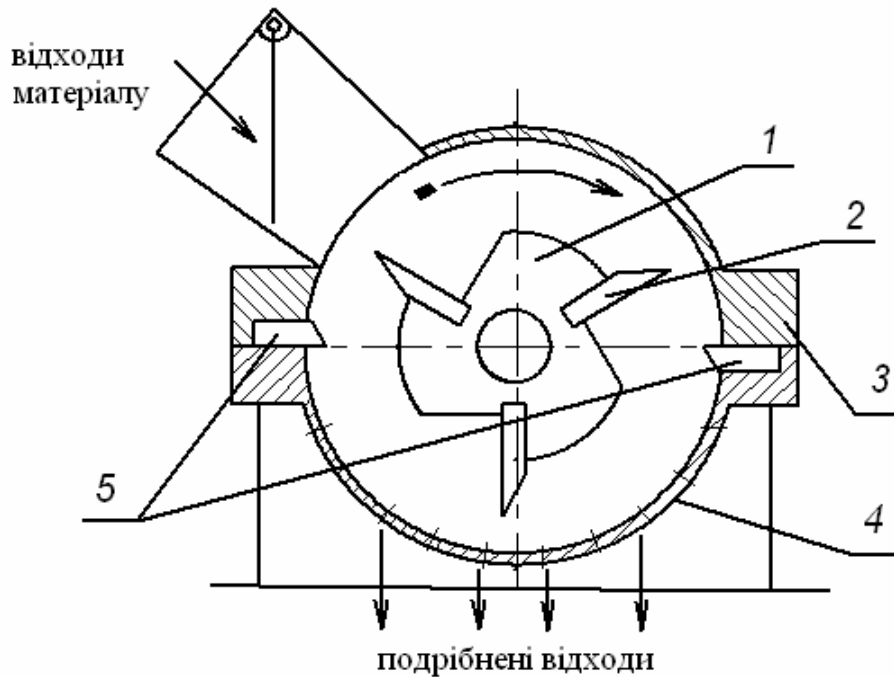


Рисунок 2.22 – Роторний ножовий подрібнювач:
 1 – ротор; 2 – ніж ротора; 3 – корпус; 4 – решітка; 5 – ножі статора

Процес подрібнення в подрібнювачах даного типу в більшості випадків досить простий. Це пов'язано з тим, що в процесі роботи обладнання не потребує ніякої додаткової наладки і регулювання. Наладка і регулювання відбувається тільки при зміні типу подрібнюваного матеріалу. В деяких варіантах подрібнювачів наявні валки для попереднього стискання матеріалу з метою поліпшення якості подрібнення. Сітка, яка встановлена в нижній частині бункера, контролює проходження частинок заданої дисперсності. Не подрібнені частинки знову захоплюються ножами і подрібнюються додатково. Необхідності розділення різних матеріалів на групи нема.

Ступінь дисперсності, якої можливо досягнути при даному способі подрібнення 0,5... 10 мм.

Обладнання є досить простим в обслуговуванні. При роботі обладнання відбувається знос ножів і контрножів, їх заміна не складає проблем.

Доцільно при проектуванні конструкцій даних подрібнювачів встановлювати ножі під кутом до осі обертання ротора, що призводить до покращення процесу різання (кінематичний кут). Кут нахилу ножів веде до виникнення в процесі роботи кінематичного кута різання, що, в свою чергу, дозволяє зменшити силу різання.

Кожна конструкція або виріб, або пристрій мають свої переваги і а недоліки. Розглянемо переваги ножових роторних подрібнювачів.

1. Процес подрібнення в таких пристроях, перш за все, заснований на зосередженому руйнуванні матеріалу. При такому подрібненні енерговит-

рати мінімальні, так як зона деформацій мінімальна і, відповідно, втрати енергії на деформацію непотрібних нам шарів матеріалу відсутні.

2. Такі подрібнювачі мають прості та надійні конструкції.

3. Вони також легкі в обслуговуванні, що є досить вагомим фактором при купівлі обладнання.

4. Можливість регулювання дисперсності подрібненого матеріалу шляхом заміни просіювальної сітки з різними діаметрами отворів, а також можливість збільшення швидкості обертання ротора. Де є переваги, там є і свої недоліки.

1. В процесі роботи відбувається зношування робочих органів під дією сил тертя і удару. Недовговічність роботи ножів пов'язана також з тим, що кожен ніж має одну ріжучу кромку і вимагає індивідуальної установки в корпусі.

2. Недоліком також є те, що конструкція даного типу подрібнювачів не дозволяє активно впливати на ступінь подрібнення матеріалу.

3. Також при подрібненні пластично-в'язких матеріалів в результаті підвищених температур в робочій зоні відбувається процес налипання матеріалу на робочі органи, а також його грудкування, це різко знижує ефективність процесу подрібнення.

Загалом даний тип обладнання є досить розповсюдженим. Завдяки невеликим витратам енергії, що пов'язано з самим процесом подрібнення, обладнання є економічно вигідним. Таке обладнання вже використовується у вищезгаданих галузях промисловості. Результати випробування досить непогані. Подрібнювачі даного типу добре зарекомендували себе при переробці відходів легкої промисловості.

Для попереднього подрібнення широке застосування отримали валкові машини з набором дисків, які мають ріжучі кромки різних конфігурацій (рис. 2.24)/ Також додатково на поверхні дисків можуть бути встановлені ріжучі елементи (рис. 2.23), які дозволяють підвищити ефективність подрібнення матеріалу за рахунок додатково розміщених ріжучих елементів, що дозволяють отримувати більш рівномірну дисперсність матеріалу, виключаючи процес повторного подрібнення.

Відома також конструкція дискового ножового подрібнювача (рис. 2.25, а, б, в), яка має в собі загрузочну воронку, що виконана безпосередньо в корпусі 2, в середині якого розташовані привідний диск з розташованими на його торці радіальними ножами 4 і нерухомі фронтальні контрножі 5 і 6. Ріжучі кромки ножів виконані у вигляді прямокутних зубчатих гребінок і розташовані з можливістю розміщення виступів одного ножа в западинах іншого.

Подрібнюваний матеріал подається в завантажуючу воронку 1, звідки він попадає на поверхню фронтального контрножа 5. при цьому радіальний ніж 4 розрізає матеріал, взаємодіючи гранями своєї ріжучої гребінки із гранями ріжучої гребінки контрножа 5. При подальшому

обертанні диска 3 подрібнені куски матеріалу зміщуються під дією відцентрових сил до периферії диску 3 (рис. 2.24, б, в) по поверхням I виступу ножа 4 (рис, 2.24, г) і додатково подрібнюються при взаємодії гребінок ножа 4 і контрножа 6.

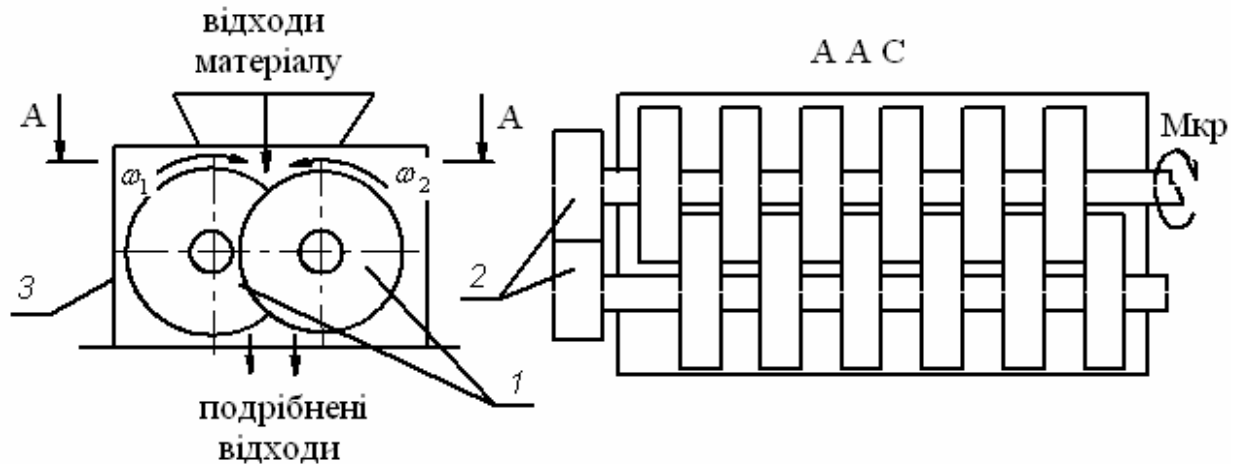


Рисунок 2.23 – Дисковий подрібнювач: 1 – диски;
2 – зубчата передача; 3 – корпус.

Куски матеріалу, що рухаються по поверхні II ножа 4 (рис. 12.24, в) зміщуються до периферії диска 3 і додатково подрібнюються при взаємодії ріжучої кромки 9 ножа 4 і ріжучих кромки 8 додаткових радіальних контрножів 7.

Оскільки глибина западин гребінки ножа 4 дорівнює половині його загальної висоти, куски матеріалу отримуються однакового розміру.

Така конструкція подрібнювача дозволяє отримувати продукцію з більшим ступенем подрібнення.

Конструкція дискового подрібнювача включає в себе диски 1, зубчасту передачу 2 і корпус. Диски встановлені на валах, які, в свою чергу, закріплені в підшипникових опорах. Кут заточки ріжучих кромки ріжучих елементів одних дисків протилежний куту заточки ріжучих кромки ріжучих елементів інших дисків.

Подрібнення матеріалу здійснюється ріжучими елементами, які захоплюють матеріал і руйнують його зустрічними рухами. Матеріал потрапляє в зону подрібнення через завантажувальний бункер після приведення пристрою в робочий режим, тобто валки повинні обертатися.

Ножовий дисковий подрібнювач використовується для подрібнення полімерів, деревини, вторинних матеріалів.

Даний тип подрібнювача може використовуватись в деревообробній, гумотехнічній, хімічній, переробній промисловості.

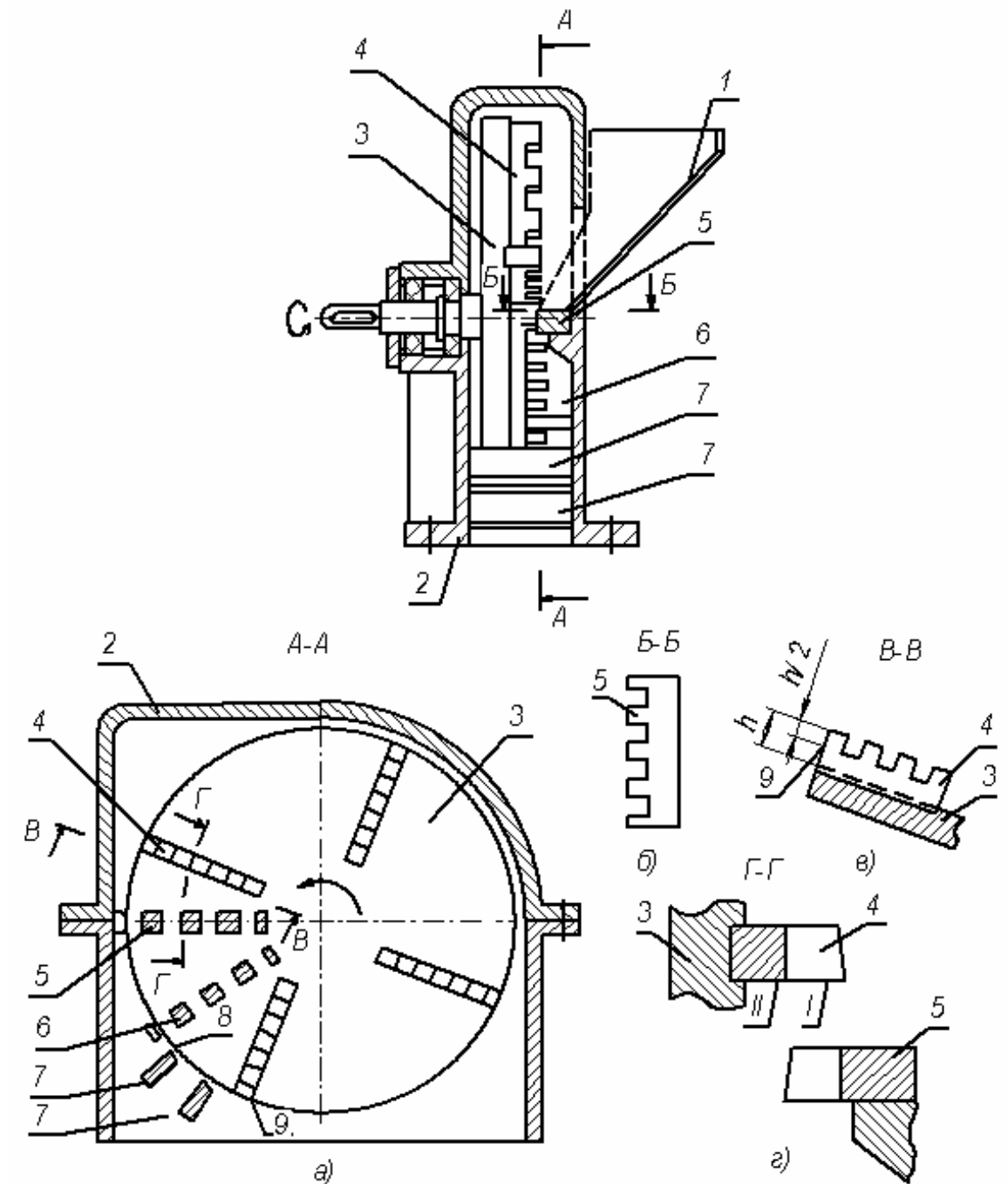


Рисунок 2.24 – Дисківий ножовий подрібнювач

Про широке використання даного обладнання свідчить наявність великої кількості розробок і вдосконалень обладнання.

Після переробки відходів деревини утворену деревну муку можна використовувати в якості наповнювачів для багатьох полімерних виробів. Використання відходів у виді наповнювача пластмасових виробів дозволяє підвищити якість виробів. Мелена шкаралупа горіхів містить невелику кількість олії і служить активним наповнювачем для виробів з термопластів.

Процес подрібнення на такому обладнанні передбачає попереднє відділення від матеріалу твердих частинок, таких як каміння, залізна стружка. Це робиться з метою запобігання заклинюванню робочого органу в разі попадання твердих частинок.

Дисперсність, якої можна досягнути при даному виді подрібнення, складає 0,1...30 мм. Дисперсність залежить від розмірів і конфігурації ріжучих елементів.

Дискові ножові подрібнювачі, як більшість обладнання даного типу, є досить простими в обслуговуванні. Єдина складність полягає в тому, що перед початком роботи необхідно провести установку ріжучих елементів на дисках таким чином, щоб утворююча ріжучих елементів відповідала подрібнюваному матеріалу. Це робиться з ціллю отримання кращої якості подрібнення і збільшення продуктивності.

Переваги даної групи подрібнювачів полягають в наступному:

- обладнання досить просте у використанні і обслуговуванні;
- використання обладнання дозволяє переробляти широкий діапазон промислових відходів;
- на обладнанні такого типу реалізується процес зосередженого різання, який є найбільш економічним з точки зору енерговитрат;
- використання додатково розміщених на поверхні дисків ріжучих елементів дозволяє отримувати вихідний матеріал рівномірної дисперсності.

Поряд із перевагами обладнання має і свої недоліки:

- в процесі використання обладнання присутній великий ступінь зношування ріжучих органів.

Для збереження максимальної довжини волокна виявились ефективними подрібнювачі, які використовують роздирання волокнистих відходів (рис. 2.25) - такими є відцентрові подрібнювачі.

Конструкція такого подрібнювача складається з рифлів 1, розташованих на корпусі, рифлів 2, розташованих на роторі, корпусу 3, валу 4, заслінки 5.

Конструкція дозволяє розривати текстильний матеріал, який потрапляє в зону подрібнення за рахунок того, що одна частина куска матеріалу захоплюється рифлями, розташованими на роторі, а інша - рифлями, розташованими на корпусі.

Даний подрібнювач може бути використаний для подрібнення полімерних, еластичних, пружно пластичних, зернистих матеріалів.

Таке обладнання може бути використане в хімічній, будівній промисловості, а також в тваринницькій і харчовій промисловості. Відцентрові подрібнювачі мало використовуються в промисловості.

Крихта, яка утворюється після переробки полімерних матеріалів може використовуватись в якості наповнювачів гумових сумішей, що поліпшує технологічність сумішей, знижує щільність вулканізаторів і спри-

ятливо позначається на економічних показниках виробництва. Перероблені відходи полівінілхлориду є термопластичними і добре регенерусими, вони переробляються на гранули, що у відповідній кількості додається до чистого ПВХ у виробництві деталей, наприклад, низу взуття. Відходи ПВХ можна переробляти на плівку для різних цілей, наприклад, з неї формуються пластини, застосовувані в якості вирубувальних колод при вирубці деталей.

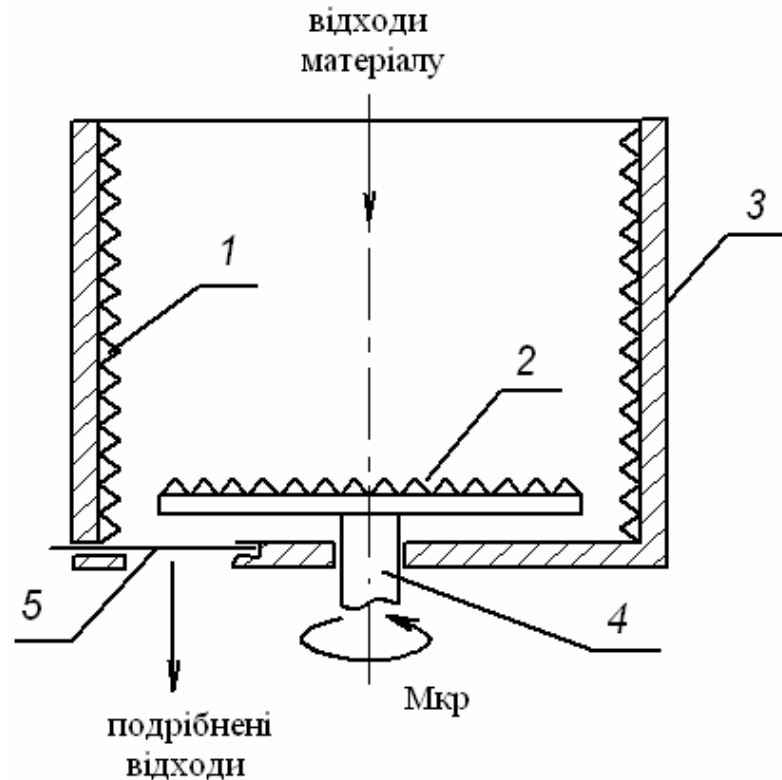


Рисунок 2.25 – Відцентровий подрібнювач: 1 – рифлі, розташовані на корпусі; 2 – рифлі, розташовані на роторі; 3 – корпус; 4 – вал; 5 – заслінка

Як було вище зазначено, подрібнення в таких типах подрібнювачів відбувається за рахунок розривання матеріалу, а також під дією відцентрових сил і вільного удару, при якому кінетична енергія тіл, що рухаються, повністю чи частково переходить в енергію деформації і руйнування матеріалу.

Процес подрібнення в обладнанні такого типу нескладний. Лише в деяких конструкціях [12] матеріал потребує попереднього подрібнення, але в більшості випадків такої необхідності нема. В інших випадках конструкцій, які призначені для подрібнення пластмас з низькою температурою плавлення, необхідно подавати холодне повітря в зону подрібнення для підтримання температури розмелювання, яка повинна бути нижчою від температури плавлення матеріалу.

Ступінь дисперсності порошку, що досягається при даному способі подрібнення – 0,6...5 мм.

Обладнання такого типу є досить простим. Обслуговуванні. До переваг даної групи подрібнювачів можна віднести:

- простоту конструкції;
- простоту в обслуговуванні;
- невеликі енергетичні затрати.

Ці пристрої поряд з перевагами мають і свої недоліки:

- відходи, які переробляються, повинні бути однорідними (не мати в собі інших матеріалів);
- в результаті переробки отримані гранули мають нерівномірну дисперсність;
- в процесі роботи присутня необхідність охолодження робочої зони для пластмас з низькою температурою плавлення;
- необхідно також в деяких випадках попередньо подрібнювати матеріал.

Такі недоліки обмежують можливості використання обладнання і не дозволяють розширити коло використання такого обладнання.

В подрібнювачах ударної дії руйнування матеріалу здійснюється під дією механічного удару. Розрізняють стиснений і цільний удар. При стисненому ударі руйнування матеріалу відбувається між двома поверхнями, що ударяються, а ефект руйнування залежить від маси тіла, яке ударяється, і швидкості його в момент удару. При вільному ударі частки матеріалу руйнуються в польоті при зіткненні з тілами, що ударяють, чи одне з одним, а зусилля, які виникають при цьому руйнуванні визначаються силами інерції самої частки.

За конструкцією робочого органу подрібнювачі ударної дії діляться на подрібнювачі з шарнірно закріпленими молотками і жорстко закріпленими молотками.

Молоткові подрібнювачі з шарнірно закріпленими молотками мають ротор 2, на якому шарнірно закріплені молотки 1, також в корпусі 4 встановлена решітка 3 (рис. 2.26).

При вмиканні двигуна ротор починає обертатися, в цей момент молотки, що шарнірно закріплені, вільно обертаються навколо осі, створюючи максимальний об'єм завантаження матеріалу. Вторинні текстильні матеріали, що являють собою обрізки тканини і трикотажу і хімічних волокон в подрібненому вигляді (кусочки розміром 40-60 мм) завантажуються в приймальну воронку, через яку захоплюються в робочу камеру.

В цей момент молотки під дією контактних навантажень будуть відхилятися в протилежну сторону обертання ротора, створюючи мінімальний об'єм завантаження матеріалу. Подрібнення матеріалу відбувається за рахунок циклічних ударів молотків, які розбивають структуру матеріалу.

Молоткові подрібнювачі використовуються, в основному, для подрібнення текстильних матеріалів, а саме для розволокнення матеріалу. Також можна подрібнювати полімери, крихкі матеріали, натуральні і штучні шкіри.

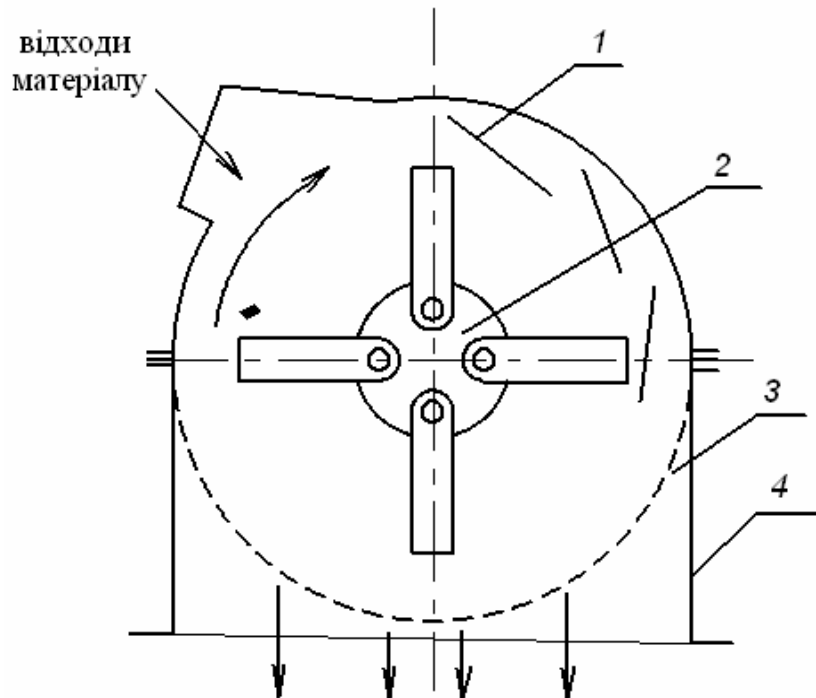


Рисунок 2.26 – Молотковий подрібнювач: 1 – відбивні рифлі; 2 – молотковий ротор; 3 – решітка; 4 – корпус

Даний тип подрібнювачів може використовуватись в текстильній, хімічній, переробній промисловості.

Таке обладнання досить широко використовується в текстильній промисловості за рахунок того, що зі всіх подрібнювачів саме молоткові подрібнювачі дозволяють отримувати максимальну довжину волокна (рис. 2.27), що визначає подальше його використання в промисловості.

Для волокнистих матеріалів вважається кращим забезпечення максимальної довжини волокна, а для неволокнистих - мілка дисперсність [96], Дисперсність подрібнення - дуже важливий фактор, адже від цього залежить діапазон використання подрібненого матеріалу [12-15].

Саме отримання максимальної довжини волокна визначає максимальне його використання як наповнювачів, ватину, нетканих матеріалів, ниток і тканин.

Процес подрібнення в даному виді обладнання відбувається за рахунок розсічення молотками частинок, та під дією інерційних сил в вихрі і при взаємодії матеріалу зі стінками робочої камери.

Даний процес подрібнення є досить вивченим, це доводиться наявністю математичної моделі, а також на даному етапі досліджень розроблена

інженерна методика проектування пристроїв такого типу. Ця методика дозволяє визначати потужність, що витрачається на подрібнення одиниці об'єму матеріалу через визначення роботи, що витрачається на утворення одиниці площі вільної поверхні частинок матеріалу. В свою чергу визначення одиниці площі вільної поверхні здійснюється завдяки моделюванню процесу взаємодії молотків з матеріалом методом скінчених елементів.

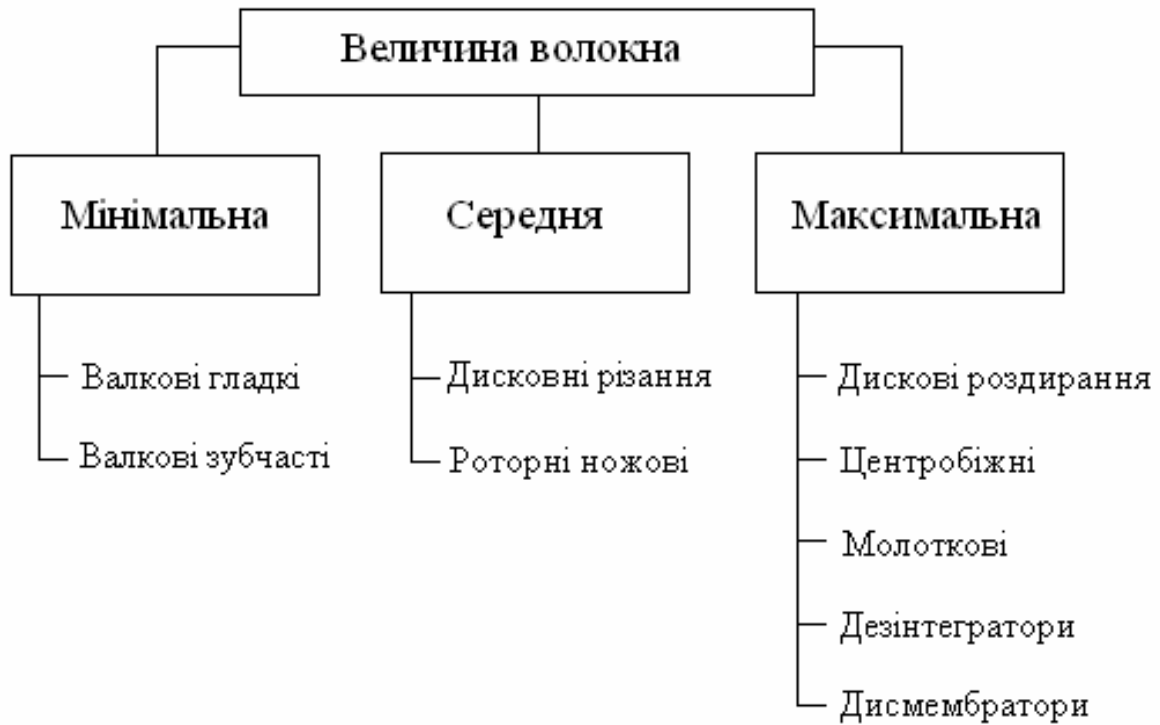


Рисунок 2.27 – Класифікація подрібнювачів за величиною подрібненого волокна

Процес подрібнення в молоткових подрібнювачах досить простий. Перед подрібненням матеріал повинен бути розділений за походженням і видом, а саме полімери повинні бути відділені від текстилю, шкіра від гуми. Вторинні текстильні матеріали перед завантаженням повинні бути подрібнені до частинок розміром до 100 мм. Лише після цього матеріал можна завантажувати для подальшої переробки.

Ступінь дисперсності, якого можливо досягти при даному способі подрібнення для монолітного матеріалу, складає 0,5-8 мм, для волокнистих матеріалів довжина волокна від 1 мм і більше.

В обслуговуванні таке обладнання є досить простим. Майстер лише повинен слідкувати, щоб зона подрібнення матеріалів не була засмічена рештками інших матеріалів, що подрібнювались до цього, а також слідкувати за ступенем зношення молотків.

До переваг даного обладнання можна віднести:

- простоту і надійність конструкції;

- можливість отримання максимальної довжини волокна;
- простоту в обслуговуванні.

Поряд з перевагами подрібнювачі мають свої недоліки:

- вузький діапазон використання матеріалів;
- необхідність попереднього подрібнення вторинних відходів;
- необхідність попередньої обробки деяких матеріалів емульсатором (матеріали з домішками хімічних волокон).

Молоткові подрібнювачі з жорстко закріпленими молотками мають масивний ротор 2, на якому жорстко закріплені молотки. На внутрішній частині корпуса 4 закріплені відбивні рифлі 1 і решітка 3 (рис. 2.28).

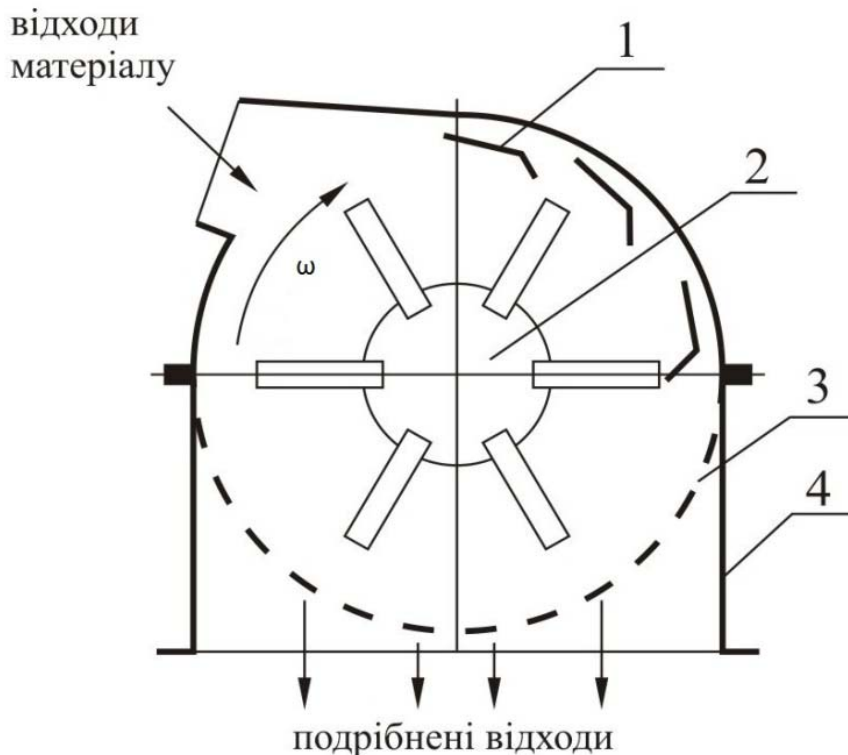


Рисунок 2.28 – Роторний подрібнювач: 1 - відбивні рифлі; 2 – ротор;
3 – решітка; 4 – корпус

Подрібнення матеріалу відбувається майже як і в попередньому подрібнювачі. Відмінність полягає в тому, то матеріал, який подрібнюється, отримує удари від всієї маси ротора та зусилля, що передається на ротор від приводу.

Такі подрібнювачі використовуються для подрібнення кормів, відходів з пластмас, видувних виробів, пінопласту, полімерів, термопластичних матеріалів, волокнистих матеріалів.

Даний тип обладнання може бути використаний на підприємствах, які переробляють пластмаси і їх відходи.

Подальше використання перероблених пластмас в основному визначається їхнім хімічним складом і дисперсністю. При додаванні до отрима-

них порошків наповнювачів, пластифікаторів та інших речовин, можна отримувати знову цілком придатні до новою виробництва пластмаси.

Отримані після переробки хімічні волокна, а точніше суміш натуральних, синтетичних і хімічних волокон, можна використовувати для виготовлення полімерних деталей, деталей для газових плит. Перероблений капрон замінює вату в швейній промисловості (капропласт), а в меблевій - поролон.

Даний процес подрібнення відходів є достатньо відомим і вивченим. Для теоретичного відображення вимог для розрахунків основних параметрів молоткових подрібнювачів з жорстко скріпленими молотками використовується методика, яка базується на смежностях пружної деформації матеріалу. На основі цієї методики отримана залежність потужності подрібнення від середнього розміру часток матеріалу і конструктивно-кінематичних факторів.

В молоткових подрібнювачах відходів процес подрібнення є досить змістовним за наявності багатьох операцій, що сприяють отриманню максимального результату. Отже подрібнення матеріалів на даному подрібнювачі вимагає відмивки, віджиму, сушки і агломерації [98]. Це все потрібно для здійснення повного циклу переробки відходів.

Ступінь дисперсності, якої неможливо досягти при даному способі подрібнення, складає 0,5-8 мм - для монолітного матеріалу і для волокнистого матеріалу довжина волокна досягає від 1 мм і більше.

Саме обладнання в обслуговуванні є досить простим, єдина складність полягає в регулярній перевірці чистоти робочих органів машини, відсутності налипання на них частинок агломерату.

Подрібнення відходів легкої промисловості в дезінтеграторах здійснюється за рахунок удару. До обладнання цього типу можна віднести пристрій, який має в собі ротор 3 і статор (рис. 29). Статор виконаний у вигляді корпусу, в якому розташовані контрножі і виконано завантажувально-розвантажувальні отвори. В свою чергу ротор виконаний у вигляді циліндричної металевої щітки або у вигляді набору пластин, паралельних осі, які мають різну величину (рис.29. в).

Такі подрібнювані можуть бути використані для подрібнювання зношених автомобільних покришок, еластичних матеріалів, в тому числі брикетів синтетичного каучуку, штучної та натуральної шкіри.

Даний тип подрібнювача може використовуватись в хімічній, паперовій промисловості для отримання порошків, в виробництві пластмас, наприклад, полістірола, де від ступеню подрібнення каучуку залежить час розчинення його в стіролі, в виробництві полімерних будівних матеріалів, де при створенні композицій потрібно подрібнювати каучук.

Подрібнюючи композиційні матеріали голкофрезою, з'являється можливість розділити різноманітні матеріали, тобто відбувається відокремлення монолітного матеріалу від волокнистого. В цей же момент моноліт

подрібнюється у порошок, а з волокнистого матеріалу отримуємо волокна, тобто зберігаються основні властивості самих матеріалів, що є досить значною перевагою.

Шкіряний пил, отриманий після переробки, рекомендують у якості наповнювачів для гумових сумішей і при виробництві пластмас. Він знижує стирання виробів без зниження їхньої еластичності. Можна застосовувати цей пил і в якості наповнювача при переробці фенолформальдегідних смол.

У суміші з латексом чи з ПВХ цей пил можна пресувати у тонкі плівки, на які можна нанести малюнок тисненням.

При виробництві велюрових шкір чи їхніх замінників шкіряний пил рекомендується для утворення такого поверхневого шару, що додає штучному матеріалу велюроподібний вид.

При переробці волосистих матеріалів отриманий матеріал використовують, для виготовлення доріжок, шнурків, як наповнювач будівельних виробів.

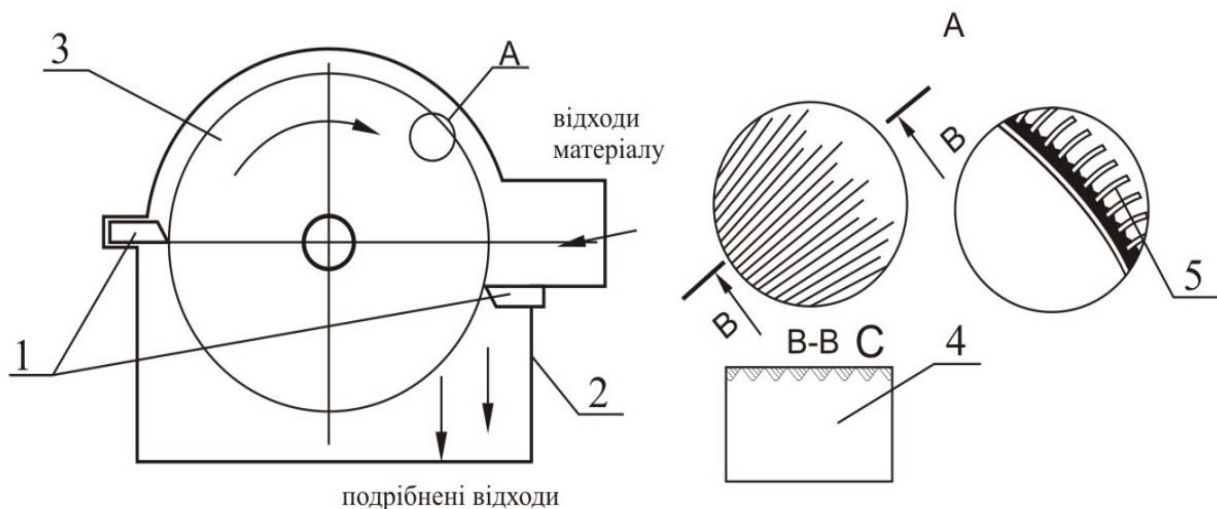


Рисунок 12.29 – Голкофрезовий подрібнювач: а) дезінтегратор; б) пластинчатий ротор; в) голчатий ротор; 1 - ножі статора; 2 - корпус; 3 - ротор; 4 - пластини дисмембратора; 5 - голки голкофрези

Подрібнення може відбуватись у цих машинах в різних режимах. Змінюючи кількість обертів і величину подачі матеріалу, можна регулювати дисперсність продукту, який подрібнюється, в досить широких межах.

Також для зменшення затрат енергії на руйнування матеріалу, перед подрібненням його пружно деформують, при цьому в матеріалі виникають значні внутрішні напруження, що дозволяє підвищити продуктивність руйнування, за рахунок того, що попередньо напружені тіла вимагають значно меншої енергії для їх руйнування.

Найбільш подібним до процесу подрібнення в дезінтеграторах та дисмембраторах є процеси чухання [11-15, 20-24] і чесання, які використо-

вуються на чухрально-чесальному обладнанні для попередньої обробки волокнистої маси в легкій промисловості.

Ступінь дисперсності, якого можна досягти при подрібненні відходів на такому обладнанні, складає 0,1-2 мм для монолітних матеріалів, від 1 до 45 мм для волокнистих матеріалів.

Незважаючи на маловивченість і маловикористовуваність даного обладнання, воно має свої переваги:

- наявна можливість подрібнення в різних режимах, а також регулювання дисперсності вихідного продукту за рахунок зміни кількості обертів і величини подачі продукту.

- збереження основних властивостей матеріалів. Після подрібнення моноліту отримуємо порошок, волокнистих матеріалів - волокна.

Не можна забувати і про недоліки:

- робота таких подрібнювачів розрахована на подрібнення лише на мілкі фракції;

- продуктивність процесу подрібнення невисока.

Проведений аналіз показує, що розволокнення і подрібнення відходів легкої промисловості в голкофрезових подрібнювачах є досить ефективними з точки зору вимог до продукту подрібнення. На такому обладнанні можна здійснювати процес переробки широкого діапазону матеріалів з різними властивостями і структурою, зберігаючи при цьому основні властивості кожного з них.

Абразивні подрібнювачі мають в собі стискаючі валки 1, що подають стиснений матеріал до абразивного круга 2. Абразивний круг в свою чергу, виконаний з можливістю подачі води в зону подрібнення і по всій поверхні круга крізь отвори 3 під тиском 2 - 4 кгс/см² (рис. 30).

Подрібнення матеріалу, наприклад, автомобільної покритишки, відбувається після того як її стиснули між валками 1 і подали до абразивного круга 2, який обертається зі швидкістю 1,5-4 тис. об/хв. Обертаючись, абразивний круг зрізує шар гуми, яка перетворюється в стружку і видаляється із зони різання. Щоб не виникали високі температури в зоні різання, не відбувалося заклинювання і залипання стружки, й також забезпечувалось оперативне видалення стружки з зони різання в зону контакту круга з виробом, крізь отвори подають воду під тиском 2-4 кгс/см². Швидкість круга вибирають в діапазоні 1,5-1 тис. об/хв. Інтенсивний потік води під тиском, що проходить крізь зону різання, видаляє стружку, змочує її, не дозволяючи їй збиватися в грудки, крім того стружка не забиває отвори круга і не заважає подальшому процесу різання. Подача води інтенсивно охолоджує гуму і круг, що виключає виникнення їх перегріву і зміну фізико-хімічних властивостей гуми.

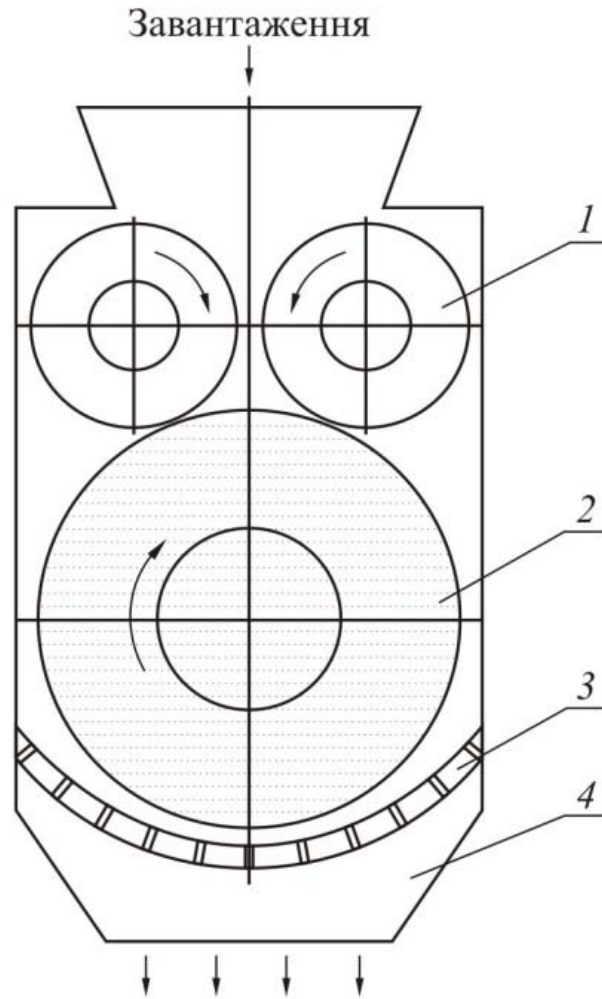


Рисунок 2.30 – Схема абразивного подрібнювача: 1 - стискаючі валки; 2 - абразивний круг; 3 - решітка; 4 – корпус

Зношену покришку можна подрібнювати в порошок, це пов'язано з тим, що в роботі різання беруть участь виступаючі грані окремих зерен.

Абразивні подрібнювачі можуть використовуватись для подрібнення і переробки вулканізованих гумоволокнистих виробів, в тому числі зношених автомобільних покришок.

Такі подрібнювачі можуть бути використані в хімічній, машинобудівній, переробній промисловості. Таке перемелювання гуми може бути використано як домішок до гумових сумішей на виробництві нових виробів. Ступінь дисперсності при даному способі подрібнення складає 0,1...2 мм.

Процес руйнування гумових відходів відбувається після того, як матеріал піддають стисканню або розклинюванню, при цьому в покришці виникають значні внутрішні напруження, що дозволяє підвищити продуктивність руйнування.

Складність техпроцесу подрібнення абразивним способом полягає в необхідності попереднього подрібнення великих шматків матеріалу на більш мілкіші і їх стисненні перед процесом руйнування. Також для запо-

бігання виникнення високих температур в зоні подрібнення і налипання стружки на абразивний круг, крізь отвори в крузі потрібно подавати воду під тиском 2-4 кгс/см².

Обслуговування такого обладнання вимагає постійного спостереження сталості величини тиску води, що подається, а також чистоти зони подрібнення від стружки подрібненого матеріалу.

Проаналізувавши усе вище викладене, можна зробити висновки про переваги абразивного способу подрібнення. До них можна віднести:

- можливість отримання вихідного матеріалу у вигляді порошку мілкої дисперсності;
- широкий діапазон подрібнювальною матеріалу.

Недоліком даної конструкції є необхідність постійної подачі води в зону подрібнення з ціллю уникнення високих температур, що призведуть налипання матеріалу на абразивний круг.

2.8.5 Середньоходові подрібнювачі

Щоківі подрібнювачі використовуються для подрібнення крихких та твердих матеріалів. Їх використовують в гірській, будівельній, гірничорудній промисловості, а також в лабораторній практиці. Даний тип обладнання є досить розповсюдженим, а це зумовлено тим, що ці подрібнювачі є досить простими і надійними за конструкцією.

Матеріал, який подрібнюється на щоківих пристроях використовується в наповнювачах (бетон), а також застосовується в хімічній і металургійній промисловості для отримання більшої поверхні для покращення технологічного процесу.

Існують два варіанти щоківих подрібнювачів (рис. 2.31): дві щоки і щока та барабан.

В конструкції (рис. 2.31, а), що складається зі щоки 1 і барабана 7 завантажений матеріал потрапляє в зону подрібнення, де подрібнюється. Підпружинена щока 1 дозволяє регулювати зазор, від якого залежить величина фракції вихідного матеріалу. Такий варіант конструкції щоківого подрібнювача є практичним, легким у виготовленні і надійним в роботі.

В конструкції, що складається з двох щік подрібнюваний матеріал завантажуються між боковими поверхнями щік 1, виконаних у вигляді циліндричних тіл, які коливаються навколо нерухомих опор 2. Нерухомі опори змонтовані на станині 3. При роботі пристрою робочі органи здійснюють по черзі робочий і холостий хід. Привід щоківого подрібнювача включає закріплені між станиною і щоками пневматичні подушки 4, які з'єднуються повітропроводом 5 і золотниковим розподільником то з джерелом стиснутого повітря, то з атмосферою. Для зворотного руху щік 1 між ними і станиною установлені пружні елементи 6 (рис. 2.31, б).

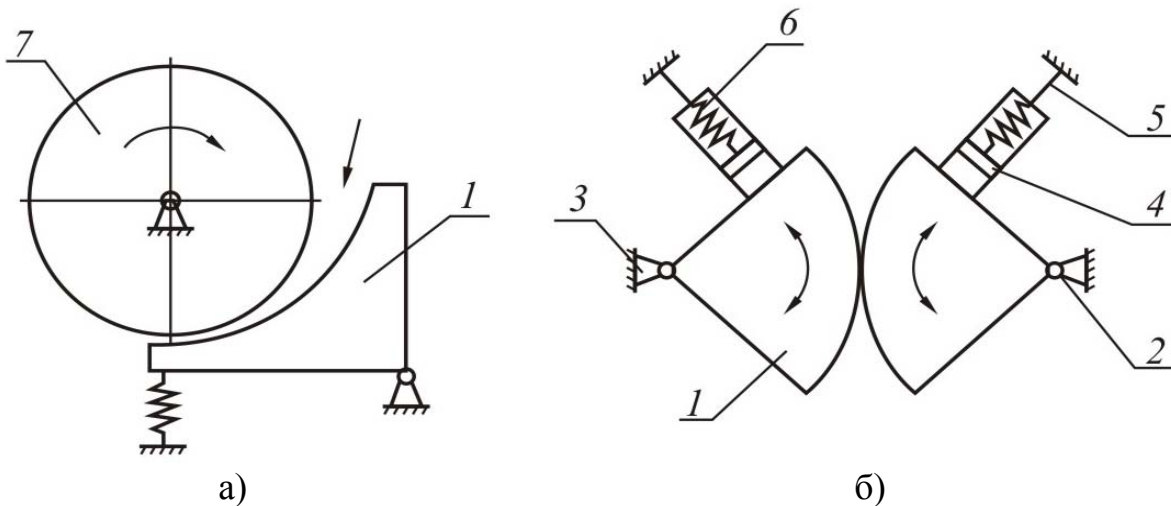


Рисунок 2.31 – Шокові подрібнювачі: 1 - щоки; 2 - нерухомі опори; 3 - станина; 4 - пневматичні подушки; 5 - повітропровід; 6 - пружні елементи; 7 - барабан

Під час робочого ходу стиснуте повітря подається в пневматичні подушки 4, які подовжуються, взаємодіючи при цьому на щоки, які повертаються назустріч один одному. Матеріал захвачується робочими поверхнями щік і затягується у зазор, де і руйнується. При русі щік пружні елементи деформуються.

Холостий хід, коли пневматична подушка з'єднана з атмосферою і тиск у ній падає, тоді сили пружності, які виникають при деформації елемента 6, повертають щоки у напрямку один від одного.

Регулювати швидкість коливання щік можна включивши в систему пневматичного приводу пружних елементів дросельного пристрою.

Подрібнення матеріалу відбувається за рахунок стискання та роздавлювання. Ступінь дисперсності подрібнюючого матеріалу можна регулювати розміром зазору між робочими органами, а також елементами конструкції, які дозволяють змінювати зазор. Величина дисперсності може бути від 0,1 мм до декількох сантиметрів.

Недоліком даних подрібнювачів є сильне зношування робочих органів та подрібнення лише крихких матеріалів.

Валкові машини призначені для змішування, дроблення, пластифікації в процесі переробки полімерів і композицій на їхній основі [12, 17-23].

Матеріал подається на валки у вигляді гранул, порошкоподібних або волокнистих мас, окремих шматків. При обертанні кілків, які рухаються у протилежних напрямках, а точніше назустріч один одному, внаслідок тертя матеріал, який завантажується, затягується в зазор між валками і подрібнюється. Спочатку матеріал піддається силам стиснення в результаті чого відбувається пластична деформація матеріалу або його руйнування.

Валкові подрібнювачі за конструкцією можуть мати від одного до декількох валків, які обертаються як в одному так і в протилежних напря-

мках. В залежності від міцності матеріалу і ступеня його подрібнення, поверхні валків бувають гладкі, рифлені, зубчаті, дискові, конусні та інші. Також з метою покращення процесу переробки валки можуть мати різноманітну форму. Валок може бути виконаний у вигляді розташованих один відносно одного усічених конусів, а також у вигляді частин тора [12].

Подрібнювачі валкового типу можуть бути виконані в двох варіантах: з постійним міжосьовим зазором (рис. 2.32, а) і змінною міжосьовою відстанню (рис. 2.32, б). Можливість зміни міжосьової відстані забезпечується за рахунок виконання одного з валків підпружиненням.

По технічним ознакам, валки для переробки пластмас можна умовно розділити на змішувальні, пластифікуючі, фарботерні та подрібнюючі.

Вихідним матеріалом при такому способі подрібнення, в основному, є порошок, причому вхідними матеріалами можуть бути як монолітні, так і текстильні відходи.

В обслуговуванні подрібнювачі валкового типу є досить простими. Хоча вони також мають свої переваги та недоліки. До переваг даної групи подрібнювачів відносять простоту та надійність роботи конструкції, можливість регулювання зазору між валками, що дозволяє регулювати величину дисперсності подрібнюючого матеріалу.

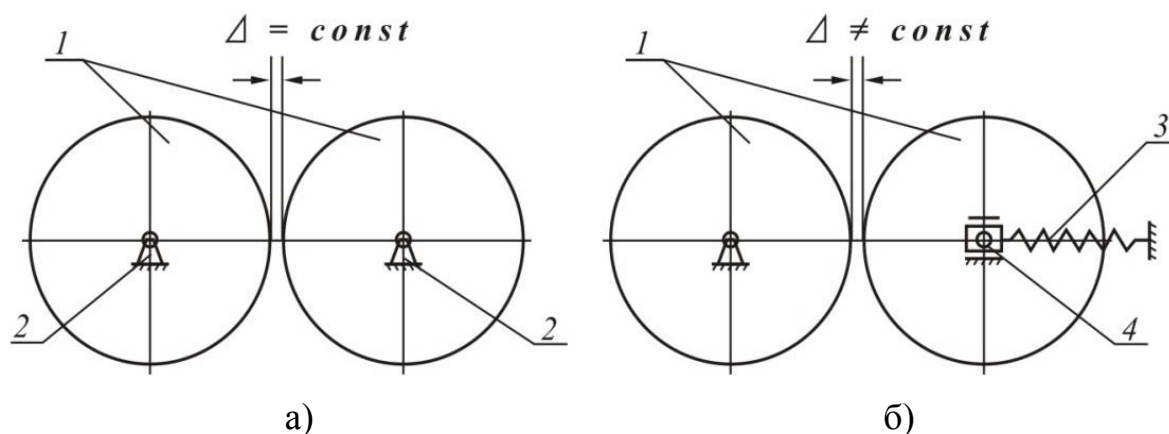


Рисунок 2.32 – Валкові подрібнювачі: 1 - валки; 2 - нерухома опора; 3 - пружний елемент; 4 - повзун

Недоліком валкових подрібнювачів є зношення робочих поверхонь органів, великі енерговитрати на одиницю об'єму подрібнюваного матеріалу.

Продуктивність валкових подрібнювачів коливається в межах від 10 до 400 $\text{м}^3/\text{г}$ в залежності від конструкції валків даної установки та матеріалу, що подрібнюється.

Валкові подрібнювачі з гладкими валками, використовуються для подрібнення сипучих, крихких, твердих та абразивних матеріалів (зерна, вугілля, полімерних матеріалів, різних рудних і нерудних матеріалів, роз-

тирання фарб, шпаклівки [10, 12, 17, 23-25, 27, 28]. Тобто ці подрібнювачі використовують практично для всіх видів відходів, крім текстильних.

Таке обладнання знайшло застосування в комбікормовій, пивоварній, будівельній, гірничорудній, лісничій, хімічній та в харчовій промисловості.

Подрібнені відходи використовують як наповнювач у полімерних композиціях, наповнювач для готування спеціальних видів клею, наповнювач у виготовленні лінолеуму, в якості наповнювача гумових сумішей.

Валкові подрібнювачі, з гладкими поверхнями валків, в своїй конструкції мають: корпус 1, в якому розташовані гладкі валки 2, загрузочний бункер 3 і розгрузочний бункер 4 (рис. 2.33).

Через загрузочний бункер подається подрібнюючий матеріал, який захвачується валками, що обертаються назустріч один одному. За рахунок стискаючих деформацій відбувається подрібнення матеріалу. І тільки у випадку, коли швидкості обертання валків різні, до стискаючих деформацій додаються ще й зсувні деформації. Величина стискаючих навантажень залежить від міжвалкового зазору та від деформації зсуву.

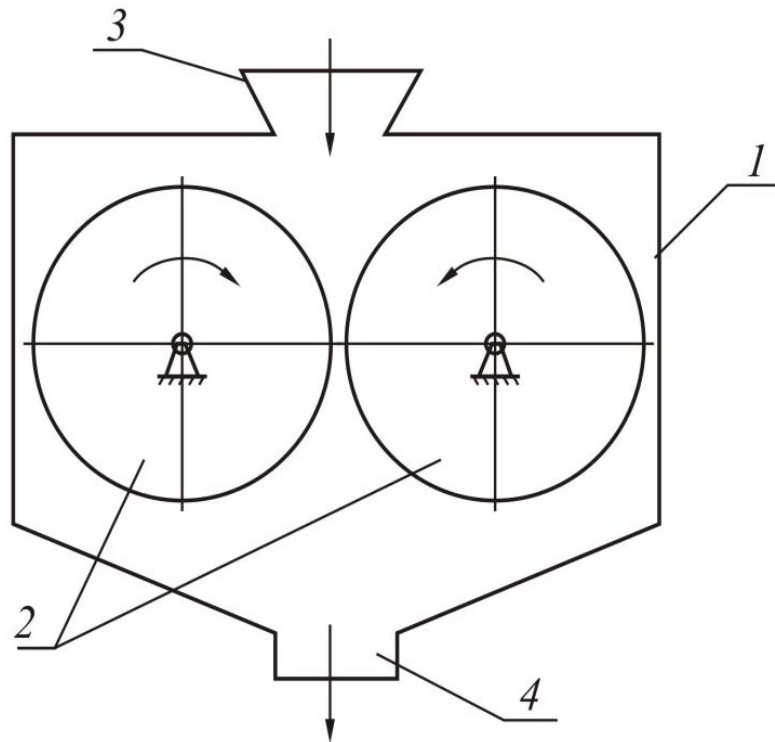


Рисунок 2.33 – Валковий подрібнювач

Подрібнення відходів у подрібнювачах з гладкими валками є досить розповсюдженим і добре вивченим. Даний процес подрібнення відходів на пристроях з гладкими валками є досить простим за побудовою конструкції установки, за простотою обслуговування.

Ступінь дисперсності, що досягається при даному способі становить 0,2-2 мм. Величину дисперсності можна настроїти регулюванням зазору між валками.

Можливість регулювати ступінь дисперсності, подрібнювати майже всі види подрібнюваних відходів, простота конструкції пристрою, легкість і зручність в обслуговуванні - все це обумовлює широке використання подрібнювачів з гладкими валками.

Що ж стосується недоліків даних пристроїв, то одним із них є неможливість якісного подрібнення волокнистих матеріалів.

В результаті проведення різних вдосконалень було розроблено ряд конструкцій, які мають деякі відмінності між собою.

При подрібненні чистих речовин і хімічних реактивів головною проблемою є збереження чистоти подрібнюваного матеріалу. А підібрати відповідний конструкційний матеріал, з якого виготовляють подрібнюючі валки і який би зміг задовольнити вимоги до подрібнювання відходів - неможливо. Для цього використовуються пустотілі валки з вакуумом всередині, що дозволяють подрібнювати дані відходи. З подрібнюваного матеріалу на валках утворюється щільний шар за рахунок вакуумною всмоктування [12, 14-17]. Така конструкція дає ефект не тільки з точки зору економії дефіцитних конструкційних матеріалів, але також дозволяє вирішувати проблему подрібнення чистих речовин з збереженням потрібної чистоти.

У багатьох подрібнювачах використовується механізм "привалу-відвалу", який дозволяє усунути перекося валків при нерівномірній подачі матеріалу по робочій довжині валків чи при попаданні сторонніх предметів у міжвалковий зазор, а також дозволяє прижимати валки рівномірно по їх робочій довжині.

Для подрібнення твердих та абразивних речовин застосовують пристрій, валки якого виконані у вигляді обичайки, змонтованих на валках безпосередньо набором резинових кілець, установлених по довжині обичайки і з'єднаних між собою за допомогою гвинтів. При подрібненні валки з набором резинових кілець, зжатих зусиллям, вищим за зусилля руйнування частинок відходів не відхиляючись від обертання руйнують частини цього матеріалу, забезпечуючи якість і ефективність подрібнення.

Така конструкція валків забезпечує безступінчатє регулювання фрикційного зусилля при всесторонньому зжиманні набору резинових кілець.

Існує перетирочний пристрій, який складається з двох валків, один з яких встановлений з можливістю обмеженого осьового зміщення і оснащений генератором віброколивань з електромагнітною котушкою перемінного струму.

Використання даного пристрою дозволяє підвищити ефективність розмолу зерна і відповідно покращити якість муки. Ефективність досягається за рахунок досить великої амплітуди коливань валків відносно один одного. Конструкція подрібнювача досить проста і, відповідно, надійна. Також, завдяки такій конструкції подрібнювача підвищується ефективність подрібнення вихідного матеріалу.

У даних подрібнювачах валкового типу, крім основних робочих органів, гладких валків, використовують також допоміжні подрібнюючі елементи. Наприклад, шнек, який установлений в живильному пристрою. Завдяки цьому конструкція установки має підвищену продуктивність за рахунок того, що зерно може подрібнюватись шнеком живильника під дією примусової подачі в зону звуження в нижній частині корпусу, далі у міжвалковий зазор.

А в установці для подрібнення будівельних, гірничорудних матеріалів в барабані для розмелювання, крім подрібнюючих валків, є ще диски, які вмонтовані з можливістю обертання та додаткові валки [118]. Валки розміщені попарно по колу на периферії дисків. Ця конструкція дозволяє підвищити ефективність процесу подрібненого матеріалу.

Валкові подрібнювачі з зубчатими валками призначені для подрібнення корисних копалин, різних будівельних матеріалів, сипучих матеріалів (зерна), полімерних матеріалів, кінофотоматеріалів, гуми, дерева, керамічних мас.

Ці подрібнювачі знайшли застосування в гірничорудній, будівельній, деревообробній, целюлозно-паперовій, харчовій, комбікормовій та інших галузях промисловості.

Подрібнені відходи надалі можуть використовуватись як наповнювачі у полімерних композиціях, для одержання гумових виробів, різних харчових добавок.

Валкові подрібнювачі з зубчатими валками мають таку ж саму будову конструкції установки, як і подрібнювачі з гладкими валками (рис. 2.33). Різниця полягає лише у тому, що поверхня валків може бути виконана з зубцями різної конфігурації. Зубчаті валки за розташуванням на валку можна розділити на дві основні групи:

- валки, зубці в яких виконані перпендикулярно до осі обертання. Використовуються для подрібнення листового матеріалу, наприклад, кінофотоматеріалів, паперу, полімерів.

- валки, зубці в яких виконані паралельно вісі обертання валка. Використовуються для подрібнення гранулеподібних матеріалів, наприклад, зерна, гуми.

До основних видів зубчатих валкових подрібнювачів можна віднести деякі конструкції. В установці для переробки відходів, всередині корпусу розміщені приводні валки 1 і 2 з повздовжнім зигзагоподібним профілем поверхні. Для підвищення степеню подрібнення різних твердих частинок подрібнюючого матеріалу і надійності роботи установки, поверхні валків виконані з додатковим рифленням у вигляді кільцевих поперечних канавок (рис. 2.34).

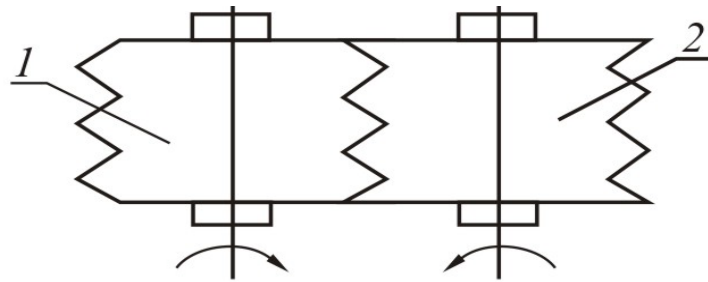


Рисунок 2.34 – Валки з зигзагоподібним профілем: 1,2 - валки

Пристрій для подрібнення зерна складається з корпусу, чотирьох зубчатих валків, бункера подачі і патрубку відводу продукту (рис. 2.35, а). З метою зниження енергоємності і забезпечення можливості подрібнення зерна підвищеної вологості, валки установлені з послідовним зачепленням і утворенням між ними порожнини, яка з'єднується з бункером подачі зерна. Валки виконані косозубими і мають кільцеві канавки, які взаємодіють з очищувачими ножами, а переріз вершини зуба представляє собою трикутник (рис. 2.35. б).

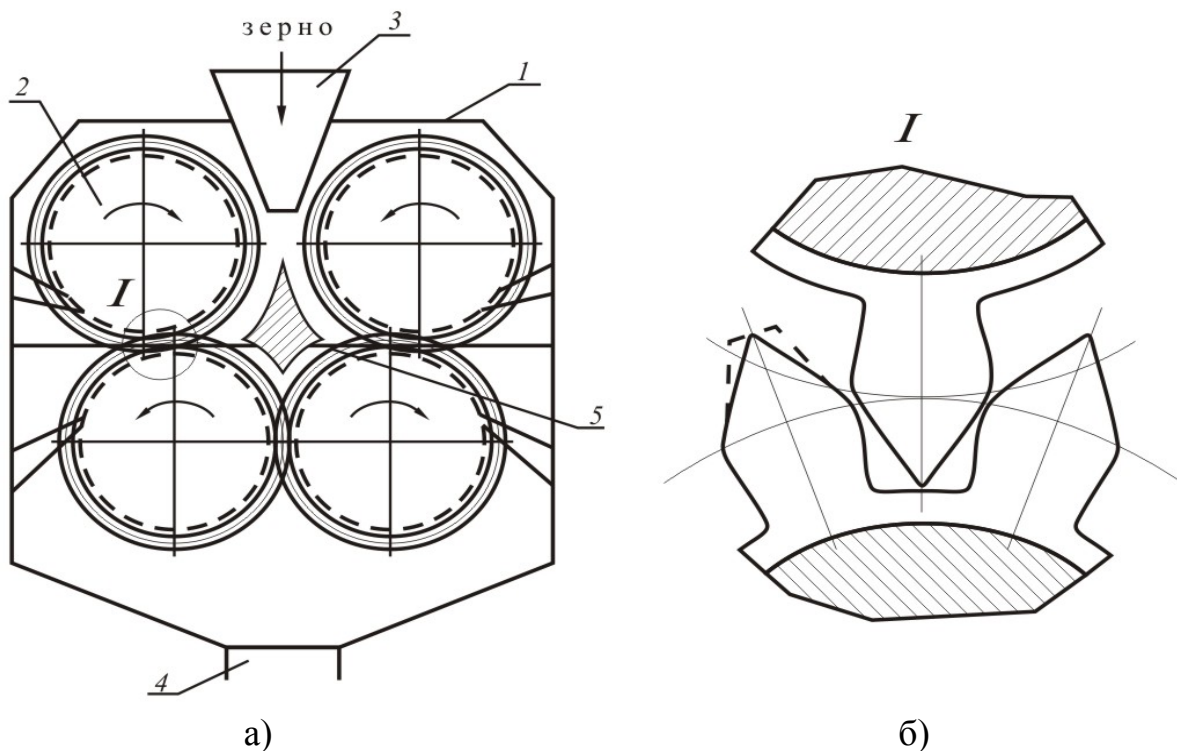


Рисунок 2.35 – Пристрій для подрібнення зерна: 1 - корпус; 2 - валки; 3 - завантажувальний отвір; 4 - патрубок відводу; 5 – порожнина

Існує аналогічний пристрій для подрібнення полімерної плівки. Різниця лише в тому, що з метою підвищення якості подрібнення, ріжучі елементи одного барабана 1 виконані у вигляді кільцевих ножів, кожен з яких має в поперечному перерізі трикутний профіль, а ріжучі елементи іншого барабана 2 виконані у вигляді зубців зі скошеною ріжучою кромкою, при-

чому кромки зубців двох з'єднаних рядів направлені у протилежні сторони (рис. 2.36).

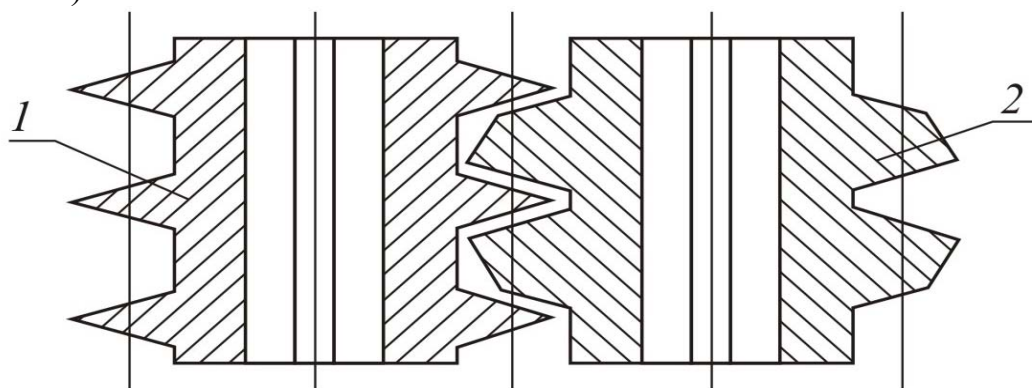


Рисунок 2.36 – Зубчаті валки

В деяких подрібнювачах валки виконані набором повздовжніх та поперечних ребер, останні виконані зубчатими (рис. 2.37).

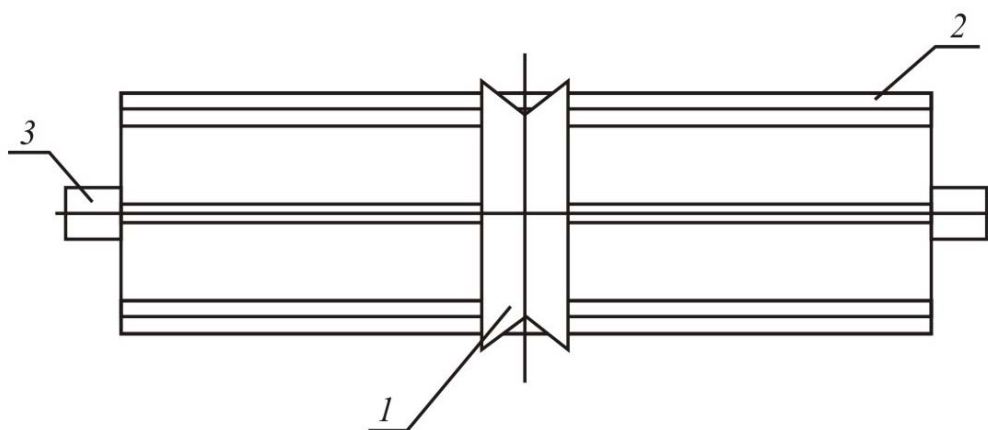


Рисунок 2.37 – Валок

Використовуються такі подрібнювачі для здійснення двох технологічних процесів: різання та ламання вихідного продукту.

Корпус подрібнювача зерна виконаний із ряду циліндричних камер, в кожній з яких розміщений вал, при цьому робоча поверхня валків і внутрішня поверхня кожної камери виконані з рифлями та на робочій поверхні кожного валу виконана різьба, в свою чергу, висота, уклін рифлей і глибина різьби зменшуються по ходу руху зерна (рис. 2.38).

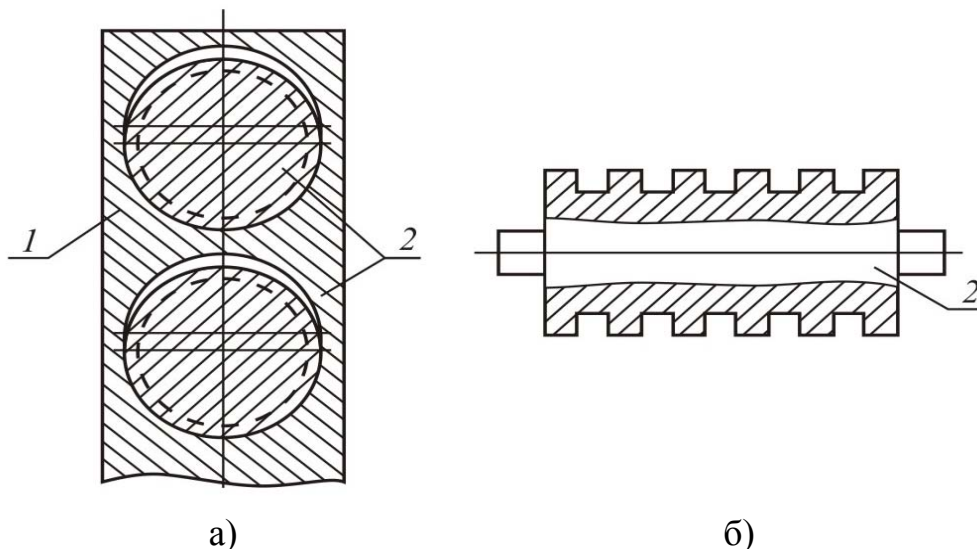


Рисунок 2.38. Пристрій для подрібнення зерна

Основним робочим органом, який бере участь у подрібненні матеріалу, як у всіх валкових подрібнювачах, є валки, а саме зубчатий профіль валків у валкових установках з поперечним розміщенням зубців на валу; подрібнення матеріалу відбувається за рахунок різання, розламування матеріалу. Це ефективно для подрібнення листового матеріалу.

У подрібнювачів з повздовжнім розміщенням зубців подрібнення відбувається за рахунок роздавлювання матеріалу. Такий принцип руйнування відходів застосовується для гранулоподібного матеріалу.

Ступінь дисперсності при даному способі подрібнення матеріалів залежить від відстані між зубцями: для валків з поперечним виконанням зубців - від 2 мм і більше; для валків з повздовжнім виконанням зубців - від 0,1 до 5 мм.

Установки з зубчатыми валками дозволяють переробляти відходи, орієнтуючись на тип подрібнюваного матеріалу. Тобто для подрібнення сипучих матеріалів ефективніше використовувати валки з повздовжнім виконанням зубців. Для подрібнення листових матеріалів доцільніше використовувати валки з поперечним виконанням зубців. Це дозволяє отримувати вищий ступінь дисперсності вихідного матеріалу.

При переробці відходів на подрібнювачі з повздовжнім розміщенням зубців, подрібнювальні матеріали частково потрапляють в зазори між корпусом і торцями валків. Це прискорює зношування поверхонь як валків так і корпусу, а також знижує КПД подрібнювача, що є суттєвими недоліками даною пристрою.

Валкові подрібнювачі з криволінійною поверхнею [12, 15-19, 26-29] використовуються для подрібнення сипучих, полімерних, пластичних матеріалів (наприклад, резини), рудних і нерудних копалин, зерна.

Ці подрібнювачі знайшли застосування в хімічній, харчовій, гірничорудній, комбикормовій, будівельній, сільськогосподарській та інших галузях промисловості.

Подрібнені відходи використовуються як наповнювачі для виготовлення бетонів, гумових виробів, муки, як наповнювачі у полімерних композиціях.

Установка для подрібнення інертних матеріалів при виготовленні будівельних бетонів, а також для подрібнення вугілля в котельних, складається з корпусу, всередині якого по горизонтальних валах встановлено два валки 1 з криволінійною поверхнею, які мають квадратні торці. Валки 1 з'єднані зубчатою парою з можливістю обертання в протилежні сторони і розміщені зі зміщенням (на 45°) сторін квадратних торців, які лежать в одній площині, з утворенням трикутної форми бокових граней (рис. 2.39).

Процес подрібнення відбувається за рахунок аналогічних процесів, притаманних гладким валкам. В даному випадку покращення процесу подрібнення досягається за рахунок огранки валків.

Ступінь дисперсності, якого можна досягти при даному способі подрібнення, становить від 0,1 до 4 мм.

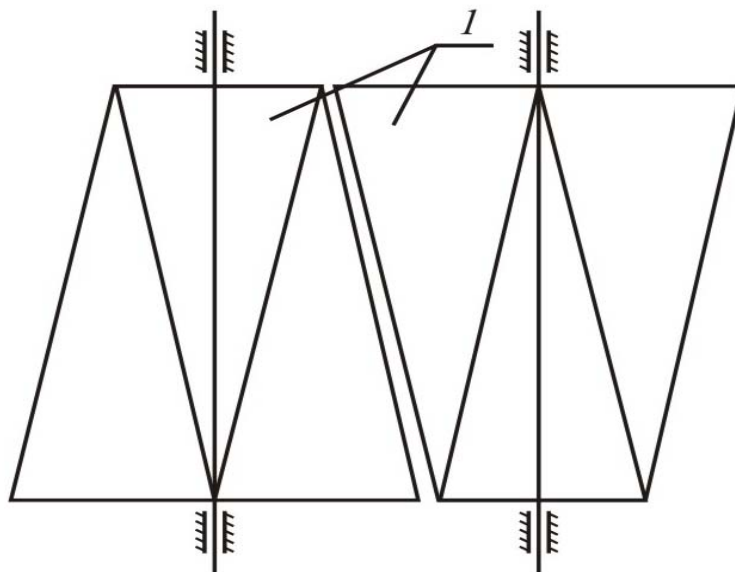


Рисунок 2.39 – Валки з криволінійною поверхнею

Наявність криволінійної поверхні валків дозволяє розширити діапазон матеріалів, що переробляються, і відповідно розширити область застосування подібного обладнання.

Стосовно недоліків, притаманних конструкціям з криволінійною поверхнею валків, основним з них є нерівномірність дисперсності вихідного матеріалу.

У валкових подрібнювачах з криволінійною поверхнею використовують валки найрізноманітніших форм. Для отримання тонкодисперсних порошоків з полімерних еластичних матеріалів (резины) використовують

подрібнювач [12-14], який складається із валка з горизонтальною віссю обертання і криволінійною робочою поверхнею та із валка 2 з вертикальною віссю обертання у формі зрізаного конуса (рис. 2.40).

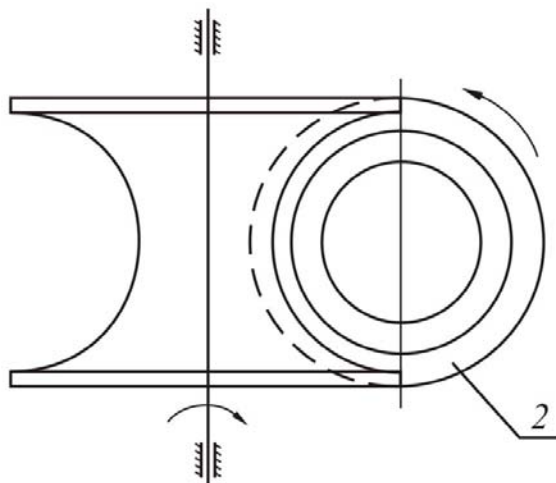


Рисунок 2.40 – Валки

Подрібнення матеріалу відбувається безпосередньо між валками 1 і 2, які є робочими органами даного подрібнюючого пристрою. Процес подрібнення відбувається за рахунок стискання і зсування шарів подрібненого матеріалу між поверхнями валків в різних площинах. Ступінь дисперсності при даному способі подрібнення матеріалів становить від 0,1 до 4 мм. Валковий подрібнювач даної конструкції забезпечує розширення технологічних можливостей і покращення якості вихідного продукту завдяки можливості отримати рівномірний по довжині контакт криволінійних поверхонь зазор між валками, при зміні його величини в широких межах.

Всі характеристики цього валкового подрібнювача відносяться також і до наступної конструкції подрібнювальної установки. Різниця між ними лише в тому, що з метою підвищення ефективності процесу подрібнення валки даної конструкції розташовані один над одним. Робоча поверхня верхнього валка 1 виконана у вигляді шару, а робоча поверхня нижнього валка 2 відповідно ввігнута, причому лінія контакту валків виконана у формі півкруга (рис. 2.41).

Така будова подрібнювача дозволяє покращити ефективність процесу подрібнення. Але така конструкція будови даного подрібнювача є складною у виготовленні, це стосується і будови попереднього подрібнювача.

Для розділення бракованих і стріляних гільз на поліетиленову трубку і металеву основу використовують подрібнювач з двома валками, які розміщені вертикально і виконані з лискою по всій поверхні його циліндричної поверхні (рис. 2.42). Основною перевагою даного подрібнювача є те, що такий профіль валків враховує форму подрібнених відходів. Хоча цей аргумент можна також віднести і до недоліків даної конструкції. Адже на подрібнювачах з профільними валками можна подрібнювати лише певний

тип відходів, що відповідає даному профілю. Подрібнювач є простим в обслуговуванні, а також простим за будовою конструкції.

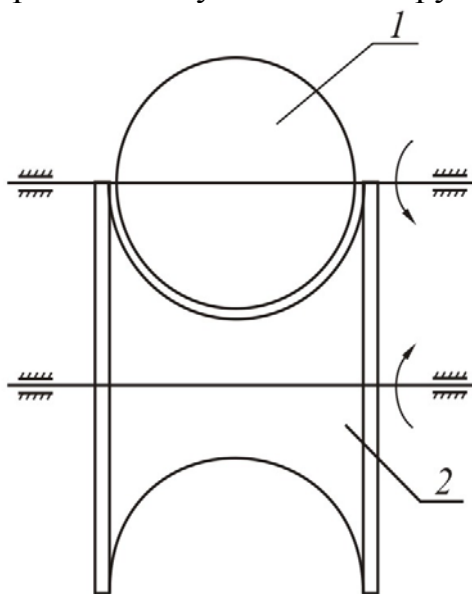


Рисунок 2.41 – Валки

Валки (рис. 2.43), які в поперечному перерізі мають форму рівностороннього трикутника з випуклими сторонами і закругленими вершинами, використовують в подрібнювачах гірничорудної, хімічної та харчової промисловості.

Подрібнення матеріалу відбувається внаслідок утворення стискаючих деформацій.

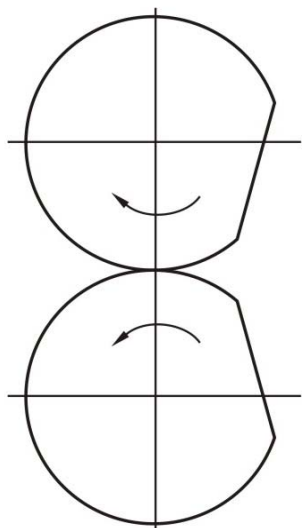


Рис. 2.42. Валки

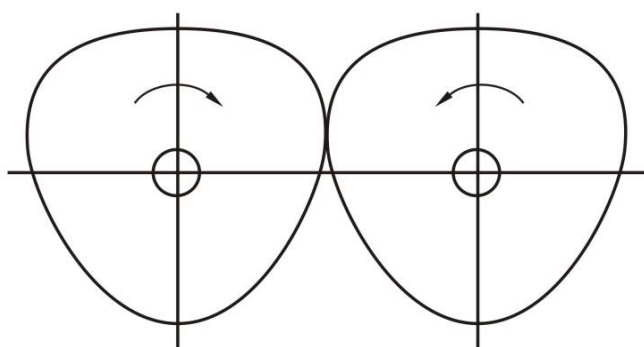


Рис. 2.43. Валки

Величина стискаючих навантажень залежить від міжвалкового зазору. Що ж стосується розмірів подрібненого матеріалу, то в подрібнювачах подібної конструкції дуже важко провести настройку зазору, що є основним її недоліком.

Головною перевагою подрібнювачів такої незвичайної форми є збільшення кута захвату подрібнюваних відходів. Для розрахунків існуючого типу обладнання існують методики, які дозволяють розрахувати математичну модель, але для замішуючих пристроїв.

Широке застосування отримали валкові машини з набором дисків, які мають ріжучі кромки різноманітних конструкцій.

Дискові валкові подрібнювачі використовуються для подрібнення полімерних матеріалів, гумо-тканевих відходів, поліетиленових плівок, дерева, паперу та текстильних відходів. Вони знайшли застосування в деревообробній, хімічній, гумотехнічній, шинній, гірничо-видобувній та в текстильній промисловості.

Подрібнені відходи використовуються як наповнювачі у різних полімерних композиціях, для одержання гумових виробів, у виробництві термопластів. Деревна мука є наповнювачем для багатьох полімерних виробів. Відходи текстильної промисловості використовують для створення нових видів виробів, наприклад, технічної вати, різних прокладок.

Дискові валкові подрібнювачі за способом подрібнення відходів можна розділити на дві групи: дискові ріжучі подрібнювачі та дискові розривні подрібнювачі.

Ці дві групи подрібнювачів відрізняються не лише способом подрібнення, а й видами подрібнюваних відходів.

Дискові ріжучі подрібнювачі використовуються для подрібнення полімерних матеріалів, гумо-тканевих відходів, поліетиленових плівок, паперу і дерева, а також побутових відходів.

Подрібнювачі з ріжучими дисками знайшли застосування в деревообробній, хімічній, гумотехнічній і гірничо-видобувній промисловостях. Подрібнені відходи використовуються як добавки до сумішей для одержання гумових виробів, як наповнювачі у різних полімерних композиціях, для виробництва термопластів (наприклад, кам'яне вугілля).

За конструкцією дискові валкові подрібнювачі є більш складними ніж подрібнювачі з гладкими валками, хоча будова, конструкція установки аналогічні.

- пристрої, які складаються з набору різних ріжучих дисків, що подрібнюють відходи;

- пристрої, які працюють за принципом "зрізання".

Тобто, в процесі роботи диски відрізають невеликі шматки, поступово подрібнюючи таким чином весь матеріал (наприклад, автопокришка).

В пристроях, які складаються з набору різних ріжучих дисків, перед процесом подрібнення потрібно провести попереднє розділення різних матеріалів на групи (наприклад, гуми від металу).

В пристрої для подрібнення резинових відходів великих габаритів застосовують вали з дисковими ножами, на кінцях яких закріплені ріжучі

елементи та зубчаті диски. Зубці зубчатих дисків входять в проміжки між ножами (рис. 2.44).

Для різки відходів шинного виробництва використовують пристрій, який складається з багато ножевої валкової машини для різки, виконаної трьома встановленими в корпусі ножовими приводними валками так, що валки 1 і 2 ріжуть матеріал на смужки, а валки 2 і 3 - ріжуть на куски (рис. 2.45).

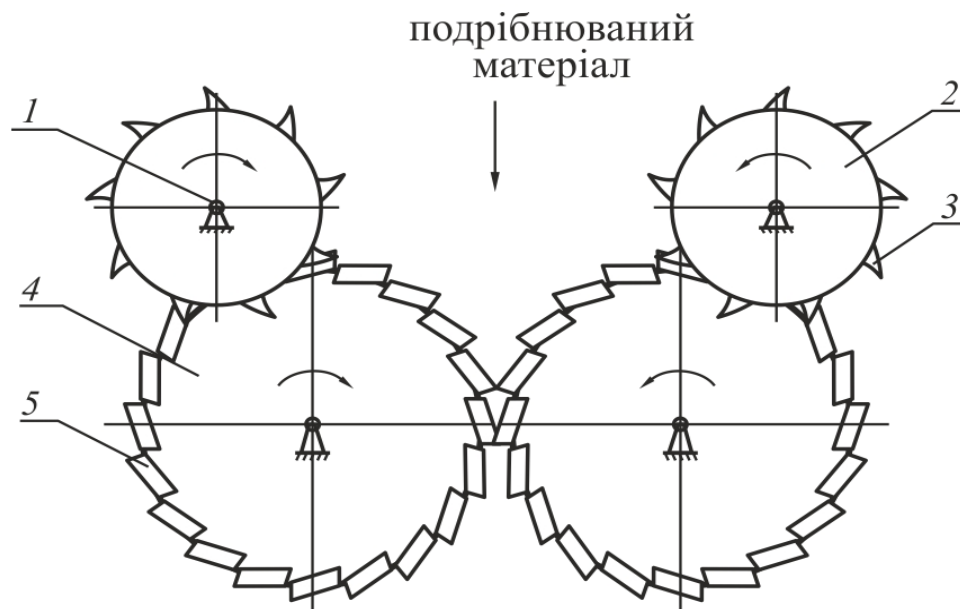


Рисунок 2.44 – Дискові ріжучі валки:

1 - вали; 2 - дискові ножі; 3 - ріжучі елементи; 4 - зубчаті диски; 5 – зубці

У пристрій для подрібнення деревини на валах 1 розміщені ріжучі диски 2, а також важелі 3 для утримання матеріалу в процесі різки і виключення забивання міждискowego простору (рис. 2.46).

Ступінь дисперсності, який досягається при даному способі подрібнення залежить від розміру дисків і відстані між ними.

Дискові ріжучі подрібнювачі є складними за конструкцією, з низькою якістю подрібнення. Ще одним недоліком даних подрібнювачів є те, що на них можна отримати подрібнені матеріали лише крупної фракції.

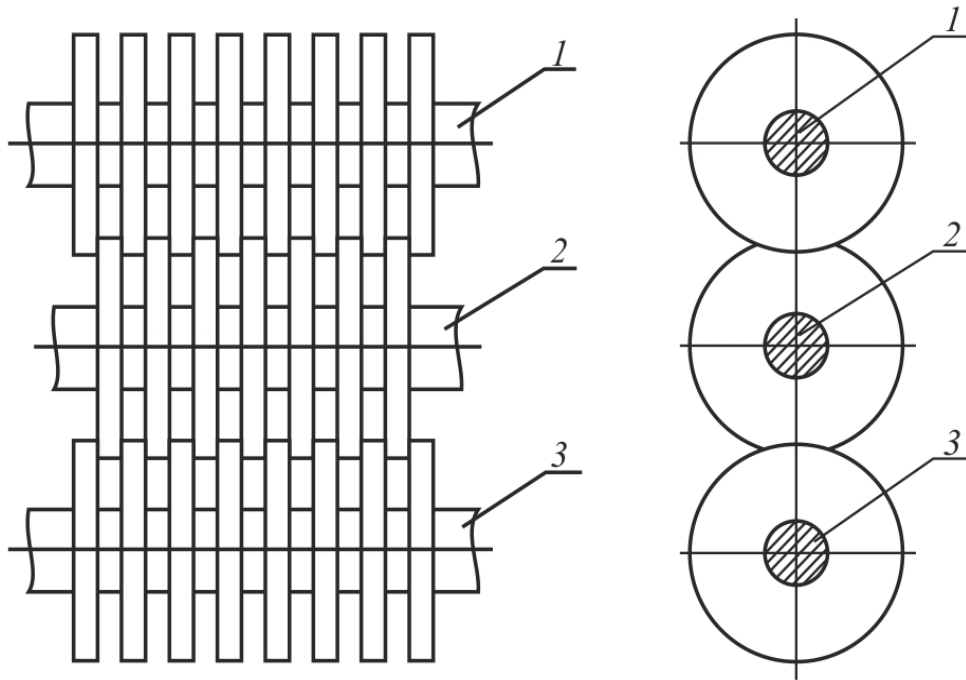


Рисунок 2.45 – Валки з дисками

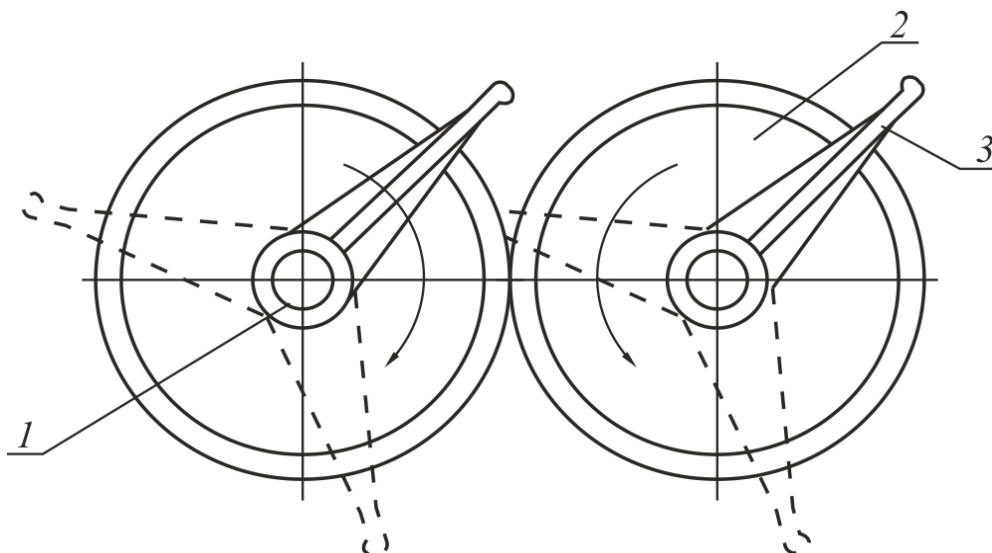


Рисунок 2.46 – Валки

Даний тип подрібнювачів можна використовувати для попереднього подрібнення відходів.

Дискові розривні подрібнювачі - для подрібнення текстильних, швейних і трикотажних відходів.

Ці подрібнювачі знайшли застосування, відповідно, в швейній, трикотажній та текстильній промисловості.

Подрібнені відходи використовують для виробництва вати, нетканих матеріалів, різних наповнювачів для полімерних композицій, бетону.

Дискові розривні подрібнювачі, які складаються з двох роторів, а то і більше (кількість роторів підвищує якість переробки), виявились ефектив-

ними подрібнювачами для збереження максимальної довжини волокна. Ротори обертаються в одному напрямку з різними швидкостями і мають на собі диски з різними за величиною та формою зубами. Така конструкція дозволяє витягувати волокна з тканини, за рахунок чого зберігається довжина волокна, а також дозволяє розривати текстильний матеріал, який потрапляє в зону подрібнення за рахунок того, що одна частина куску матеріалу захоплюється одним ротором, а інша - другим ротором. Ці частини матеріалу рухаються у протилежних напрямках, що спричинює виникнення напружень розтягу в матеріалі та його руйнування (рис. 2.47).

Перед подрібненням відходів, спочатку потрібно провести попереднє розділення різних матеріалів на групи. Наприклад, полімери від текстилю, також, текстильний матеріал постійно залишається на зубчиках дисків, що в певній мірі ускладнює обслуговування подрібнювачів. Для вирішення цієї проблеми ставлять або відбійники або контрножі, які знімають текстильні відходи із зубців дисків, а також вилучають їх із-поміж дискового простору.

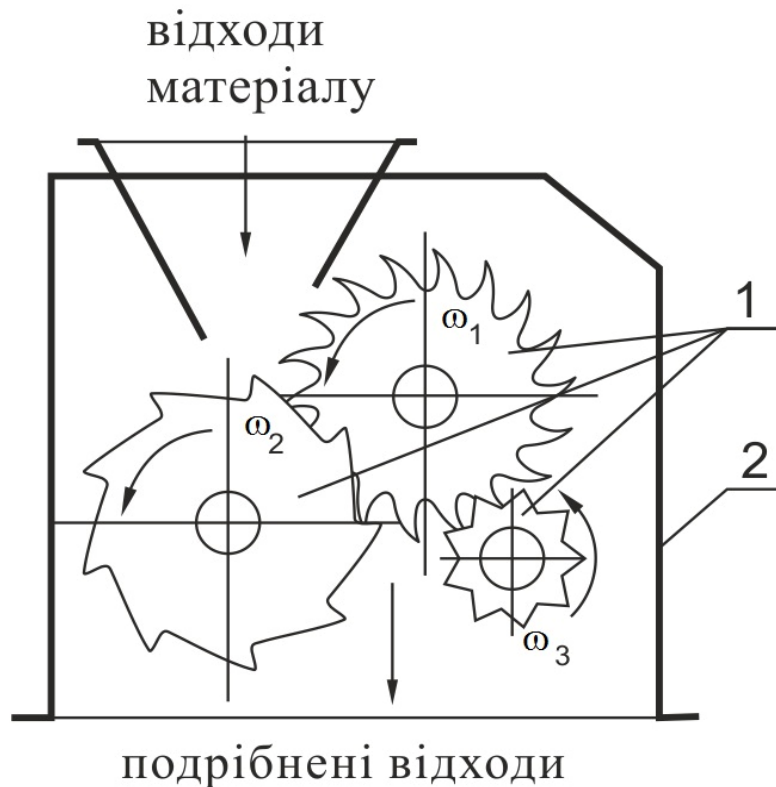


Рисунок 2.47. Пристрій для роздирання волокнистих матеріалів:
1 - диски; 2 – корпус

Дискові розривні подрібнювачі, як було вже зазначено вище, дозволяють зберігати максимальну довжину волокна. Будова конструкції даних пристроїв є відносно простою.

Для цих пристроїв відходи, що переробляються, повинні бути тільки текстильними (не мати в собі ніяких інших матеріалів). При переробці час-

тина відходів не може бути перероблена, тому що маючи малий розмір, може проходити між дисками роторів. Такі недоліки обмежують можливості використання обладнання.

Конусні валки відносяться до пристроїв для подрібнення сипучих матеріалів, наприклад, зерна, полімерних матеріалів, гуми.

Валкові подрібнюючі пристрої застосовуються в комбікормовій, харчовій, легкій промисловості а також в сільському господарстві.

Подрібнені відходи використовуються як добавки до харчових виробів, наповнювачі у полімерних композиціях.

Валкові подрібнювачі з конусними валками мають таку ж саму конструкцію, як і валки з гладкими поверхнями (рис. 2.33); різниця в тому, що валковий подрібнювач складається із робочих валків 1, 2, 3, які мають форму зрізаних конусів. Верхній валок 1 і нижній 3 розширеним кінцем конуса направлені в одну сторону, а середній 2 - у протилежну. При цьому середній валок 2 має можливість переміщуватися в осьовому напрямку з допомогою гвинтової пари 4 (рис. 2.18).

Працює подрібнювач таким чином: спочатку середній валок 2 за рахунок гвинтової пари 4 виводиться в крайнє положення для забезпечення найбільшого зазору між валками 1, 2 і 2, 3. Як тільки всі валки починають обертатися з постійним числом обертів, верхній 1 та нижній 3 в одному напрямку, а середній 2 у протилежному, встановлюється потрібний зазор між валками.

При обертанні валків 1, 2 та 2, 3 назустріч один одному подрібнюваний матеріал затягується в робочі щілини між валками і подрібнюється за рахунок стискаючих деформацій між валками. Величина стискаючих навантажень залежить від міжвалкового зазору.

Продавлювання - метод подрібнення відходів, який дозволяє досягнути зниження енергоємності процесу подрібнення і поліпшення якості подрібнюваного матеріалу.

Існує два способи продавлювання: камерне і валкове.

Продавлювання може бути використане для подрібнення (гранулювання) термопластичних мас, полімерів, гуми, зношених автомобільних покришок [12].

Пристрій камерного продавлювання (рис. 2.48), що представляє з себе камеру тиску 1 і опорну плиту 2 з центральним отвором 3, в якому розміщений шток 4 гідравлічного робочого циліндру 5 подвійної дії. На вільному кінці штока закріплений поршень 6; поршень обмежує камеру тиску 1 знизу і може переміщуватись по довжині внутрішньої бокової поверхні стінки 7 камери 1.

Після заповнення робочої камери тиску 1 обрізками 8, що належить подрібнити, поршень 9 опускається і відбувається подрібнення гуми крізь отвори 10.

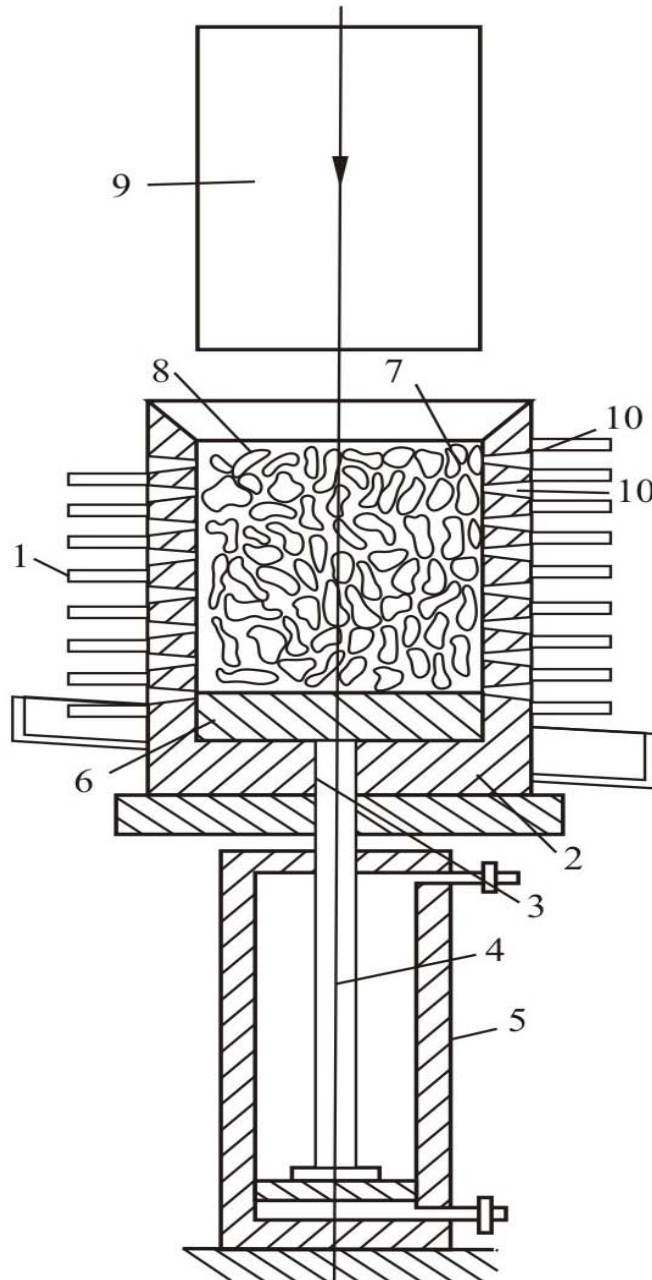


Рисунок 2.48 – Пристрій камерного продавлювання

Після завершення процесу подрібнення можливий залишок матеріалу може видалитись з порожнини камери тиску 1 за допомогою поршня 6. Завдяки тому, що привід ріжучого блоку працює від гідросистеми термопластавтомату, пристрій має невеликі габарити, забезпечує економію виробничих площ.

Процес подрібнення відходів полімерів за рахунок валкового продавлювання можна здійснити на установці, що зображена на рис. 50. В даному пристрої інструмент для продавлювання виконаний у вигляді двох дотичних між собою барабанів 1, що закріплені на горизонтальних валах 2. Барабани виконані з можливістю обертання в протилежні сторони в стани-

ні 3. Кожен з барабанів виконаний із порожниною всередині, що закінчується радіальними отворами 4. Ці отвори слугують для витискання гумової маси. Барабани утворюють відкриту камеру тиску 5. На обох валах 2 насаджено зубчаті колеса 6, що знаходяться у взаємному зачепленні. Один з валів 2 має шків 7, що з'єднаний з приводом (не покотело). Горловина 8, що розташована над барабанами, слугує для завантаження гумових відходів (без металічних включень) у відкриту камеру тиску 5. В барабанах 1 виконані випускні отвори 9 для виводу подрібнених відходів в бункер 10.

Барабани можуть бути виконані у вигляді профільних зубців (рис. 2.49, 250), що знаходяться у взаємному зачепленні, а отвори 4 для зрідження виконані в западинах 12.

Подрібнені відходи в подальшому можуть бути використані в якості сировини для виготовлення взуттєвих підошов, або як наповнювачі для нових гумових сумішей.

Запропоновані пристрої для подрібнення гумових відходів при порівняно невеликих затратах дозволяють здійснювати ефективне подрібнення. При цьому виключаються попередні операції такі, як попереднє видавлення бортів покришок. Гумові відходи поряд з амортизованими покришками включають всі гумові продукти і відходи при виробництві каучуку, включаючи повністю вулканізовану гуму.

Завдяки збільшенню числа отворів для зрідження, створені умови для зниження тиску для подолання сил внутрішнього тертя. Це дозволяє знизити енергетичні заграги і загальну величину тиску.

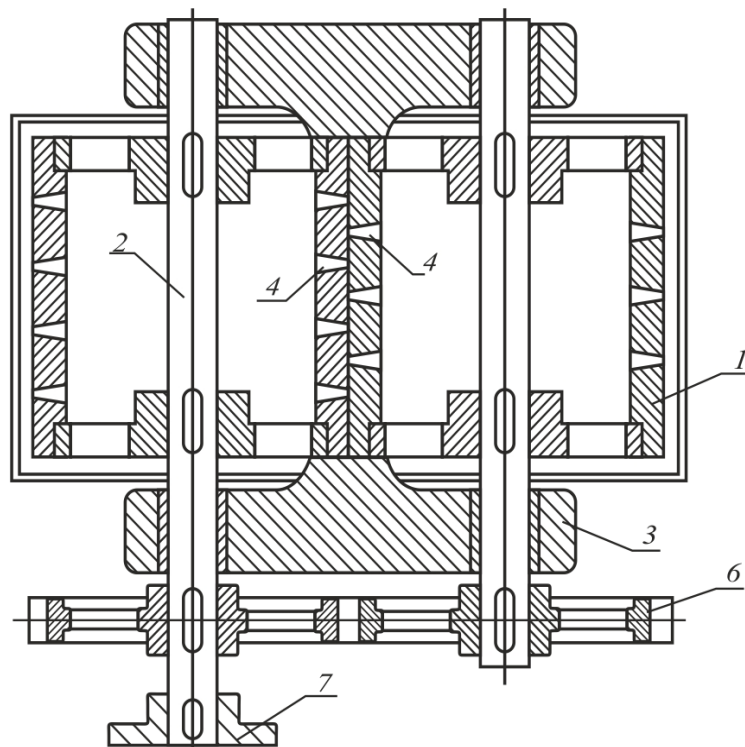


Рисунок 2.49 – Пристрій валкового продавлювання

При подрібненні відходів в останній час широке застосування отримали екструдерні подрібнювачі [12, 17, 19-24]. Ці подрібнювачі використовуються здебільшого для подрібнення полімерних матеріалів, зокрема для подрібнення гуми у високопластичному стані, але їх також можна використовувати для подрібнення текстильних відходів.

Екструдерні подрібнювачі за конструкцією установки та видом подрібнюваного матеріалу, можна розділити на такі групи: екструдерні подрібнювачі перетирання, шнек з зубцями, шнек з ріжучими елементами.

Ступінь дисперсності, який досягається при екструдерному способі подрібнення, приблизно становить від 2 до 10 мм.

Даний процес подрібнення є ще не досить вивченим. Хоча існують вже експериментальні розрахунки та аналогічні моделі, які відносяться до даного типу подрібнювачів.

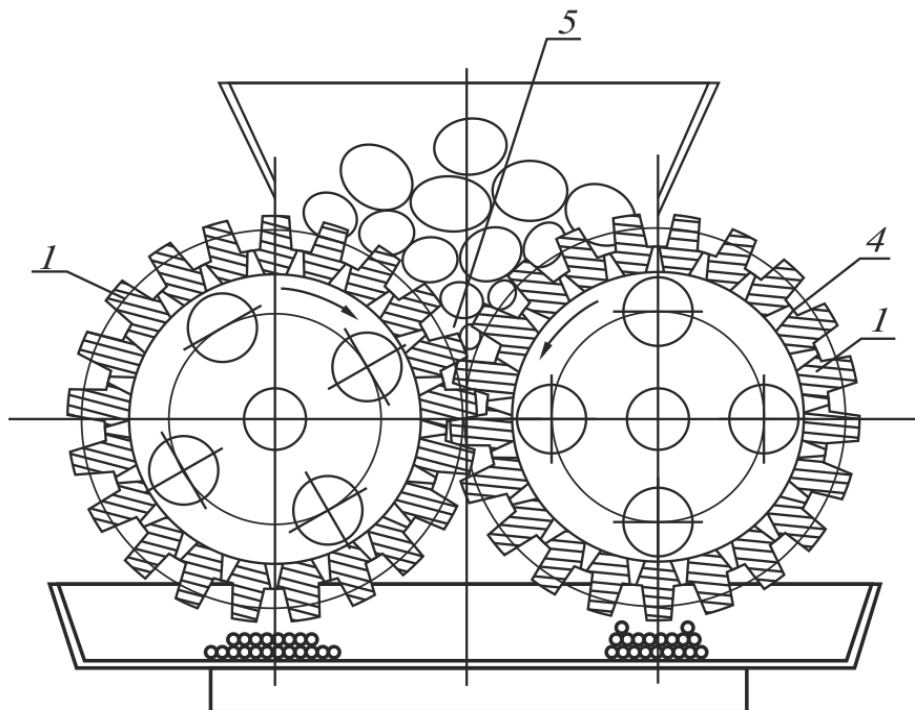


Рисунок 2.50 – Пристрій валкового продавлювання з зубчастим профілем

Варто звернути увагу на технологічний процес подрібнення в екструдерних установках. По-перше, в цих подрібнювачах спочатку потрібно провести попереднє розділення різних матеріалів один від одного, тобто, полімери від текстилю, гуми від металу. По-друге, відходи потрібно попередньо подрібнити.

В порівнянні з валковими подрібнювачами екструдерні пристрої є набагато складнішими як в обслуговуванні, так і будові конструкції самих установок. Основним недоліком екструдерних подрібнювачів є інтенсивне налипання подрібненого матеріалу на робочі органи пристроїв, що значно ускладнює процес подальшої роботи установок.

Екструдерні подрібнювачі перетирання використовують для подрібнення і розділення по величині матеріалів малої твердості, наприклад, резини, і для виробництва регенерата. Такі подрібнювачі знайшли застосування в шинній і регенератній промисловості.

Подрібнений матеріал використовується як наповнювач у різних композитах для виготовлення виробів з гуми.

Екструдерний подрібнювач складається з корпусу 1, в якому розміщений шнек 2 з шнековою головкою 3 (рис. 2.51).

Подрібнювані матеріали поступають через загрузочний бункер 4 в пристрій. Робочий орган шнек 2 служить для транспортування подрібнюваного матеріалу, а точніше переміщення відходів вздовж корпусу 1. Між корпусом 1 і шнековою головкою 3 за рахунок сил стиснення і перетирання відбувається руйнування частинок матеріалу.

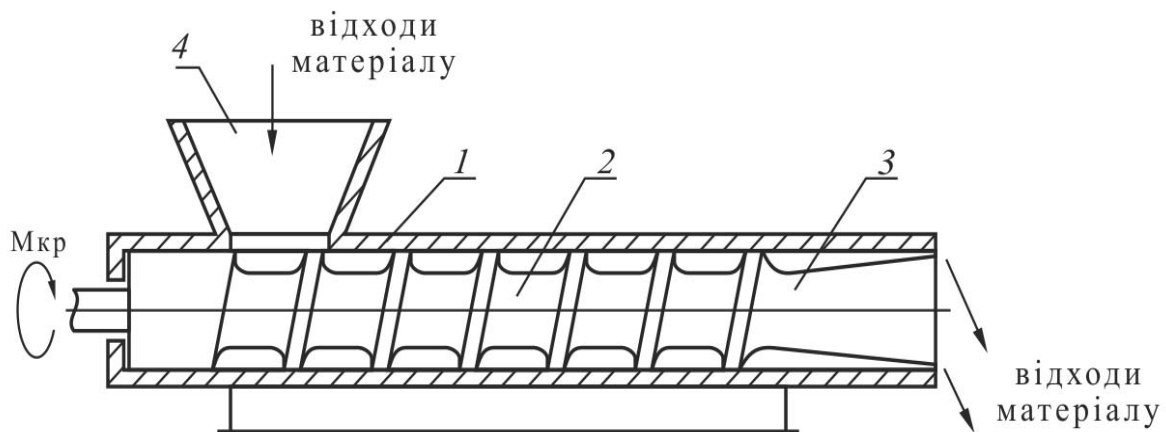


Рисунок 2.51 – Екструдерний подрібнювач

Ці подрібнювачі використовуються здебільшого для подрібнення гуми у високопластичному стані, який можна охарактеризувати як пружно-деформаційний. Загалом суть даного способу подрібнення у використанні поля механічних сил, при якому матеріал підлягає стисненню зі зсувом. При взаємодії шнекової головки з корпусом подрібнювача відбувається перетирання, деструкція матеріалу і його перегрів за рахунок сил тертя.

Перевагою екструдерного подрібнювача перетирання є те, що пристрій використовується лише для подрібнення гумових відходів, хоча з іншої сторони це також можна віднести і до недоліків. Крім того, недоліком пристроїв перетирання є металоємність та енергоємність установки; невизначений температурний режим, нагрів матеріалу. налипання подрібненого матеріалу на робочий орган, що уповільнює процес подрібнення.

Наступною групою екструдерних подрібнювачів є пристрої, в яких робочим органом являється шнек з зубцями. Ці подрібнювачі використовуються для масляних матеріалів та пружних, наприклад, гуми.

Екструдерні подрібнювачі типу шнек з зубцями знайшли застосування в масложировій, виноробній, консервній галузях харчової промисловості, в хімічній, будівельній і гідролізно-целюлозній промисловостях, а також в сільському господарстві.

Подрібнені відходи використовуються як наповнювач у полімерних композиціях, для одержання гумових виробів, плівки, а також для одержання олії, соку та інших продуктів харчування.

Екструдерні подрібнювачі з шнеком, на якому нарізані зубці, складаються з корпусу 1, в якому вмонтований шнек 2 з зубцями 3 різної форми і розмірів (рис. 2.52).

Подрібнюваний матеріал завантажується в загрузочний бункер і подрібнюється за рахунок виникаючих сил тертя і стиснення між корпусом 1 та шнеком 2.

В пристроях даного типу подрібнена маса налипає на поверхню шнеку між впадинами зубців і потім повільно обертається разом зі шнеком, що знижує якість подрібненого матеріалу.

Пристрої, у яких робочим органом є шнек і ріжучими елементами, використовуються для подрібнення як твердих, так і текстильних матеріалів.

Екструдерні подрібнювачі типу шнек з ріжучими елементами застосовуються в будівельній, текстильній та гірничорудній промисловостях.

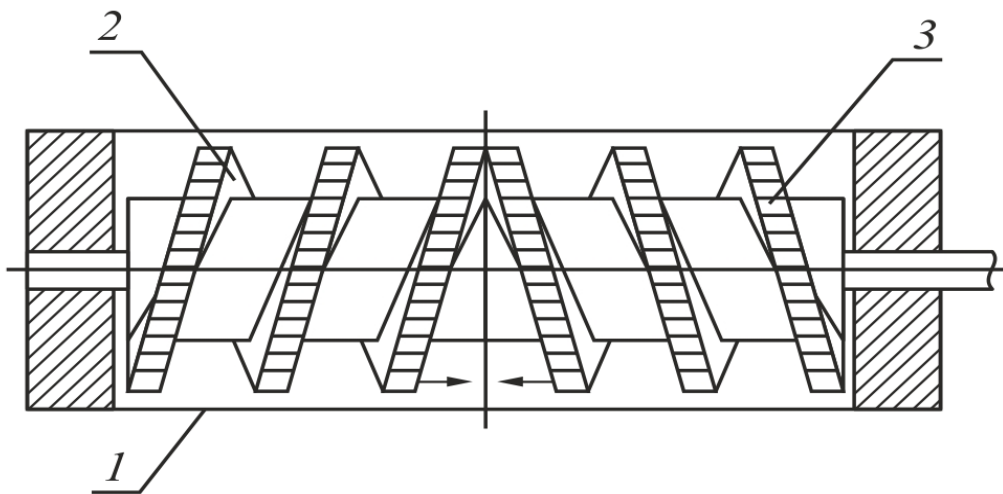


Рисунок 2.52 – Шнек з зубцями

Подрібнені матеріали використовуються у різних полімерних композиціях як добавки для виробів з пластмаси. Подрібнені текстильні відходи йдуть на створення технічної вати, різних прокладок та інших виробів одноразового й короткочасного користування.

Розглянемо конструкцію будови даного подрібнювача. Пристрій складається з корпусу 1, шнеків, які обертаються назустріч один одному. На гвинтових навивках шнеку закріплені подрібнюючі елементи типу зубців (рис. 2.53).

Шнекові подрібнювачі даного типу використовуються для подрібнення і роздирання текстильних відходів за умови, що не тільки на шнекові будуть розташовані зубці, а й поверхня зони подрібнення також буде виконана зубчатою.

Даний подрібнювач може використовуватися для попереднього подрібнення часток великого розміру.

Як було вище зазначено, процес різання матеріалів має великі переваги перед іншими способами подрібнення. Особливо слід відзначити зосереджене різання. Воно дозволяє економити енергію, мінімально при цьому деформуючи матеріал. Це відбувається завдяки тому, що частина матеріалу, що знаходиться у складно напруженому стані і зосереджена поблизу ножа, порівняно невелика.

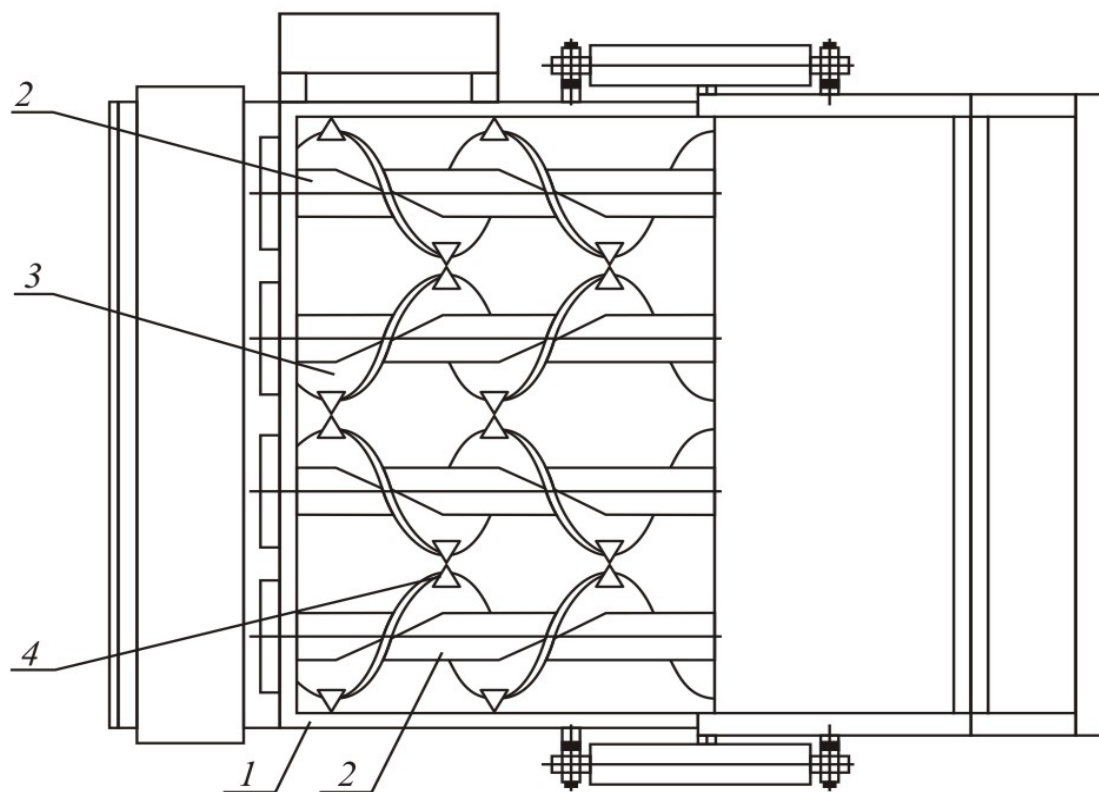


Рисунок 2.53 – Подрібнюючий пристрій:
1 - корпус; 2 - шнек; 3 - гвинтові навивки; 4 – зубці

Процес зосередженого різання реалізований у таких способах подрібнення матеріалів як різання пилками, різання дисками, різка гільйотиною, різка ножицями.

Здійснюється шляхом насунання матеріалу на рухомий ніж. Матеріал при цьому має бути в подаючому механізмі.

Даний спосіб подрібнення відходів реалізований в роботі [12-15] (рис. 2.54).

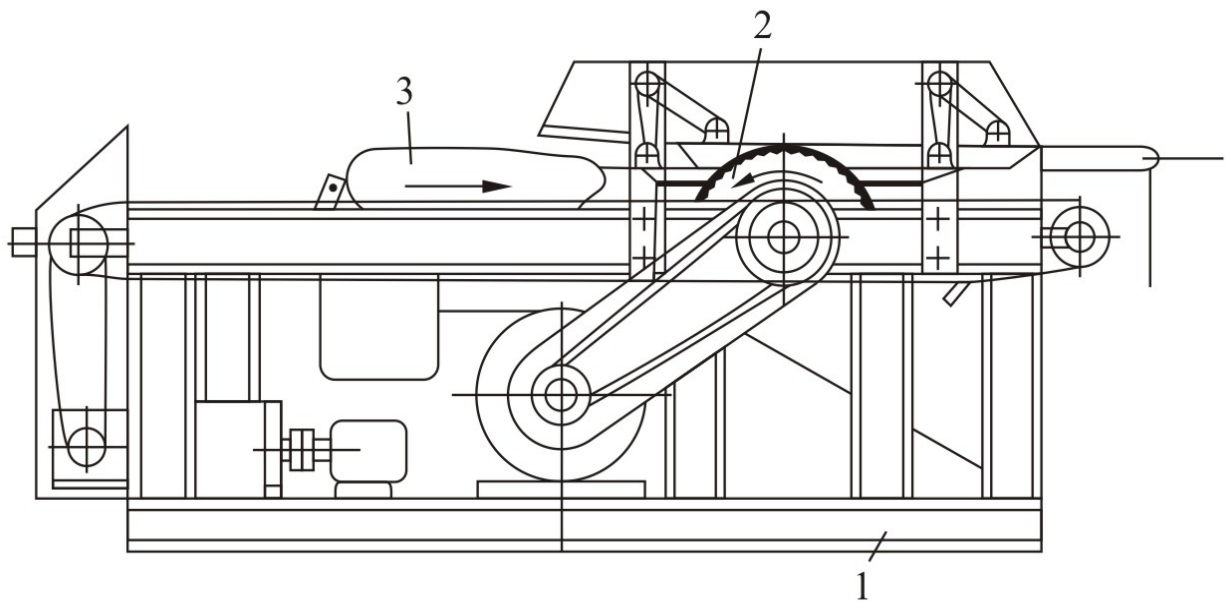


Рисунок 2.54 – Пристрій дискового різання

Пристрій для подрібнення крупно кускових матеріалів 3, переважно пластмас, складається з ріжучих робочих органів 2, станини з направляючим столом 1 і штовхача.

Кусок подрібнюваного полімерного матеріалу у вигляді злитку вкладається на подаючі ланцюги. Після включення приводу, ланцюги починають подавати матеріал в зону подрібнення і для охолодження пилки, в зону подрібнення подається стиснуте повітря. Після порізки, штовхач повертається у вихідне положення і цикл повторюється.

Основним недоліком такого подрібнення є обмеженість використання, що зумовлена габаритами бракованих деталей. Суттєвим недоліком також є розрізання матеріалу тільки на дві частини.

Різання із застосуванням дискового ножа включає наступні стадії:

- врізання ножа при ущільненні початкової структури матеріалу;
- вигинання частини матеріалу, що відрізається;
- орієнтоване руйнування матеріалу.

Такий спосіб різання реалізований в роботі. Машина для подрібнення амортизованих автопокришок складається зі змонтованих на основі механізму подачі покришки в зону подрібнення і пристрою для подрібнення. Пристрій для подрібнення виконаний у вигляді привідного валу з закріпленими на ньому роторами з можливістю регулювання відстані між ними. По периферії кожного ротора і перпендикулярно до вісі вала розміщені дискові ножі. При цьому дискові ножі одного ротора встановлені з можливістю взаємодії з відповідними дисковими ножами іншого ротора.

Складність конструкції і великі енерговитрати є суттєвими недоліками пристрою.

Різання за принципом ножиць застосовують для поперечного розрізання матеріалу по товщині.

По мірі насування ножів на матеріал виникають напруження зрізу, які перевищують допустимі, викликають руйнування матеріалу по лінії різання. В результаті натискання ножів на матеріал на його поверхні виникають деформації зминання. При цьому обидва ножі занурюються в матеріал на деяку глибину, що відповідає деформації зминання матеріалу, яка залежить від механічних властивостей і форм лез.

Різання матеріалів на гільйотинних пристроях відбувається за рахунок занурення ріжучої кромки леза у матеріал під дією прикладеної сили.

Клин леза різача, занурюючись в матеріал на якусь глибину, долає сили опору трьох видів: опір матеріалу зминанню лезом; опір матеріалу розсуванню клином різача; опір силам тертя, що виникають внаслідок ковзання площин клину об матеріал.

2.8.6 Кріогенне подрібнення ТПВ

Принцип роботи кріогенного обладнання заснований на дії низьких температур, які змінюють в'язко еластичні властивості матеріалів.

Кріогенне подрібнення, в основному, використовується для переробки зношених автомобільних покришок. Це пов'язано з тим, що процес розділення композиційних матеріалів є дуже складним і потребує великих затрат зусиль, також наявне швидке зношування робочих органів. Найбільшого розповсюдження даний метод набув у Японії.

На даний момент існує два способи кріогенного руйнування матеріалів: молоткове руйнування і продавлювання.

Кріогенне подрібнення використовується для руйнування в'язко пружних полімерних матеріалів і їх відходів, також може бути використане для отримання композитів на основі порошків полімерів або для отримання покриттів вібровихровим методом. Для цього перед охолодженням гранули, наприклад поліетилентерефталата, піддають термообробці, тобто нагрівають до температури 150- 240°C і витримують на протязі 15-30 хвилин. Потім гранули охолоджують в циліндричному посуді Д'юара, що наповнений рідким азотом. Час охолодження встановлюють по закінченню кипіння рідкою азоту. Охолоджений матеріал подрібнюють на молотковому мікрмлині. Подрібнений дисперсний матеріал проходить крізь сітку з числом отворів 14 на 1 см² і діаметром 1,5 мм. Сітка розташована в нижній частині корпусу мікрмлина. В процесі подрібнення отримують полідисперсний порошок з розміром частинок 50-1000 мкм.

Подрібнення молотками може відбуватись у два способи. Молотки можуть бути виконані у вигляді роторної установки і просто здійснювати поступальні рухи.

Кріогенне продавлювання попередньо охолодженого до низьких температур матеріалу відбувається під дією пуансона на ребристій матриці (рис. 2.55).

Такий спосіб використовується для подрібнення зношених автомобільних покришок і може бути використаним в регенераторному виробництві, де здійснюється руйнування охолоджених автопокришок і відділенням гуми від метало корду і текстильно-кордного каркасу.

Охолоджену до крихкого стану автопокришку розміщують на матрицю 1 і приводять в дію руйнівний елемент. Після того, як пуансон 2 вдаряє по покришці, вона переміщується на півкроку поперек ребер 4. Наступний удар пуансона приходить по новій ділянці покришки. Таким чином, при кожному ударі вся поверхня покришки знаходиться під дією ребер 4, що утворюють в покришці знакозмінні напруги.

Завдяки таким навантаженням гума розтріскується і осипається з металічного і текстильного кордів.

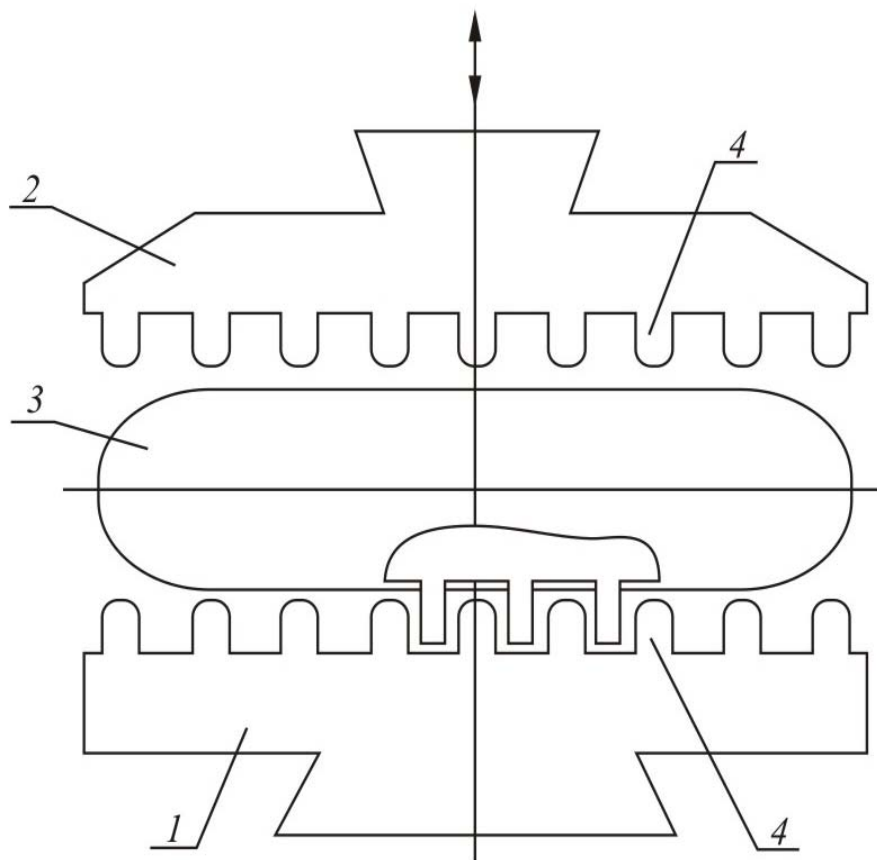


Рисунок 2.55 – Подрібнювач криогенний продавлювання

Такий спосіб переробки зношених автомобільних покришок дозволяє отримувати до 90 % вихідної гумової крихти.

Контрольні питання

1. Дати характеристику подрібнювачів без подрібнюючих тіл.
2. Дати характеристику струйних подрібнювачів.
3. Дати характеристику кавітаційних колоїдних подрібнювачів.
4. Дати характеристику ємнісних кавітаційних змішувачів.

5. Дати характеристику динамічних проточно-кавітаційних змішувачів.
6. Дати характеристику статичних проточно-кавітаційних змішувачів.
7. Дати характеристику гідромеханічних пристроїв для розмелу волокнистих матеріалів.
8. Дати характеристику подрібнювачів з подрібнюючими тілами
9. Дати характеристику подрібнювачів з вільними подрібнюючими тілами.
10. Дати характеристику барабанних гравітаційних обертових подрібнювачів.
11. Дати характеристику барабанних подрібнювачів з високим прискоренням.
12. Дати характеристику подрібнювачів із закріпленими подрібнюючими тілами.
13. Дати характеристику середньоходових подрібнювачів.
14. Дати характеристику криогенного подрібнення ТПВ.

3 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОДРІБНЮВАЧІВ

Для проектування конструкції будь-якого механізму для подрібнення відходів необхідно знати його конструктивні та технологічні параметри. Такими параметрами можуть бути: потужність, продуктивність, ККД процесу подрібнення та геометричні параметри. Існує багато методик проектування подрібнюючих пристроїв за існуючими параметрами. Ці методики можуть бути як загальними, так і індивідуальними для кожного пристрою.

Розглянемо основні методики для розрахунку типових параметрів подрібнюючого обладнання.

3.1 Подрібнювач щоківий

За допомогою щоківих подрібнювачів переробляють крихкі та тверді матеріали. Їх використовують в гірській, будівельній, гірничорудній промисловості, а також в лабораторній практиці. Таке обладнання є досить розповсюдженим завдяки простоті і надійності конструкції таких подрібнювачів.

Продуктивність щоківих подрібнювачів рекомендується [12] визначати за формулами:

$$\Pi = 3600 \frac{[(d_1 + S) + d_1] S}{2 \operatorname{tg} \alpha} \operatorname{Ln} K_p, \quad (\text{м}^3 / \text{год}) \quad (3.1)$$

або

$$\Pi = 3,6 d_{\text{cp}} \frac{S}{\operatorname{tg} \alpha} \operatorname{Ln} K_p \rho, \quad (\text{т} / \text{год})$$

де d - найменший діаметр розвантажувальної щілини, м;

S - хід щоки по горизонталі біля розвантажувального отвору, м;

L - довжина розвантажувального отвору, що дорівнює ширині щоки, м;

n - частота обертання ексцентрикового валу, с^{-1} ;

α - кут між щоками, град;

K_p - коефіцієнт розрихлення матеріалу ($K_p = 0,3 \dots 0,65$);

d_{cp} - середній розмір частинок, що виходять з подрібнювача, м;

ρ - густина, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Потужність приводу щоківого подрібнювача визначається за методикою [12]:

$$N = \frac{\sigma_c^2 \omega l (D^2 - d^2)}{24 \cdot 10^3 E \eta}, \quad (\text{кВт}) \quad (3.2)$$

де σ_c - межа міцності при стискуванні, Н/м²;

ω - кутова швидкість, рад/с;

D, d - діаметри завантажувальних і розвантажувальних частинок, м;

E - модуль пружності, Н/м²;

η - КПД, що дорівнює 0,8-0,85.

3.2 Конусний подрібнювач

Конусні подрібнювачі відносяться до пристроїв для подрібнення си-пучих матеріалів, наприклад, зерна, полімерних матеріалів, гуми [12]. Такі пристрої можуть бути застосовані в комбікормовій, харчовій, легкій про-мисловості, а також в сільському господарстві.

В подальшому подрібнені відходи використовуються як добавки до харчових виробів, наповнювачі у полімерних композиціях.

Продуктивність такого обладнання визначається:

$$\Pi = \frac{3600D_n r(b_1 + r)\omega K_p}{\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2}, \quad (3.3)$$

де D_n - зовнішній діаметр рухомого конуса, м;

r - радіус окружності, що лежить в площині розвантажувального отвору, м;

b_1 - найменша ширина розвантажувального отвору або ширина па-ралельної зони при зближенні конусів, м;

l - довжина паралельної зони, м ($l \approx 0,08 D_n$);

α_1, α_2 - кути між вертикаллю і утворюючими конусами, град;

ω - кутова швидкість ексцентриків, рад/с;

$K_p = 0,25 \dots 0,6$.

Потужність приводу конусного подрібнювача розраховується:

$$N = \frac{\pi \sigma_c \omega D_n (D_1^2 - d^2)}{24E \cdot 1000\eta}, \quad (\text{кВт}) \quad (3.4)$$

де D_1 - діаметри завантажувальних частинок матеріалу, м;

E - модуль пружності 1-го роду, Н/м²;

η - КПД, що дорівнює 0,8-0,85;

D_n - нижній діаметр рухомого конуса, м.

3.3 Роторний подрібнювач

Процес зосередженого різання, реалізований в роторних подрібнювачах, є достатньо відомим і вивченим. Для теоретичного відображення вимог для розрахунків основних параметрів роторних подрібнювачів використовується методика, яка базується на залежностях пружної деформації матеріалу. На основі цієї методики отримана залежність потужності подрібнення від середнього розміру часток матеріалу і конструктивно-кінематичних факторів [11-13].

$$N_{cp} = \frac{q_p b h L_z Z_3 n}{1000}, \text{ (кВт)} \quad (3.5)$$

- де q_p - питомий опір різанню;
- b - ширина зони подрібнення;
- h - висота смуги, що подрібнюється;
- L_z - подача на один ніж;
- Z_3 - загальна кількість ножів ротора;
- n - частота обертання ротора.

Це рівняння дозволяє дуже приблизно визначити потужність подрібнення роторним подрібнювачем.

Продуктивність роторного обладнання можна визначити:

$$\Pi = \frac{\Pi_{пит} K_p K_s}{1000} 6,75 \sqrt{D} \sqrt{\frac{G}{V}} \eta_e, \text{ (кг/год)} \quad (3.6)$$

де $\Pi_{пит}$ - питома продуктивність при мокрому розмелюванні 50- 250 кг/год, при сухому - 40 кг/год на 1 кВт потужності;

K_p - коефіцієнт розмеле здатності, що дорівнює 0,8...2,2;

K_s - поправочний коефіцієнт тонкості розмелу, що дорівнює 0,588...1,425;

D - внутрішній діаметр подрібнювача, м;

G - маса подрібнюючих тіл, т;

V - внутрішній об'єм подрібнювача, м³;

η_e - коефіцієнт відносної ефективності розмелювання, що залежить від конструкції і схеми її роботи, він дорівнює 0,9...1,3.

3.4 Барабанний млин

Руйнування матеріалу в таких подрібнювачах відбувається за рахунок вільного удару робочого органу (кульок, роликів). При вільному ударі

ефект руйнування залежить від маси тіл, що ударяються і швидкості руху тіл в момент удару. При зіткненні робочих тіл і частинок матеріалу зусилля, що виникають визначаються силами інерції частин, що взаємодіють.

Потужність млина рекомендовано розраховувати за емпіричною залежністю, що пропонується в роботі [12].

Продуктивність визначається за залежністю:

$$\Pi = \frac{LDG[10 + 0,35(X - 10)]}{\sigma}, \text{ (кг/год)} \quad (3.7)$$

де L, D - довжина і діаметр подрібнювача, м;

G - маса подрібнюючих тіл, т;

X - залишок в ситі №009, %;

σ - границя міцності при стискуванні подрібнюваного матеріалу, Па.

Для більш точнішого розрахунку необхідно використовувати рекомендації, що наведені в роботі [12].

3.5 Кульовий кільцевий подрібнювач

За принципом руйнування матеріалу кульові подрібнювачі є дуже подібними до барабанних млинів. Вони використовуються для розмелювання мергелю, шихти з вапнякової сировини і шини, доменного шлаку, кварцового піску і будь-якого крихкого матеріалу.

Продуктивність такого обладнання визначається за рекомендацією, що наводиться в роботі [11,12]. Подана залежність є емпіричною і дозволяє не досить точно визначати продуктивність процесу:

$$\Pi = \frac{\Pi_{\text{пит}} K_p K_s}{60} 6,75 \sqrt{D} \sqrt{\frac{G}{V} \eta_e}, \text{ (кг/год)} \quad (3.8)$$

де $\Pi_{\text{пит}}$ - питома продуктивність при мокрому розмелюванні 50-250 кг/год, при сухому - 0,5...0,7 кг/хв 1 кВт потужності;

K_p - коефіцієнт розмеле здатності, що дорівнює 0,8...2,2.

3.6 Валковий подрібнювач

В наш час найбільш повно досліджено процес подрібнення, що реалізується на валковому обладнанні, і його можна характеризувати як пружно-деформаційний метод. Для дослідження і розробки початкових вимог, для розрахунків основних параметрів валкових механізмів були використані теоретичні методи дослідження, основані на гідродинамічній теорії

вальцювання, залежностях пластичної або пружної деформації матеріалу, теорії подібності або теорії розмірностей.

Теорія гідродинамічного вальцювання розглядає як початкові рівняння руху в'язкої рідини Нав'є-Стокса за умов сталої плоско паралельної течії. Методика базується на залежностях пружних деформацій матеріалу, і може бути використана при переробці пружних чи дуже жорстких пластичних матеріалів, коли головними є не пластичні, а пружні деформації. За цією методикою було отримано рівняння для визначення розпірного зусилля у випадку пружної деформації:

$$P = \frac{4ER^2b_n}{h_n} \sin \alpha (1 - \cos \alpha), \quad (3.9)$$

де E - модуль пружності матеріалу;

R - радіус валка;

b_n - початкова ширина матеріалу;

h_n - початкова товщина матеріалу;

α - кут захвату матеріалу валками.

Це рівняння дозволяє визначити зусилля між валками при каландруванні плоскої стрічки дуже приблизно. Це пов'язано з тим, що максимальний питомий тиск на матеріал визначається у місці мінімального зазору між валками.

Методика, базується на теорії подібності і аналізу розмірностей, використовується для аналізу різноманітних процесів. Використовуючи теорію подібностей, необхідно враховувати, що вона не може дати більше того, що знаходиться в початкових рівняннях, які описують даний процес. Вони лише дозволяють знайти інтегральний розв'язок цих рівнянь, які дійсні для групи подібних явищ в деяких межах.

На основі теорії розмірностей отримана методика для розрахунків розпірних зусиль і потужності валків. При постійній температурі обробки загальна функція для визначення розпірного зусилля буде мати вигляд:

$$P = f(B, \gamma, \omega, h_3, D, L, F), \quad (3.10)$$

де $B = \frac{h_n - h_2}{h_n - h_1}$ - коефіцієнт відновлення матеріалу;

γ - питома вага матеріалу;

ω - кутова швидкість валка;

D - діаметр валка;

L - ширина матеріалу на валках;

F - фрикція валків;

h_n - початкова висота матеріалу;

h_1 - висота матеріалу під навантаженням;

h_2 - висота матеріалу після зникнення навантаження.

На основі експериментальних досліджень процесу подрібнення твердих матеріалів на дробильних валкових машинах запропоновані формули для розрахунків продуктивності і потужності в залежності від ступеня подрібнення і конструктивних факторів

$$P = 1800Ld_1VK_pD, \text{ (кг/год)} \quad (3.11)$$

$$N = 28,6VL(D + 0,25),$$

або
$$N = 0,1iP, \text{ (кВт)} \quad (3.12)$$

де V – окружна швидкість поверхні валків, м/с;

L - довжина валків, м;

d_1 - зазор між валками, м;

K_p - коефіцієнт розпушення;

D - діаметр валків, м;

i - ступінь подрібнення.

На основі експериментальних досліджень процесу подрібнення вулканітів на дробильних і млинових валках отримані формули для розрахунків продуктивності валків, в залежності від середнього розміру часток матеріалу і конструктивних факторів:

дробильні валки

$$Q = 150i^{0,5}d_kLV_c\gamma, \text{ (т/год)} \quad (3.13)$$

млинові валки

$$Q = 16 + LV_c\gamma d_k i, \text{ (т/год)} \quad (3.14)$$

де i - ступінь подрібнення матеріалу;

d_k - середній розмір часток кінцевого продукту;

L - довжина валків;

V_c - середня швидкість валків;

γ - щільність матеріалу.

Ці формули дозволяють описувати продуктивність і потужність лише конкретних машин, які використовувались при дослідженнях, з конкретними технологічними і конструктивними параметрами.

На основі експериментально статистичного методу [12] отримані емпіричні рівняння, що дозволяють описати вплив зміни, швидкості валків і

фрикції на дисперсність порошку та енерговитрати на подрібнення. Вони мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1,01(80,23 - 25,46X_1 + 2,22X_1^2) + \\
 &+ (0,63 + 0,21X_2 - 0,01X_2^2) \\
 F_y &= (-2,95 + 5X_1 - 0,48X_1^2) \times \\
 &\times (1,01X_2 - 0,155X_1 + 0,019X_2^2) \\
 \mathcal{E} &= 1,005(17,16 - 11,09X_1 + 2,78X_1^2) \times \\
 &\times (1,43 - 0,28X_2 + 0,155X_2^2) \\
 \mathcal{E} &= 1,088(37 + 6,03X_1 - 0,83X_1^2) \times \\
 &\times (1,57 - 0,42X_2 + 0,026X_2^2)
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

де Q - продуктивність подрібнення;

F_y - питома поверхня одержаного порошку;

\mathcal{E} - енерговитрати на одиницю ваги матеріалу, що подрібнюється;

\mathcal{E} - енерговитрати на утворену поверхню;

X_1 - фрикція;

X_2 - швидкість тихохідного вала.

Використовуючи методи теорії пружності та пластичності, теоретичної та прикладної механіки, був отриманий спосіб і пристрій механічного ослаблення структури шкіри в гребінчастих валках.

Необхідна відносна деформація ε_{pm} , що забезпечує повне випрямлення пучка волокон шкіри, коли кут кручення γ , дорівнює 0, визначається з виразу

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{pm}^2 \cos^2 \gamma (\cos \alpha_1 + \mu^2 \sin^2 \alpha_1) + 2\varepsilon_{pm} \cos^2 \gamma \times \\
 \times (\cos^2 \alpha_1 - \mu^2 \sin^2 \alpha_1) + \cos^2 \gamma - \cos^2 \gamma = 0
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

де μ - коефіцієнт Пуасона;

γ, α_1 - кут початкового кручення та напрямку кручення.

Зусилля, яке утримує пучок волокон в дермі при коефіцієнті тертя між волокнами f , в залежності від ступеня відносної деформації ε_p визначається

$$\begin{aligned}
 P = P_{CD} + (K_2 P_{CD} + \frac{EI}{2\rho^2}) \times \\
 \times e^{2f \frac{1}{l_1} \arccos \sqrt{\cos^2 \gamma [(1+\varepsilon_p)^2 \cos^2 \alpha_1 + (1-\mu\varepsilon_p)^2 \sin^2 \alpha_1]}}
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

де f - сила тертя, викликана крученням пучків;

$P_{CD} = \eta \frac{dV}{dX} \pi d L_0$ - сила опору зсуву пучків;

$\frac{dV}{dX} = \frac{V}{K_1 d}$ - градієнт швидкості зсуву;

$K_1 d$ - товщина зазору виражена через діаметр пучка;

η - коефіцієнт динамічної в'язкості міжволоконної речовини;

$K_2 = \frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{n}$ - величина, обернена до числа прямолінійно звитих ділянок,

які складають загальну довжину волокна;

E, I, ρ - відповідно, модуль пружності матеріалу, момент інерції перетину і радіус одного волокна;

d - діаметр пучка волокон.

Напруження, що виникають в пучку волокон, залежать від зусилля (3.10) і визначаються рівнянням:

$$\sigma = \frac{4\eta V I_0}{K_1 d^2} \left(\frac{K_2 4\eta V I_0}{K_1 d^2} + \frac{2EI}{P^2 d^2 \pi} \right) \times \exp\left[\frac{2f I_0}{I_1} \arccos \sqrt{\cos^2 \gamma [(1+\epsilon_p)^2 \cos^2 \alpha_1 + (1-\mu\epsilon_p)^2 \sin^2 \alpha_1]} \right] \quad (3.18)$$

Аналіз математичних моделей розволокнення шкіри дозволив визначити рекомендований діапазон використання конструкторсько-технологічних факторів, що забезпечує поєднання оптимальних величин одразу трьох функціональних параметрів споживаної корисної потужності, яка припадає на одну канавку в межах 0,14...0,5 кВт, питомої енергії ослаблення шкіри в межах 0,001...0,023 кВт/кг при відносній міцності 0,35...0,74 від початкової.

3.7 Черв'ячні подрібнювачі

Пружно-деформаційний спосіб також реалізується в черв'ячних подрібнювачах для подрібнення гум [12].

На основі моделі пластичної течії матеріалу, що руйнується, була отримана приблизна формула для розрахунків тиску екструзії через конічні рельєфи

$$P_e = \left[\sigma_{ef}(T, V_n) + C \left(U - KT \ln \frac{V_0}{V_n} \right) \right] \ln \frac{\lambda_{max}}{\lambda_*}, \quad (3.19)$$

$\sigma_{ef}(T, V_n)$ – ефективне значення межі пластичності при деформуванні матеріалу, що руйнується;

U - енергія активізації процесу тертя;

λ_{max}, λ_* - максимальний і критичний ступінь стиснення матеріалу;

V_n - швидкість переміщення плунжера;

C, V_0 - константи.

При аналітичному дослідженні процесу руйнування гуми був використаний термодинамічний підхід до опису міцнісних характеристик полімерних матеріалів і отримана аналітична модель процесу подрібнення в каналі роторної головки.

$$\left\{ \begin{array}{l} d\varepsilon_0 = \frac{\operatorname{tg}\varphi_p}{R-r} dX; d\varepsilon_u = \cos\left(\operatorname{arctg}\frac{V_p}{V_x}\right) d\varepsilon_0; \\ dy_x = \left(1 - \cos\left(\operatorname{arctg}\frac{V_p}{V_x}\right)\right) (1,7 - 0,7\varepsilon_0) d\varepsilon_0; \\ d\sigma_u = \frac{E^* d\varepsilon_u}{(1-\varepsilon_i)^2}; d\tau_x = \frac{E^* d\gamma_x}{(1-\gamma_x)^2}; \\ d\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{d\varepsilon_u^2 + \frac{3}{2}(d\gamma_x^2 + d\gamma_z^2)}; \\ dA_{УПР}^{уд} = \sigma_i d\varepsilon_i; cc^{уд} = \frac{1}{U} dA_{УПР}^{уд}; \\ V_p = 2\pi n(r + X \operatorname{tg}\varphi_p); \\ V_x = \frac{Q}{\pi(R^2 - r(r + X \operatorname{tg}\varphi_p)^2)}; \\ \sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sigma_u^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_z^2)}, \end{array} \right. \quad (3.20)$$

де σ, τ - нормальні і дотичні напруження при деформуванні;

ε, γ - відносна деформація стиснення і зсуву матеріалу;

E^* - постійна матеріалу;

μ - коефіцієнт Пуасона;

$dA_{УПР}^{уд}$ - приріст питомої роботи деформування гуми;

dS - приріст площі вільної поверхні в об'ємі V матеріалу;

U - питома енергія утворення одиниці площі поверхні руйнування матеріалу;

$d\varepsilon_0$ - приріст деформації стиснення матеріалу в каналі роторної головки при нерухомому роторі;

$d\varepsilon_u, dy_x, dy_z, d\sigma_u, d\tau_x$ - приріст деформації і напружень матеріалу при його переміщенні в каналі з ротором, що обертається;

ε_i, σ_i - інтенсивність деформацій і напружень при деформуванні матеріалу;

V_x, V_p - відповідно швидкості руху матеріалу в напрямку осі каналу та відносного руху по поверхні ротора;

Q - об'ємна продуктивність пристрою;

φ_p - кут конусності ротора;

R, r - радіуси циліндра і хвостовика ротора;

n - частота обертання ротора.

Отримана математична модель дозволяє визначати залежність між ступенем подрібнення і напірним тиском від величини її відносного обтискання в каналі роторної головки та технологічних режимів роботи пристрою.

3.8 Молоткові подрібнювачі

Процес, реалізований в молоткових подрібнювачах, ще недостатньо вивчений. Описання його ведеться за допомогою імперичних рівнянь [12-15, 19, 25]. Так, для подрібнення пружних матеріалів пропонується визначати продуктивність подрібнення за формулою

$$n = (30...40) D_p L_p, \quad (\text{кг/год}) \quad (3.21)$$

D_p, L_p - відповідно, діаметр і довжина ротора, м.

А потужність пропонується визначати таким чином:

$$N = 1,34 D_p^2 L_p \omega, \quad (\text{кВт}) \quad (3.22)$$

де ω - кутова швидкість.

В молотковому подрібнювачі волокнистих матеріалів, переважно текстильних і хімічних волокон, було запропоновано з метою підвищення ефективності розволокнення збільшувати щільність розташування молотків на одиницю довжини в напрямку до виходу матеріалу. Щільність розташування молотків вибирається у відповідності із співвідношенням

$$P = 29,52 + 275(L - 0,072)^2, \quad (3.23)$$

де L - довжина пристрою для розволокнення в зоні розташування молотків.

Також в цьому пристрої пропонується зменшувати товщину молотків в напрямку до виходу матеріалу. Визначається товщина молотків таким чином:

$$B = \left(0,5 + \frac{2,8}{L + 0,3} \right) 10^3. \quad (3.24)$$

Запропонована методика дозволяє тільки підвищувати продуктивність подрібнення, і при її використанні неможливо встановити залежність між основними конструктивно-технологічними параметрами подрібнення.

3.9 Голкофрезові подрібнювачі

До останнього часу голкофрезове обладнання, що використовується, не досліджувалось з точки зору отримання аналітичних залежностей, які могли описати процес руйнування в залежності від конструктивно-кінематичних параметрів подрібнювача, а також дати можливість визначати величину волокна, що отримуємо. Це і обумовило обмежене використання в промисловості дезінтеграторів.

Найбільш подібними до процесу подрібнення в дезінтеграторах є процеси тріпання [12] і чесання, які використовуються на тріпально-чесальному обладнанні для попередньої обробки волокнистої маси в легкій промисловості.

Розроблена методика для визначення продуктивності тріпальної машини в залежності від швидкості валків і лінійної густини полотна. Дія тріпала на борідку можливо охарактеризувати імпульсом сили, який виникає при ударі. Дія сили удару P на будь-яку частину борідки за елементарний проміжок часу dt визначається як елементарний імпульс $dI = Pdt$, який спрямований по лінії дії сили P . Імпульс удару била тріпала I за кінцевий проміжок часу t_1 , обраховується як інтегральна сума відповідних елементарних імпульсів:

$$dI = \int_0^{t_1} Pdt. \quad (3.25)$$

В роботі [12] використовується методика для визначення величини насиченості гарнітурного барабана при кордочесанні, в основі якої лежить основний закон динаміки. Використання цього закону для визначення основних залежностей між параметрами і конструктивними факторами та кі-

нцевим продуктом дозволяє отримувати їх з максимальною наближеністю до реального процесу в ударних системах.

Процес розпушення волокнистого матеріалу також можна розглядати як подібний до процесу подрібнення волокнистих матеріалів в дезінтеграторах. Методику отримання умови відриву шматка волокна від волокнистої маси, яку можна записати у вигляді

$$P > \frac{(F_1 + F_2) \cos(\theta + \beta)}{\cos\beta}, \quad (3.26)$$

де F_1 - сила тертя кілка барабана по матеріалу;

F_2 - сила тертя відірваного шматка по матеріалу;

β - кут між перпендикуляром до поверхні відбору і передньою гранню кілка барабана;

θ - кут між дотичною до траєкторії кінця кілка і поверхнею відриву шматка.

Виходячи з даної умови, можна зазначити, що відрив шматка маси відбувається не за рахунок розриву волокон, а за рахунок подолання сил тертя між волокнами, що справедливо у випадку для розрихленої структури, де окремі волокна не зв'язані між собою.

Сумарну силу тиску матеріалу на кромку тріпального била. можна описати рівнянням:

$$N = \frac{1}{\mu} (T - T_{in}) (e^{\mu\phi} - 1), \quad (3.27)$$

де T - натяг шару волокон, що виникає при переміщенні била;

$T_{in} = \rho \delta \gamma_r^2$ - сила інерції шару волокон, які знаходяться на билі;

μ - коефіцієнт тертя;

ρ - щільність матеріалу;

γ_r^2 - швидкість елемента у відносному русі;

ϕ - кут обхвату шаром кромки.

При дослідженні процесу тріпання встановлено, що сили натягу шару пропорційні його масі і квадрату швидкості руху планок била. Сила інерції також пропорційна квадрату швидкості. Відповідно, всі сили, що діють на ділянку шару, які знаходяться на кромці планки била, пропорційні квадрату її швидкості. Встановлено, що на величину сили натягу має значний вплив кут обхвату і коефіцієнт тертя.

Проведений аналіз показує, що на такому обладнанні можна переробляти різноманітні за властивостями і структурою матеріали разом, при-

чому для кожного з них зберігаються основні їх властивості. Так, при переробці неволокнистих матеріалів отримуємо мілкодисперсний порошок, а для волокнистих матеріалів це обладнання дозволяє отримувати максимально можливу довжину волокон. Початкові вимоги і рекомендації, розроблені для обладнання, неможливо використати при проектуванні голкофрезових подрібнювачів, їх можна використовувати тільки на стадії аналізу при розробці основних залежностей, що описують роботу голкофрезового обладнання.

Усе вище викладене стало основою для розробки методики розрахунку нового голкофрезового обладнання для подрібнення волокнистих відходів.

В результаті аналітичного дослідження поведінки матеріалу в зоні подрібнення отримано систему рівнянь, що являє собою математичну модель процесу подрібнення текстильних матеріалів в голкофрезовому подрібнювачі:

$$\begin{aligned}
 A_x &= 36n^2R \cos(6t n) - 36n^2L_e \cos(6t n) + 36n^2 \cos(6t n) \times \\
 &\times \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2} + \frac{72n^2RL \sin^2(6t n)}{\sqrt{L^2 - RL \cos(6t n) + R^2}} + \\
 &+ \frac{36n^2R^2L^2 \sin^2(6t n) \cos(6t n)}{(L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{36n^2RL \cos^2(6t n)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2}}; \\
 A_y &= -36n^2R \sin(6t n) + 36n^2L_e \sin(6t n) - \\
 &- \frac{36n^2R^2L^2 \sin^3(6t n)}{(L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{108n^2RL \sin(6t n) \cos(6t n)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2}} - \\
 &- 36n^2 \sin(6t n) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2}; \\
 F_k &= \frac{\left(\frac{\pi d^2}{4} p(L_k - L_1 R_1) \right) A(\cos \alpha + f \sin \alpha) - T_\mu e^{f\varphi}}{T_\mu}; \\
 T_{IH} &= \left(\frac{\pi n}{30} R \right)^2 p \frac{\pi R_k \varphi'}{180} d; \alpha = \arccos \frac{A_x}{A} - 6tn; \\
 \varphi' &= \arcsin \left(\frac{R \sin(\varphi)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2}} \right); A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}; \\
 L_e &= \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6t n) + R^2} + R_1
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

де A_x, A_y - прискорення на осі X, Y;
 t - час взаємодії голки з волокном;
 L_e - відстань від заземлення до місця зосередження маси вільного кінця голки;
 L_k - відстань від кінця голки до вільного кінця волокна;
 R - радіус голкофрезного робочого барабану;
 R_1 - радіус округлення кромки голки;
 L - відстань від осі голкофрезного барабану до вихідного отвору каналу транспортування подрібнювана;
 n - частота обертання голкофрезного барабану;
 f - коефіцієнт тертя;
 ρ - густина волокна;
 d - діаметр волокна;
 $F_{доп}$ - допустиме значення натягу волокна.

Розв'язок отриманої системи рівнянь можливий тільки при наступних початкових та граничних умовах:

$$0 \leq t \leq \frac{\arcsin\left(\frac{L-R}{L_{вол}} L_{вол} / R\right)}{6n};$$

$$L_1 \leq L_e \leq L_{вол}; \quad 0 < R_k < \frac{d}{2};$$

$$0 \leq \varphi' \leq 90; \quad L - R = D \leq L_1 \leq L_{вол}.$$
(3.29)

Вплив конструктивно-технологічних параметрів голкофрезного робочого органу на процес подрібнення матеріалу можливо охарактеризувати лише одним його параметром - окружною швидкістю обертання поверхні голкофрези. Розрахунок параметрів процесу подрібнення дозволяє визначити раціональні межі зміни окружної швидкості поверхні голкофрези ($V_{ок} - 6...18$ м/с), що забезпечує довжину волокон після подрібнення від 4 до 40 мм.

Аналітичне дослідження впливу процесу подрібнення на процес транспортування матеріалу в каналі дозволяє отримати умову мінімального напірного тиску, що потрібен для забезпечення сталої роботи подрібнювача

$$\sigma_x \geq \frac{\alpha_1 \varepsilon_1}{1 - \alpha_2 \varepsilon_1} \frac{\pi d^2}{4 N_k^2},$$
(3.30)

де N_k - висота каналу на виході.

Обчислювальний експеримент показав, що протидія транспортуванню від голкофрези незначна і становить 0,000479...0,00169 МПа.

В результаті експериментальних досліджень процесу подрібнення доведено, що довжина волокна після подрібнення залежить лише від окружної швидкості поверхні голкофрези. Встановлено, що величина впливу окружної швидкості поверхні голкофрези на питомі енерговитрати не перевищує 4% при зміні окружної швидкості в межах від 10 до 18 м/с, а зміна подачі від 3,6 до 17,6 кг/год приводить до збільшення енерговитрат на 0,8%.

Проведені дослідження дозволили отримати регресійні залежності для визначення довжини волокна для таких волокон:

вовняні волокна

$$L_{\text{вол}'} = 94,7 - 31,04 \ln(V_{\text{ок}}) + 1,6(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2; \quad (3.31)$$

$$L_{\text{вол}''} = 94,7 - 31,04 \ln(V_{\text{ок}}) + 2,7(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2; \quad (3.32)$$

віскозні волокна

$$L_{\text{вол}'} = 48,6 - 16,07 \ln(V_{\text{ок}}) + 1,51(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2; \quad (3.33)$$

$$L_{\text{вол}''} = 51,52 - 16,92 \ln(V_{\text{ок}}) + 0,95(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2; \quad (3.34)$$

лавсанові волокна

$$L_{\text{вол}'} = 153,3 - 49,53 \ln(V_{\text{ок}}) + 3,1(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2; \quad (3.35)$$

$$L_{\text{вол}''} = 161,1 - 52,05 \ln(V_{\text{ок}}) + 2,97(4,9 \ln(V_{\text{ок}}) - 13,04)^2. \quad (3.36)$$

Проведені експериментальні дослідження показали, що аналітичні моделі з достатньою точністю описують процеси подрібнення та транспортування текстильних відходів в голкофрезних подрібнювачах. Розбіжність аналітичних і експериментальних даних не перевищує 15%, це дозволяє використовувати ці моделі для розрахунків конструктивних та технологічних параметрів голкофрезних подрібнювачів.

3.10 Рекомендації по вибору подрібнювального обладнання

Подрібнююче обладнання, в основному, орієнтоване на переробку певних груп матеріалів. Можливість переробки того чи іншого виду відходів залежить від робочого органу. Кожен робочий орган має свої властиво-

сті, які дозволяють ефективно переробляти певні матеріали або групи матеріалів. Це пов'язано з тим, що він дозволяє в повній мірі враховувати властивості матеріалів в конкретних умовах переробки. Виходячи з цього, при виборі обладнання необхідно спочатку визначати тип відходів, що будуть перероблятися, а вже потім визначати відповідний робочий орган і тип обладнання для переробки.

Більшість існуючих матеріалів розділяється за походженням і основними фізико-механічними властивостями. Умовно всі ці матеріали можна розділити на основні групи:

- крихкі матеріали;
- пластичні матеріали;
- волокнисті матеріали;
- натуральні шкіри;
- композити полімеру з волокнистими матеріалами;
- полімерні композити;
- композити з метало кордом;
- деревина;
- зернові матеріали.

Можливості подрібнюючого обладнання для переробки відходів представлені у вигляді таблиці 3.5. Таблиця являє собою шкалу, що характеризує ступінь придатності обладнання для переробки різних матеріалів. Наведена нижче, за результатами досліджень десятибальна (від -5 до 5)* шкала дозволяє робити висновки про ступінь застосування того чи іншого виду подрібнюючого пристрою при переробці певної групи матеріалів.

Таблиця 3.5 – Можливості використання обладнання для переробки певних груп матеріалів

Групи матеріалів Назва подрібнювача	Крихкі матеріали	Пластичні матеріали	Волокнисті матеріали	Натуральні шкіри	Волокнистим и матеріалам и	Полімерні композити	Композити з метало кордом	Деревина	Зернові	Фракція, мм
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пароструйні, газоструйні, протиточні, повітродструйні	+5	0	-5	+3	-5	-5	-5	-5	+3	0,03-5
Кавітаційні колоїдні	-5	-5	+5	+5	-2	-5	-5	0	0	0,2-5
Гідромеханічні	-3	+5	+5	+4	+2	+2	-5	+2	+4	0,1-10
Барабанні гравітаційні оберткові	+5	+2	+2	-5	-5	-3	-5	0	+5	0,1-5

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вібраційні	+5	-5	-5	-5	-5	-2	-5	-5	-5	0,01-5
Ножові - ротор з ножами	-5	+5	0	+5	+5	+5	-5	+5	-5	0,1-10
Ножові - дискові ножі	-5	+5	+2	+5	+5	+5	-5	+3	-5	2-20
Відцентрові	+2	+5	+5	+5	+5	+5	-5	+5	+5	0,1-20
Молоткові	+5	+5	+5	+5	+5	+5	0	+2	+5	0,1-50
Дезінтегратори і дисмембратори	0	+5	+5	+4	+5	+5	+3	+4	-3	0,05-3
Абразивні	+5	+5	+2	+4	+5	+5	+5	+5	+5	0,005-2
Щокові	+5	-3	-5	-5	-5	0	-5	+5	+5	0,01-1
Валкові гладкі	+5	+5	+1	+2	-3	+5	+4	+5	+5	0,1-2
Валкові зубчаті	+5	+5	-5	+4	-3	+5	+5	+5	+5	0,2-5
Валкові з криволінійною поверхнею	+5	+5	-5	+5	-2	+5	+5	+5	+5	0,2-5
Валкові дискові ріжучі	-5	+5	+2	+5	+2	+5	0	+5	-5	3-20
Валкові дискові розривні	-5	+5	+5	-5	-2	-5	-5	-5	-5	5-40
Валкові конусні	+5	+5	+2	+4	-1	+5	+4	+5	+5	0,2-5
Продавлювання	-5	+5	-5	-5	+3	+5	+5	-5	-5	2-10
Бігуни	+5	0	-2	-2	-2	+1	-5	+5	+5	0,1-3
Екструдерні перетирання	-5	+5	-5	-5	-5	+4	-5	-5	-5	3-10
Екструдерні шнекові зубчаті	-5	+3	0	-2	-4	+5	-5	-5	-5	5-15
Екструдерні шнекові з ріжучими елементами	-5	+3	+2	-2	-3	+5	-5	-5	-5	5-15
Кільцеві	+5	+2	-5	-2	-4	+5	-5	+5	+5	1-5
Різання	-5	+5	+5	+5	+5	+5	-5	+5	-5	5-100
Кріогенні	-5	+5	-5	-5	+5	+5	+5	-5	-5	5-25

*-5 - неможливе використання; 0 - нераціональне використання;

5 - найкращий варіант використання.

Контрольні питання

1. Дати характеристику технологічного обладнання для переробки відходів.
2. Дати характеристику подрібнювачів відходів без подрібнюючих тіл.
3. Дати характеристику струйних подрібнювачів відходів.
4. Дати характеристику кавітаційно колоїдних подрібнювачів.
5. Дати характеристику гідромеханічних пристроїв для розмелу волокнистих матеріалів.
6. Дати характеристику подрібнювачів з подрібнюючими тілами.
7. Дати характеристику подрібнювачів з закріпленими подрібнюючими тілами.
8. Дати характеристику методик розрахунку подрібнювачів.

9. Проаналізувати рекомендації по вибору подрібнювального обладнання.

4 ПРОМИСЛОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

4.1 Характеристика процесів поховання ТПВ на полігонах

Прогнози по знешкодженню ТПВ показують, що, незважаючи на досить високі темпи приросту потужностей промислових установок по переробці відходів, кількість ТПВ, складованих на смітниках і полігонах, тим не менш до 2013 р. складе близько 65 %.

Потужність полігонів збільшують в основному за рахунок підвищення питомого навантаження на одиницю їхньої площі, максимально використовуючи ділянки, відведені під складування відходів (збільшуючи ступінь ущільнення ТПВ й висоту їхнього складування). Використання сучасних ковзанок-ущільнювачів типу КМ-305 або «Тана-Юмбо» дозволяє ущільнити ТПВ на полігонах до 0,8 т/м³. При цьому висота складованих ТПВ на ряді закордонних полігонів зростає до 60 м, що в 5...6 разів збільшує їхню місткість.

На вітчизняних і закордонних полігонах з метою охорони атмосферного повітря ущільнений шар ТПВ ізолюють, засипаючи ґрунтом (будівельними або інертними промисловими відходами) товщиною 15...25 см. Верхній ізолюючий шар не допускає виникнення пожеж.

Площадки для розвантаження сміттевозів огорожують сіткою висотою 3...4 м, щоб легкі фракції ТПВ (плівка, папір) не попадали на ділянки земель, що прилягають до полігонів. Зовнішня ізоляція ТПВ й ущільнення їхніми важкими ковзанками до 0,8 т/м³ роблять ТПВ непривабливими для мух і гризунів.

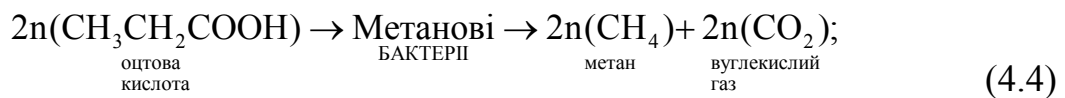
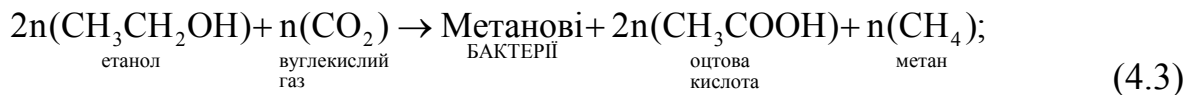
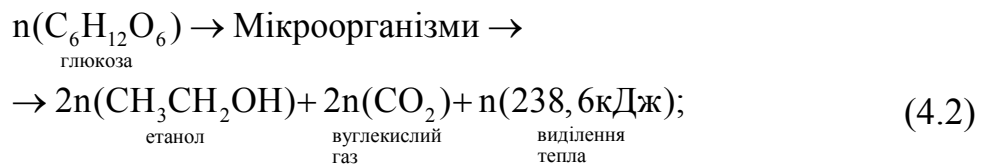
На полігонах (смітниках), де відходи зсипають бульдозером безпосередньо «під укіс», з утворенням зовнішнього укусу, закладенням $m=2$ без наступного пошарового ущільнення ТПВ можливе утворення тріщин з оголенням глибоких шарів відходів. Ці явища виключаються при ущільненні відходів більш ніж в 3 рази й пристрої зовнішніх укусів із закладенням не менш $m=4$. На ділянках з яскраво вираженим рельєфом (круті схили, яри) відходи складують за похилою схемою. У цьому випадку найбільшу увагу приділяють забезпеченню стійкості маси складованих відходів.

Зливі й поталі води з вищерозміщених масивів земель перехоплюються нагорним каналом і приділяються за межі полігона. Передбачають також спеціальні інженерні рішення по збільшенню зчеплення складованого матеріалу із природною підставою.

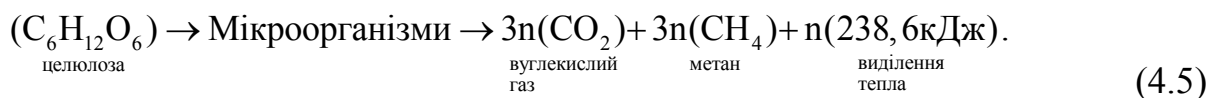
Стосовно порід, що вміщують, і навколишнім ґрунтам смітник є техногенною геохімічною аномалією. У сміттевому ґрунті накопичуються мікроелементи (срібло, вольфрам, молібден, нікель, мідь, свинець і деякі інші елементи).

Таблиця 4.1 – Усереднені характеристики вод смітників, що просочуються (фільтрат) і полігонів поховання промислових і побутових відходів

Показник	Число об'єктів	Середньоарифметичне значення	Діапазон значень
Об'єм фільтрату, що просочується за рік, м ³ /га	21	3200	0,1...18636
pH	35	7,6	5,9...11,6
ХПК, мгО ₂ /л	35	2320	50...35000
БПК ₅ , мгО ₂ /л	26	795	41...15000
Електропровідність, мкСм/см	37	12200	2110...183000
Хлориди, мг/л	34	1678	36...125300
Сульфати, мг/л	32	1266	18...14968
Аміак, мг/л	33	236	5...6036
Нітрити, мг/л	25	0,1	0,02...131
Нітрати, мг/л	25	7,7	0,1...14775
Азот загальний, мг/л	14	104	1...2892
Фосфор загальний, мг/л	15	2,9	0,03...52
Фториди, мг/л	11	6	0,1...50
Ціаніди, мг/л	16	0,2	0,007...15
Легковідривні ціаніди, мг/л	15	0,03	0,0008...1
Миш'як, мкг/л	21	34	2...240
Свинець, мкг/л	23	68	4,3...650
Кадмій, мкг/л	26	11,5	0,2...2000
Мідь, мкг/л	25	58	1,3...8000
Нікель, мкг/л	23	388	14,2...30000
Ртуть, мкг/л	25	2	0,17...50
Цинк, мкг/л	27	510	20...27242
Хром загальний, мг/л	23	0,2	0,009...300
Залізо, мг/л	21	34	0,38...2700
Фенол, мг/л	22	5,2	0,01...350
Вуглеводні, мг/л	16	1,1	0,1...424
Галогеновмісні органічні сполуки, мкг/л	12	6600	44...292000
Дихлорметан, мкг/л	5	2700	150...36500
Трихлорметан, мкг/л	6	130	1...710
Тетрахлорметан, мкг/л	3	–	0,6...30
1, 2-дихлоретан, мкг/л	4	215	4...290
1,1,1-трихлоретан, мкг/л	2	–	0,4...1000
1,1,2-трихлоретан, мкг/л	2	–	0,4...1000
1,1,1,2-тетрахлоретан, мкг/л	3	–	0,01...775
Трихлоретилен, мкг/л	3	–	0,01...775
Перхлоретилен, мкг/л	3	–	1...7430



Сумарну біохімічну реакцію розкладання целюлози можна представити в такому виді:



Як видно із сумарної біохімічної реакції, що протікає в анаеробних умовах, 50 % вуглецю целюлози окислюється до вуглекислого газу, а 50 % – відновлюється до метану, виділяючи 238,6 кДж на 1 моль глюкози. При цьому етиловий спирт перетворюється в оцтову кислоту й вуглекислий газ, а оцтова кислота – у вуглекислий газ і метан головним чином під впливом життєдіяльності відповідних бактерій. Внаслідок цього розкладання целюлози в анаеробних умовах протікає порівняно повільно. Тому при похованні відходів на смітниках і полігонах відзначаються висока концентрація метану або біогазу й осідання, що не припиняється, анаеробної зони ґрунту смітника.

Згідно даним таблиці 4.2, біогаз, що утвориться в товщі смітника, містить компоненти, шкідливі для здоров'я людини. При максимальному вмісті їх у біогазі, що значно перевищує ГДК, в атмосферному повітрі: метан – в 8500 разів, нонан – в 4, циклогексан – в 8, пропан – в 3, етан – в 10, бутан – в 7, бензол – в 4, метилбензол – в 1025, ксилол – в 35, кумол – в 2285, хлороформ – в 66, хлоретан – в 1320, дихлоретан – в 98, тетрахлоретан – в 2367, сірководень – в 25 тис. разів. Крім того, присутні в біогазі аміак і сірководень, оксид вуглецю й гексан, циклогексан і бензол, етилен, пропилен можуть діяти одночасно.

Таблиця 4.2 – Можливий склад біогазу смітників і полігонів поховання відходів виробництва й споживання

Хімічна група:	Сполука	Сумарна хімічна формула	Вміст у біогазі, мг/м ³	ГДК _{м.р.} , мг/м ³	ГДК _{м.р.} , мг/м ³	Клас небезпеки
Алкани	Метан	CH ₄	44...66	100	25	4
	Етан	C ₂ H ₆	0,8...48,0	100	25	4
	Пропан	C ₃ H ₈	1,4...13,0	100	25	4
	Бутан	C ₄ H ₁₀	0,03...23,0	200	–	4
	Пентан (n-пентан)	C ₅ H ₁₂	0...12	100	25	4
	Гексан (n-гексан)	C ₆ H ₁₄	3...18	60	–	4
	Гептан (n-гептан)	C ₇ H ₁₆	3...8	100	25	4
	Октан	C ₈ H ₁₈	0,05...75,0	100	25	4
	Нонан (n-нонан)	C ₉ H ₂₀	0,05...400,0	100	25	4
	Декан (ізодекан, n-декан)	C ₁₀ H ₂₂	0,2...137,0	100	25	4
	Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	7...48	–	–	–
	Додекан	C ₁₂ H ₂₆	2...4	1	–	4
	Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	0,2... 1,0	1	–	4
	2-метилпентан	C ₆ H ₁₄	0,02...1,5	–	–	–
	3-метилпентан	C ₆ H ₁₄	0,02...1,5	–	–	–
	2-метилгексан	C ₆ H ₁₆	0,04...16,0	–	–	–
	3-метилгексан	C ₆ H ₂₀	0,04...13,0	–	–	–
	2-метилгептан	C ₈ H ₁₈	0,05...2,50	–	–	–
	3-метилгептан	C ₈ H ₁₈	0,05...2,50	–	–	–
Циклоалкани	Циклогексан	C ₆ H ₁₂	0,03...11,0	1,40	1,4	4
Алкени	Етен (етилен)	C ₂ H ₄	0,7...31,0	3	3	3
	Пропен (пропилен)	C ₃ H ₆	0,04...10,0	3	3	3
	Бутен (бутелен)	C ₄ H ₈	1...1	3	3	4
Циклоалкени	Циклогексен	C ₆ H ₁₀	–	–	–	
Ароматичні вуглеводні	Бензол	C ₆ H ₆	0,03...7,0	1,50	0,10	2
	Метилбензол (толуол)	C ₇ H ₈	0,2...615,0	0,60	0,60	3
	Етиленбензол	C ₈ H ₁₀	0,5...236,0	0,02	0,02	3
	Диметилбензол (оксилон)	C ₈ H ₁₀	0,2...7,0	0,20	0,20	3
	Ізопропілбензол (кумом)	C ₉ H ₁₀	0...32	0,014	0,014	4
	Метилбензол	C ₉ H ₁₂	10...25	–	–	–
Галогеновані вуглеводні	Дихлорметан (фреон-30)	CH ₂ Cl ₂	0...6	8,80	–	4

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
	Трихлорметан (хлороформ, фреон-20)	CHCl_3	0...2	–	0,03	2
	Тетрахлорметан (чотирихлористий вуглець)	CCl_4	0...0,6	4	0,70	2
	Хлоретан	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	0...264	–	0,20	4
	Дихлоретан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	0...294	3	1	2
	Трихлоретан Трихлоретан (метилхлороформ)	C_2HCl_3 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	0...182 0,5...4,0	– 2	– 0,20	– 4
	Тетрахлоретан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	0,1...142,0	0,60	–	4
	Трихлоретилен	C_2HCl_3	0...0,10	4	1	3
	Хлордифторметан	CClF_2	5...10	–	–	–
	Хлордифторметан	CClF_3	0...10	–	–	–
	Дихлордифторметан (фреон-12)	CCl_2F_2	4...119	100	10	4
	Трихлорфтор-метан (фреон-11)	CCl_3F	1...84	100	10	4
	Хлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	0...0,20	0,10	0,10	3
Сумарний вміст хлору		Cl_2	25...40	0,10	0,03	2
Неорганічні речовини	Оксид вуглецю	CO	0...0,3%	3,0	3,0	4
	Аміак	NH_3	0...0,1%	0,20	0,04	4
	Сірководень	H_2S	200	0,008	–	2

У процесі емісії з товщі смітника на біогаз витісняє повітря, що є присутнім у верхніх шарах відходів і в ґрунті. У результаті цього в більшості рослин, що ростуть на поверхні смітника, особливо культурних, затримується ріст і вони можуть навіть загинути через зниження кількості кисню в коренаселеному шарі.

Біогаз, проникаючи в підвали, шахти, колодязі витісняє повітря, створюючи небезпеку вибуху. Неодноразово відзначалися вибухи на смітниках, причиною яких був метан, що втримується в біогазі (Росія, ФРН) [27-30].

Підземні води на ділянках розміщення смітників забруднюються в результаті зниження їхнього окислювально-відновного потенціалу за рахунок проникнення в підземні горизонти разом з фільтратом неокислених органічних речовин. Останні, споживаючи кисень підземних вод на своє окислювання й різні хімічні трансформації, формують околонеїтральні безкисневі безсульфідні води.

Речовини, що забруднюють підземні води, характеризуються присутністю в них неорганічних компонентів, у концентраціях, що перевищують ГДК і відносяться до різних класів небезпеки. Крім того, у підземних водах у високих концентраціях присутні неокислені органічні речовини всіх класів небезпеки. Наприклад, у результаті міграції забруднюючих речовин відбувається забруднення гірських порід основи смітника й ґрунтових вод. Поверхневі води, що стікають зі смітника, також несуть забруднюючі речовини й при русі їх по прилягаючих територіях забруднюють ґрунт, а потрапляючи у відкриті водні об'єкти, погіршують якість води й сприяють нагромадженню забруднюючих речовин у донних відкладеннях.

Інтенсивність накопичення забруднюючих речовин у різних середовищах неоднакова й змінюються так: гірські породи – ґрунт – донні відкладення. Накопичення забруднюючих речовин у цих середовищах тісно взаємозалежне й збільшується згодом. Характеризується воно сумарним показником забруднення:

$$Z_c = C_1 / C_{\phi 1} + \dots + C_n / C_{\phi n}, \quad (4.6)$$

де C_1, \dots, C_n – концентрація присутніх забруднюючих елементів;
 $C_{\phi 1}, \dots, C_{\phi n}$ – концентрація фонових елементів.

На ступінь забруднення навколишнього середовища впливають концентрація забруднюючих речовин і тривалість експлуатації смітника. Найбільше негативно на навколишнє середовище впливає смітник після 3.. 4 років від початку експлуатації й у перші 15...20 років після його закриття (табл. 4.3).

Крім того, у результаті поховання ТПВ на смітниках безповоротно губиться величезна маса цінних речовин і компонентів, що втримуються в них, у тому числі солей азоту, фосфору, калію й кальцію, що є основою органічних і мінеральних добрив.

4.2 Порівняльний аналіз термічних методів переробки ТПВ

Тверді побутові відходи являють собою гетерогенну суміш, у якій присутні майже всі хімічні елементи у вигляді різних сполук. Найпоширенішими елементами є вуглець, частка якого досягає близько 30% (по масі) і водень (4% по масі), що входять до складу органічних сполук. Теплотворна здатність відходів багато в чому визначається саме цими елементами. У промислово розвинених європейських регіонах теплотворна здатність ТПВ становить $(7955 \dots 10045) \cdot 10^3$ Дж/кг, а в ряді випадків досягає $13816 \cdot 10^3$ Дж/кг, і прогнозується подальший ріст теплотворної здатності відходів, що впливає на конструктивні особливості елементів термічного устаткування.

Таблиця 4.3 – Етапи впливу смітників на навколишнє середовище

Етап	Стан смітника	Часовий інтервал	Забруднення підземних вод		Забруднення донних відкладів, землі і гірських порід, ГДК	Вплив біогазу на атмосферу
			Ореол	Рівень		
1	Період експлуатації	Перші роки до 3-х років	Початок формування	Менше ГДК	Менше 1 30 100	Початковий
2		Після 3-4 р.	Продовження формування	Більше ГДК	10...n*10 30...n*100 10...n*1000	Інтенсивний
3	Після закриття	Через 15-20 р. після закриття	Деяке скорочення	Теж саме	n*10 n*100	Теж саме
4		Більше 15-20 р. після закриття	Поступове скорочення	Не більше ГДК	n*1000	Потенціально зберігається

*n = 1, 2, ..., n.

Спалювання ТПВ, як правило, є окисним процесом. Тому у камері спалювання переважають окисні реакції. Головними продуктами згоряння вуглецю і водню є відповідно CO_2 і H_2O . При неповному згорянні утворюються небажані продукти: CO ; низькомолекулярні органічні сполуки; поліциклічні ароматичні вуглеводні; сажа та ін. Аналогічні сполуки можуть бути продуктами реакцій, що відбуваються в зоні більш холодних елементів устаткування (наприклад, на виході з печі, на станції газоочищення і т.п.). При спалюванні необхідно враховувати, що в ТПВ присутні потенційно небезпечні елементи, що характеризуються високою токсичністю і летючістю. Наприклад, сполуки галогенів (фтору, хлору, броду), азоту, сірки, важких металів (міді, цинку, свинцю, кадмію, олова, ртуті).

У табл. 4.4 приведено порівняльний вміст у ТПВ і земній корі ряду небезпечних елементів [5]. З таблиці видно, що вміст у ТПВ галогенів, сірки і важких металів на 1...2 порядки вище, ніж у земній корі.

В умовах спалювання ТПВ галогени переважно перебувають у формі їхніх сполук із воднем (HCl , HBr , HF), що є найбільш стійкими продуктами згоряння. Сірка переважно (до 70%) переходить у нелетучі сульфати, що попадають у шлаки, і в летучий діоксид сірки SO_2 . Всі летучі продукти реакцій попадають у димові гази. У неочищених димових газах зразкові концентрації викидів, мг/м^3 , становлять: HCl – 300... 1000; HBr – 100...500; HF – 2...10; SO_2 – 100...500. Сухі ТПВ містять близько 1 % азоту (по масі), основним продуктом окислювання якого є монооксид азоту NO . Його концентрація в неочищеному газі складає 200...400 мг/м^3 .

Таблиця 4.4 – Вміст небезпечних елементів у ТПВ і земній корі

Небезпечний елемент	Вміст, г/т	
	у ТПВ	у земній корі
Хлор	5000...8000	150
Бром	30...200	2,4
Сірка	1000...3000	500
Мідь	200...1000	60
Цинк	600...2000	70
Свинець	400...1000	14
Ртуть	0,5...5	0,1
Кадмій	5...15	0,15

У ТПВ присутні важкі метали (залізо, хром, нікель), які не утворюють летких продуктів при спалюванні і в основному переходять в шлаки. З летких металів свинець і кадмій утворюють хлориди, що викидаються із димовими газами. При охолодженні димових газів до 200°C вони конденсуються і уловлюються разом із золою на стадії газоочищення. У той же час один з найбільш токсичних металів - ртуть, і її сполуки залишаються головним чином у газовій фазі і при більш низьких температурах [18, 28].

За останнє десятиліття вміст у ТПВ важких металів різко підвищився за рахунок відпрацьованих сухих гальванічних елементів, акумуляторів, ламп накаливання, люмінісцентних ламп, синтетичних матеріалів (барвників, стабілізаторів), металевих покриттів, шкіри та ін. Наприклад у Німеччині в одній тонні ТПВ в середньому міститься 300 г сухих батарей, в результаті чого в містах з населенням 0,5 млн. чоловік накопичується щорічно близько 50 т брухту сухих батарей. Вміст ртуті в цьому брухті коливається в межах 1...25%, а в брухті нікель-кадмієвих акумуляторів міститься близько 15% кадмію. Загальний зміст кадмію в ТПВ Німеччини становить 10...15 мг/кг. Основними джерелами кадмію є синтетичні матеріали і батарейки. При спалюванні ТПВ 90% кадмію попадає в димові газу і осаджується в основному на дрібних (менш 2 мкм) частках летучої золи. Тому при газоочищенні необхідно забезпечити максимально повне вловлювання леткої золи, що характеризується високим вмістом не тільки кадмію, але і свинцю та інших металів. За даними практики, концентрація металів у газах, які викидаються при спалюванні ТПВ в 10...100 разів перевищує концентрацію металів у газах, що викидаються енергетичними установками, які працюють на кам'яному вугіллі, тобто *важкі метали є специфічними викидами сміттєспалювальних заводів*.

У процесі спалювання ТПВ, особливо за умов недопалу утворюються досить токсичні сполуки - поліхлордибензодіоксини і поліхлордибензофурану, структурні формули яких наведені на рис. 4.1.

Існує два принципових механізми утворення діоксинів і фуранів:

- з вуглецю в процесі його окислювання при надлишку кисню в присутності сполук хлору і сполук міді як каталізаторів (у реакції практично беруть участь вуглецеві частки легкої золи, хлориди, джерелом яких можуть бути хлорвмісні пластмаси типу ПВХ, і сполуки міді);

- із сполук, які вже мають схожу структуру, наприклад із хлорбензолів і хлорфенолів (вміст, наприклад, гексахлорбензолу у ТПВ незначний - 0,0005 г/т, але іноді може досягати 0,014 г/т).

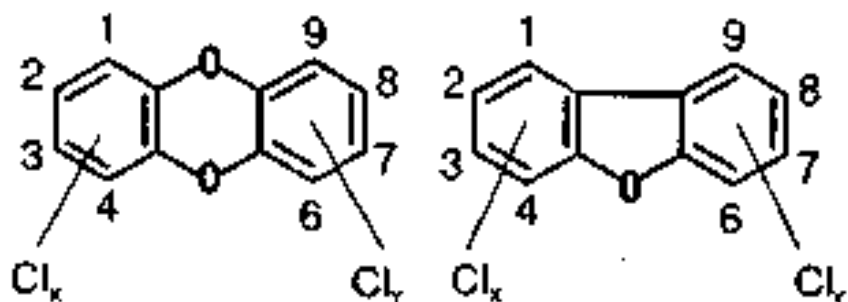


Рисунок 4.1 – Структурні формули токсичних сполук

Можна відзначити два основних шляхи утворення діоксинів і фуранів при термічній переробці ТПВ:

- первинне утворення в процесі спалювання ТПВ при температурі 300...600°C;

- вторинне утворення на стадії охолодження димових газів, що містять HCl, сполуки міді (заліза) і вуглецеві частки при температурі 250...450°C (реакція гетерогенного оксихлорування часток вуглецю).

Температура початку розпаду діоксинів 700°C, нижня температурна межа утворення діоксинів 250...350°C.

Для того щоб при спалюванні на стадії газоочищення забезпечити зниження змісту діоксинів і фуранів до необхідних норм (0,1 нг/м³), повинні бути реалізовані так звані первинні заходи, зокрема «правило двох секунд», – геометрія печі повинна забезпечити тривалість перебування газів не менш 2 с у зоні печі з температурою не менш 850°C (при концентрації кисню не менш 6%).

Досягнення при спалюванні максимально високих температур і створення яких-небудь додаткових зон допалювання не вирішує повністю проблему зниження концентрації діоксинів у газах, що викидаються, тому що не враховує здатності діоксинів до нового синтезу при зниженні температури. Високі температури призводять до збільшення виходу летких компонентів і росту викидів токсичних металів.

Теоретично можливі два способи придушення утворення діоксинів:

- зв'язування утвореного HCl при спалюванні ТПВ за допомогою соди, або гідрооксиду калію;

- переведення у неактивну форму іонів міді і заліза, наприклад зв'язування міді в комплекси за допомогою амінів.

На закінчення приведемо ряд положень щодо переробки ТПВ.

1. У промисловій практиці в даний час застосовують два методи термічної переробки ТПВ, які базуються на примусовому перемішуванні і переміщенні матеріалу:

- пошарове спалювання на колосникових ґратах при температурі 900...1000°C;
- спалювання в киплячому шарі при температурі 850...950°C (цей режим спалювання є екологічно і технологічно обґрунтованим).

На переважній більшості заводів у різних країнах світу використовується традиційна технологія пошарового спалювання з використанням пересувних ґрат.

Спалювання в киплячому шарі, яка вимагає обов'язкової підготовки відходів, використовується у Японії, на окремих заводах в США, Норвегії та Іспанії. Зараз проектується і будуються заводи в Україні, Італії, Німеччині.

Основними перевагами сучасних методів термічної переробки є:

- зниження об'єму відходів в 10 разів;
- ефективне знешкодження відходів;
- супутнє використання енергетичного потенціалу органічних відходів.

Ефективність термічної переробки ТПВ визначається технологією процесу, складом відходів і ступенем їхньої підготовки до спалювання.

За інших рівних умов велике значення має кількість і розподіл використовуваного повітря, що залежить від площі живого перетину колосникових ґрат. Найбільш ефективну аерацію, забезпечують топкові пристрої німецької фірми Steinmuller із площею живого перетину ґрат 1,5...2,5%. Для порівняння слід зазначити, що площа живого перетину ґрат німецької фірми Martin - 1,2...1,7%, а швейцарської фірми Von Roll - 1,5%. Топкові пристрої фірми Steinmuller поряд з аналогічними пристроями німецької фірми Noell найбільш пристосовані для спалювання відходів змінного складу зі змінною теплотворною здатністю, при цьому стабілізація складу сировини, що спалюється, у всіх випадках поліпшує термічний процес. За рахунок оригінальності конструктивних рішень, техніко-експлуатаційні характеристики топкових пристроїв фірми Steinmuller переважають аналогічні зразки інших провідних фірм. Перевага конструкції полягає у її простоті; високій надійності в роботі; легкості обслуговування і ремонту; щодо низьких експлуатаційних витратах; малому пиловиносу; малому виході недопалу. Не випадково більше третини всіх замовлень на будівництво нових заводів у Німеччині одержала саме фірма Steinmuller. Германія як країна з найбільш жорсткими природоохоронним законодавством може слугувати своєрідним еталоном для оцінки застосування природоохоронних технологій. Фірма Steinmuller виготовляє не тільки топкову техніку, але і котельне обладнання. Вона частково розміщує замовлення на виготовлен-

ня свого устаткування на українських підприємствах з метою зниження його вартості.

2. *Основні недоліки традиційних процесів спалювання ТПВ, що використовуються у світовій практиці:*

- великий об'єм газів, що викидаються (4500...6000 м³/т відходів, що спалюються,);

- утворення значної кількості шлаків (25% від початкової маси);

- утворення токсичної леткої золи (вихід 3...5% по масі). Для зниження кількості газів, що викидаються, і одночасно для поліпшення їхнього складу, а також для скорочення витрат на газоочищення, роботи ведуться у двох напрямках:

- скорочення за допомогою сортування кількості відходів, що направляються на термічну переробку, і оптимізація їх складу на основі гомогенізації, підвищення і стабілізації теплотворної здатності, зниження вмісту шкідливих і баластових компонентів та ін.;

- удосконалювання властивостей термічного процесу і устаткування, а саме оптимізація подачі атмосферного повітря, а також удосконалення конструкції топкових пристроїв, використання збагаченого киснем дуття і розробка нових термічних процесів і устаткування.

3. *З нових розробок в області пошарового спалювання найбільш перспективний є процес пароповітряної газифікації при температурі 1200°C.*

Переваги даної технології включають:

- простота устаткування для реалізації технології;

- піроліз і газифікація відходів здійснюються в одному апараті, причому не потрібно пристроїв для перемішування і переміщення матеріалу;

- високий тепловий КПД реактора газифікації;

- екологічні переваги завдяки малому золуносу;

- низька температура синтез-газу на виході з реактора і, як наслідок, відсутність в ньому летких металів;

- низька ймовірність утворення дибензодіоксинів і дибензофуранів у навколишньому середовищі;

- можливість реалізації спрощеного газоочищення у порівнянні із традиційним пошаровим спалюванням.

4. *На стадії дослідно-експериментальної апробації і технічних пропозицій перебувають високотемпературні процеси термічної переробки ТПВ, які реалізуються при температурах вище температури плавлення шлаків (1300°C), що в свою чергу дозволяє отримати в скляній формі екологічно нешкідливі шлаки і у деяких випадках знизити об'єм газів, які викидаються.*

Для високотемпературної термічної переробки ТПВ в Україні запропоновано використовувати металургійні процеси: процес Ванюкова; фьюмінг-процес; процес «Піроксел»; доменний процес. У закордонній практиці вивчаються комбіновані технології: піроліз-спалювання (процес Siemens);

піроліз-газифікація-спалювання (процеси Noell і Thermoselekt). У металургійному процесі Ванюкова, процесах Noell і Thermoselekt використовується збагачене киснем дуття, що забезпечує зниження обсягу газів, що відходять, і дає можливість спростити газоочищення. Жоден з високотемпературних методів поки не знайшов промислового застосування.

Як показує аналіз, використання металургійного устаткування, призначеного для плавки мінеральної сировини, для процесів термічної переробки ТПВ, що містять 60...70% органічних фракцій, неможливий, оскільки він недостатньо відпрацьований і не дає певних технологічних і екологічних переваг. Виключення представляє процес електроплавлення, що вже знаходить практичне застосування, але не для спалювання всієї маси вихідних ТПВ, а для переплавлення шлаків пошарового спалювання з метою їх знешкодження.

Що стосується комбінованих термічних технологій, розроблювальних у європейських країнах, то можливість їх широкого практичного застосування залежить від чисто практичних критеріїв, оскільки ніяких істотних екологічних і економічних переваг такі технології в порівнянні з добре відпрацьованими традиційними термічними процесами не мають.

Всі технології, розроблені в західних країнах і пов'язані із газифікацією відходів, поступаються вітчизняним розробкам у даній галузі.

5. Основна тенденція розвитку сміттєспалювання полягає у переході від прямого спалювання ТПВ до оптимізованого спалюванню виділеної із ТПВ горючої (паливної) фракції, та у переході спалювання як процесу ліквідації ТПВ до спалювання як процесу, що забезпечує одночасне знешкодження відходів та генерування теплової і електричної енергії.

Великі сміттєспалювальні заводи є також досить великими виробниками теплової і електричної енергії. Однак дороге газоочищення погіршує економічні показники таких підприємств. У зв'язку із цим підвищується роль прямого відновлення матеріалів, що потрапляють у відходи шляхом: збагаченням відходів, реалізацією первинних заходів, що полегшують газоочищення; зменшенням потоку відходів, що направляються на спалювання за рахунок селективного збору і сортування; стабілізацією складу відходів; виділенням перед спалюванням корисних і небезпечних компонентів та ін.

Сучасні промислові термічні процеси екологічно безпечні за умови спалювання підготовлених на основі селективного збору або механізованого сортування ТПВ та при використанні сучасних технологій газоочищення.

6. При виборі технологій і устаткування для переробки ТПВ необхідно враховувати розходження в складі і властивостях ТПВ в Україні і в інших країнах. Як показує досвід експлуатації побудованих на території СНД і укомплектованих імпортом устаткуванням сміттєспалювальних заводів, пряме перенесення європейського устаткування в умови СНД не є

оптимальним рішенням тому, що в Україні практично відсутній роздільний збір ТПВ, а також далекі від досконалості технології збору і транспортування відходів, що в остаточному підсумку приводить до високого вмісту в ТПВ вологи, негорючих і небезпечних в екологічному відношенні компонентів.

4.3 Спалювання спеціально підготовлених ТПВ

За прогнозами фахівців пошарове або камерне спалювання спеціально підготовлених відходів у топках котлів або цементних печей у найближче десятиліття набуде широкого застосування.

У США й Великобританії з 70-х років проводяться роботи з переробки відходів у гранульоване паливо «Refuse Derind Full» (RDF), що тривалий час можна зберігати й транспортувати на відносно більші відстані й при спалюванні якого негативний вплив на навколишнє середовище значно менший. Однак теплотехнічні властивості палива, одержуваного цими країнами, – різні. Так, у США за рахунок високих капіталовкладень прагнуть одержати високоякісне паливо, а у Великобританії створюють прості дешеві способи одержання RDF середньої якості. У США економічні установки продуктивністю 1000 т/добу і вище перероблюваних відходів, а у Великобританії – до 200... 300 т/добу [26-30].

Технологічний процес одержання RDF на першому етапі підготовки відходів складається із двох операцій: дроблення відходів із наступною сепарацією чорних металів. Якщо обмежуватися тільки цими двома операціями, то одержуваний у цьому випадку RDF буде містити значний відсоток баластових фракцій і мати низьку якість.

Однак при виготовленні RDF не обмежуються тільки здрібнюванням і сепарацією, а використовують додаткові машини, механізми й агрегати, що дозволяють збагачувати, гранулювати й брикетувати паливо з відходів. Природно, що в міру ускладнення процесу одержання RDF зростають капіталовкладення й експлуатаційні витрати, але отримане таким способом паливо має значно кращу якість. Принципова схема виробництва гранульованого палива показана на рисунку 4.2 [23-28].

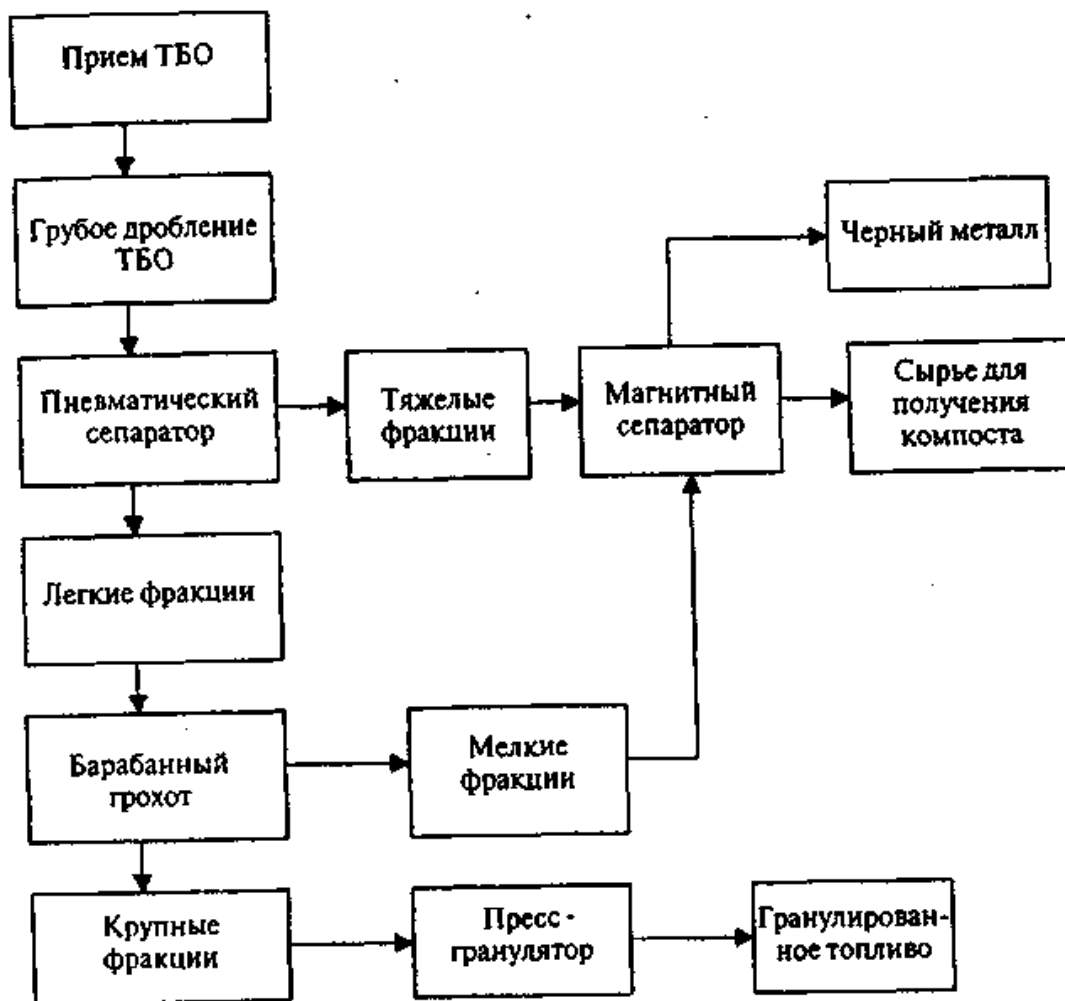


Рисунок 4.2 – Структурна схема технології виробництва компосту

Спосіб одержання RDF вибирають залежно від виду відходів, їх складу, а також наступного способу використання отриманого палива.

RDF можна використовувати в якості основного або додаткового палива. При використанні в якості додаткового палива в камеру згоряння можна подавати разом з основним (вугіллям, торфом або ін.)

Подрібнена RDF, яка пройшла повітряну сепарацію по виду нагадує м'яке конфетті. Багато котельних установок потребують лише невеликої модернізації для роботи на RDF, тому що вони обладнані пристроями для видалення шлаків і летучої золи. При проектуванні котлоагрегатів спільного спалювання природного палива й RDF необхідно враховувати властивості палива: теплоту згоряння, елементний склад, включаючи N, S, F, Cl, склад золи й шлаків, а також температуру їх плавлення. Теплота згоряння RDF коливається від 5300 до 17 700 кДж/кг.

Розглядаючи даний метод термічного знешкодження ТПВ, варто мати на увазі, що спалювання в першу чергу спрямовано на охорону навколишнього середовища, запобігаючи його забрудненню відходами.

4.4 Піролиз ТПВ

Як показує практика переробки ТПВ на ССЗ, найбільш перспективний спосіб знешкодження ТПВ у два етапи: аеробне біотермічне компостування органічної частини ТПВ (біотермічний метод) з одержанням компосту – цінного органічного добрива, або біопалива; піролиз некомпостованої частини побутових відходів (НПВ), що включає гуму, шкіру, пластмаси, дерево і т.д.

Під піролізом розуміють процес термічного розкладання відходів без доступу кисню, в результаті якого утворюються піролізний газ і твердий вуглецевий залишок. Кількість і склад продуктів піролізу залежить від складу відходів і температури розкладання.

Піролиз НПВ сприяє створенню безвідхідних і маловідхідних технологій і раціональному використанню природних ресурсів.

Піролізні установки в залежності від температурного режиму процесу поділяють на:

- низькотемпературні (450...500 °С), що характеризуються мінімальним виходом газу, максимальним кількістю смол, масел і твердих залишків;
- середньотемпературні (до 800 °С), що характеризуються збільшеним виходом газу зі зменшеною кількістю смол і масел;
- високотемпературні (понад 800 °С), що характеризуються максимальним виходом газів і мінімальною кількістю смолоподібних продуктів.

Процес піролізу НПВ складається: з піролізу НПВ в печі із зовнішнім обігрівом; допалювання піролізних газів; утилізації тепла газів, що викидаються, у котлі-утилізаторі з одержанням пари; очищення димових газів від пилу й хімічних домішок у пінному абсорбері; сушіння абсорбційних розчинів у розпилюючій сушарці; охолодження пірокарбона в барабані-холодильнику; сепарації чорного й кольорового металу з пірокарбона; сепарації каменів з пірокарбона; здрібнювання пірокарбона в конусній інерційній дробарці; фасовка пірокарбона в мішки і складування.

Основний вузол піролізної установки – реактор, що представляє собою шахтну піч із вбудованою швельшахтою і системою евакуації газів, що запобігає змішування піролізних і димових газів (рис. 4.3).

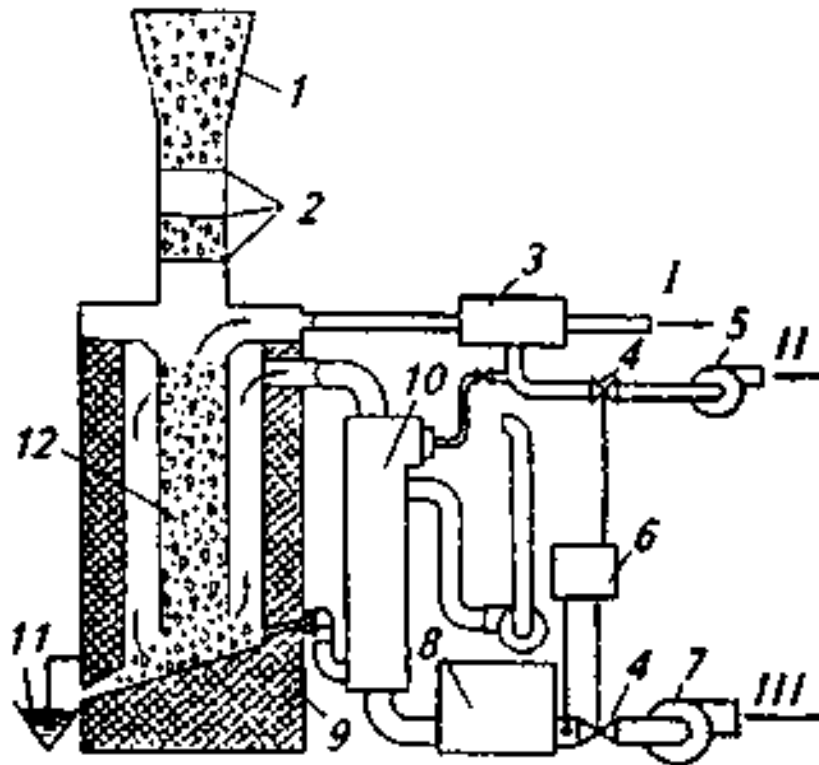


Рисунок 4.3 – Схема установки високотемпературного піролізу:

1 - прийомна лійка; 2 – затвори; 3 – конденсатор рідких продуктів; 4 - дросельні заслінки; 5 - вентилятор; 6-газоаналізатор; 7 -димосмок; 8– система газоочистки; 9– сопло подачі підігрітого повітря; 10 – повітропідігрівник; 11 – водяна ванна; 12– швельшахта; I, II і III – напрямки руху відповідно конденсату, охолодженого повітря і газів, що викидаються.

Із сортувального відділення НПВ по системі конвеєрних транспортерів попадають у прийомний бункер піролізної установки, що забезпечує дводобовий запас зберігання відходів для безперебійної її роботи. Із бункеру відходи забирають грейферним ковшем, змонтованим на піднімальному крані вантажопідйомністю 5 т. Кран подає відходи в проміжний бункер, дном якого служить пластинчастий живильник шириною 1,2 м і довжиною 4 м, призначений для завантаження відходів у верхню частину реактора, обладнану трьома затворами шибєрного типу.

У печі піролізноїустановки при температурі 500...550 °С без доступу повітря відбувається термічна деструкція (піроліз) НПВ. У результаті утвориться парогазова суміш, що містить летучі речовини, пари смоли й твердий вуглець, що містить продукт– пірокарбон.

Для використання тепла горіння вуглеводнів і переведення ряду хімічних речовин (меркаптан, сірководень, ціановодень і т.д.) у нешкідливі елементи передбачається їх допалювання у спеціальній камері при температурі 100 °С у потоці газів, які відходять від піролізних печей.

Камера допалювання має пальник, через яку подають природний газ або мазут і повітря для горіння, а для зниження температури димових газів, що утворюються – повітря.

Камера допалювання обладнана сорочкою, у яку надходить повітря, що прохолоджує стінки камери, у результаті чого температура газів на виході з камери допалювання знижується до 800 °С. Повітря на горіння і розбавлення подають дуючими вентиляторами.

Димові гази з камери допалювання направляються в рукав печі піролізу, де тепло димових газів використовується для обігріву печі. Із рукава печі піролізу димові гази температурою 600.. 700 °С направляються для утилізації тепла в котел-утилізатор. В останньому в результаті зниження температури димових газів до 300...350°С одержують пару, що надалі використовуються для потреб теплопостачання виробництва. Потім димові гази температурою 300...350 °С надходять на розпилювач для сушіння абсорбційних розчинів, використаних в абсорберах, а звідти з температурою 120 °С – на абсорбцію і після очищення викидаються в атмосферу.

Отриманий у печі пірокарбон з температурою 450...500 °С надходить у холодильний барабан, де охолоджується до 40...50 °С, і по стрічковому конвеєрі подається на розмел, попередньо пройшовши електромагнітний сепаратор для витягу залишків чорного металу, і потім надходить на полігональне сито.

Проходячи через полігональне сито, пірокарбон звільняється від великих каменів, які вивозять на смітник, і подається на млин, де подрібнюється до фракції 0,5 мм і менше. Після здрібнювання пірокарбон знову подають на сепарацію для витягу кольорових металів, які накопичують у контейнерах, а пірокарбон направляють на розфасовку й потім на склад готового продукту.

Вступаючи на установку відходи НПВ більш ніж на 90 % складаються з органічних речовин, в основній масі яких співвідношення вуглець: водень: кисень приблизно відповідає їхньому співвідношенню в целюлозі.

Целюлоза – високомолекулярний полісахарид, емпірична формула якого $(C_6H_{10}O_5)_n$. Клітковина – головна складова частина органічної частини відходів, наприклад папір майже на 100 % складається із целюлози; бавовняні й текстильні вироби – більш ніж на 90; деревина – приблизно на 50 % із целюлози.

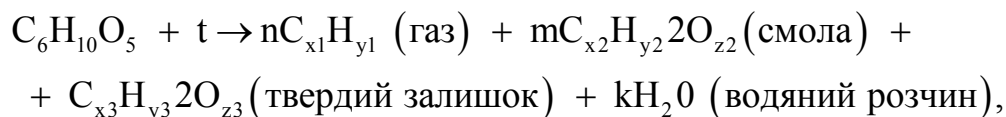
При термічній обробці целюлози (при відсутності доступу кисню) вона розкладається, утворюючи велику кількість різних продуктів.

Розкладання целюлози – це екзотермічний процес, що залежить від інтенсивності нагрівання вихідної сировини. При швидкому підйомі температури утвориться велика кількість парогазової суміші й температура у середині апарата підвищується.

Повільне нагрівання супроводжується рівномірним виділенням продуктів реакції, при цьому тепло екзотермічного процесу віддаляється з па-

рогазовою сумішшю, не роблячи істотного впливу на температурний режим усередині апарата.

З огляду на той факт, що органічна частина твердих промислових відходів більш ніж наполовину складається із клітковини, процес термічного розкладання органічних складових відходів може бути представлений у такий спосіб:



де n , m , k – кількість газу, смоли й водяного розчину відповідно.

Співвідношення кількостей одержуваних газоподібних, рідких і твердих продуктів, а також їхню сполуку залежать від умов піролізу й сполук вихідного продукту.

Присутні в НПВ шкіра, пластмаса, гума й інші продукти розкладаються, утворюючи летучі речовини, які крім CO_2 і H_2O , Cl , F , SO_2 містять вуглеводні (оліфени, парафіни й т.д.). Піролізні гази піддаються подальшому окислюванню в камері допалювання при температурі $1100^\circ C$, перетворюючись у менш небезпечні речовини. Тепло димових газів використовується для проведення процесу піролізу НПВ, що зменшує кількість палива, використовуваного з боку.

До шкідливим складової НПВ відносять: сірку, основним джерелом якої є гума; хлор, що виділяється при спалюванні полімерних матеріалів; оксиди азоту; сполуки фтору й т.д.

Для захисту навколишнього атмосферного повітря від забруднень димові гази необхідно ретельно очищати як від золи, так і від хімічних речовин. Найбільш високі вимоги очищення димових газів пред'являють заводам, розташованим поблизу жилою забудови.

Як реагент для очищення димових газів застосовують вапняне молоко, вибір якого залежить від наявних у димових газах хімічних домішок (NO_x , SO_2 , Cl , F , CO_2) і необхідності видалення хімічних забруднювачів (слабко- або важкорозчинні солі) димових газів, що у випадку відсутності споживача дозволяє безпечно зберігати їх у відвалах. Використовуючи вапняне молоко, досягають досить високого ступеня очищення димових газів і забезпечують доступність нейтралізуючого реагенту й простоту користування ним.

Система, що включає розпилюючу сушарку й абсорбер, розрахована на очищення газів, що викидаються, від двох одночасно працюючих печей піролізу. При цьому якість газів, що викидаються, характеризується наступними показниками: пил – 30 мг/м^3 ; SO_2 – 50; NO_x – 100; Cl – 10; F – 2 мг/м^3 .

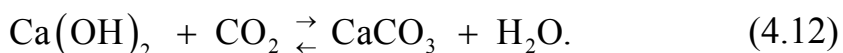
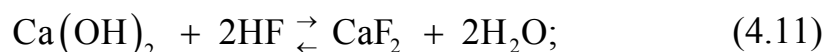
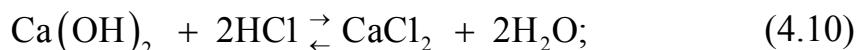
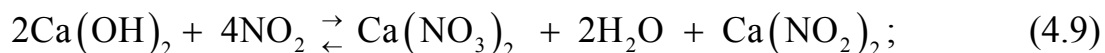
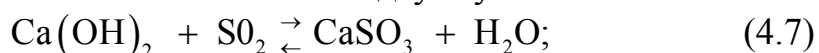
Абсорбція пилу й хімічних домішок з топкових газів, що викидаються, відбувається в пінному абсорбері. Як зрошуваний розчин використовують вапняне молоко. У результаті нейтралізації кислих окислів (SO_2 , NO_x , Cl , F) утворюються кальцієві солі відповідних кислот, розчин яких направляють у розпилюючу сушарку, де утворюється сухий шлам – суміш солей і золи.

Шлам збирають у контейнери й направляють у відвал для зберігання або відправляють споживачеві.

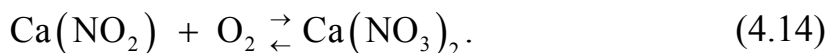
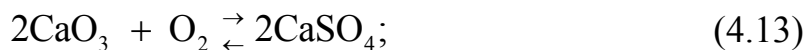
Кількість забруднюючих речовин, що виділяються при піролізі, становить приблизно половину від об'ємів, що виділяються при спалюванні таких же, ТПВ на ССЗ.

Очищення газів, що викидаються, при піролізі полягає в наступному. З печі піролізу димові гази проходять котел-утилізатор, направляються в розпилюючу сушарку й далі в абсорбер. Після очищення газів в абсорбері суспензією вапняного молока вони викидаються в атмосферу, а відпрацьована суспензія направляється в розпилюючу сушарку. Основні параметри технологічного режиму піролізу ТПВ представлені в таблиці 4.5.

Процес абсорбції кислих газів для даного методу очищення складається з декількох етапів: розчинення газів у воді, взаємодія їх з гідроксидом кальцію через утворення кислих солей. У підсумку можна записати:



Одночасно відбувається окислювання сульфатів і нітритів також з утворенням кислих солей:



Однак процес окислювання сульфатів і особливо нітритів досить повільний і у відповідні сульфати й нітрати у звичайних умовах абсорбції їх переходить не більше 3...20 %.

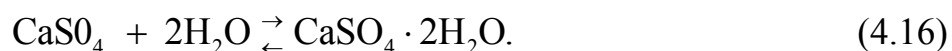
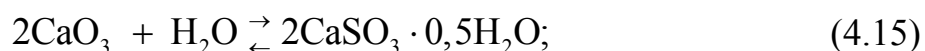
Таблиця 4.5 – Основні параметри технологічного режиму піролізу ТПВ

Піроліз НПВ, °С	750...800
-----------------	-----------

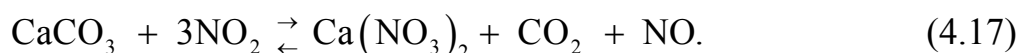
Температура димових газів на виході, °С: із рубашки печі	600...700
після котла-утилізатора	300...350
після розпилюючої сушарки	115...120
після абсорбера	67...70
Температура піролізного газу на вході в камеру допалювання, °С	500...525
Температура відходів на вході, °С	0...25
Температура продукту, °С: на виході з печі піролізу	450...500
з холодильного барабана	45...50
Тиск у печі піролізу, Па	10...20
Розрядження, Па: у камері допалювання	10...30
після котла-утилізатора	140...160
після розпилюючої сушарки	260...280
після абсорбера	660...680
Абсорбер, тип	Пінний
Суміш газів після очищення, мг/м ³ :	
зола	30
SO ₂	50
NO _x	100
Cl	10...15
F	1...2
Нейтралізуючий реагент	Вапняне молоко
Масова частка залишку розміром 0,5 мм	10

Карбонат кальцію, що утворився взаємодіє з більш кислими газами й у відпрацьованій суспензії поступово накопичується не більше 0,5...10 % загальної маси осаду.

У процесі абсорбції відбувається одночасно гідратація солей:



При висушуванні згущеної суспензії в розпилюючій сушарці при 150°C буде здійснюватися дегідратація солей до $\text{CaO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, CaO_3 і $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ або їхнє перетворення, наприклад:



Сульфiт кальцію при цьому може частково розпадатися до оксиду кальцію й дiоксида сiрки.

Гiдросульфiд кальцію, присутнiй у суспензiї, звичайно швидко окислюється або переходить у кислi солi.

Слiд зазначити, що гiдросульфат кальцію є вiдновником i частково вiдновлює навiть оксид азоту до азоту:



Нiтриди кальцію в рiдкiй фазi окислюються не дуже активно, але, з огляду на те, що їх подають у розпилюючу сушарку, можна вважати, що близько 95 % нiтридiв окислюється за реакцiєю, вираженою формулою (4.10), до нiтратiв.

Отже, вiдпрацьована вапняна суспензiя буде мiстити в основному сульфiт кальцію з домiшкою 20...40 % сульфатiв, з огляду на додаткове окислювання сульфiтiв у сушiннi, нiтрати, фториди i хлориди [25-29].

Одержуваний при пiролiзi НПВ пiрокарбон має наступнi фiзико-хiмiчнi властивостi: щiльнiсть – 2...2,5 г/см³; питома поверхня – 2200 см²/г; насипна щiльнiсть – 0,6...0,7т/м³; гранулометрична сполука (d > 0,5 мм – 10 %, d < 0,5 мм – 90 %). Далi наведений хiмiчний склад пiрокарбона (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Хiмiчний склад пiрокарбона

Органiчна частина, %		Мiнеральна частина, %	
C	84...89	H ₂ O i леткi	35...39
H	3...5	SiO ₂	33...37
S	0,7...0,9	Al ₂ O ₃	5...8
NO ₂	7...10	Fe ₂ O ₃	3...4
		CaO	7...8,5
		MgO	1,3...2,5
		SO ₃	0,5...1,5
		Иншi	5...8

Теплофiзичнi властивостi пiрокарбона: теплота згорання – 12000...13000 кДж/кг; теплопровiднiсть – 0,106 Вт (м · °C); температуропровiднiсть – 11,1 °C · 10⁻⁸ м²/с

4.5 Природоохороннi заходи на ССЗ

Всi термiчнi методи переробки й утилізації вiдходiв крiм iхнього знешкодження спрямованi на одержання енергiї, а також твердого, рiдкого або газоподiбного палива при iх пiролiзi.

Термічні методи переробки й утилізації ТПВ розділяють на три способи:

- шарове спалювання непідготовлених відходів у сміттєспалювальних установках;
- шарове й камерне спалювання спеціально підготовлених відходів у вигляді гранульованого палива (звільненого від баластових складових і маючого постійний фракційний склад) у топленнях енергетичних котлів або цементних печей;
- піроліз відходів, що пройшли попередню підготовку або без неї.

Вибору технології знешкодження й переробки ТПВ методом спалювання передують детальне техніко-економічне обґрунтування схеми збуту одержуваної теплової енергії, тому що будівництво сміттєспалювального заводу (ССЗ) вимагає більших капіталовкладень. Слід зазначити, що будівництво сучасних ТЕЦ (котельень) рівноцінної потужності (по виробленій енергії) в 8...10 разів дешевше.

Оптимальна схема збуту вироблюваної енергії – на потреби централізованого теплопостачання. У цьому випадку пар, вироблюваний ССЗ, можна використовувати для підігріву мережної води в спеціальному додатковому підігрівнику, установленому після основних підігрівників. У теплу пору року пара від ССЗ частково витісняє пара теплофікаційних відборів, а в холодну пору року, коли навантаження районів перевищує потужність теплофікаційних відборів, заповнює частина пікового навантаження. Можливо також паралельне (по воді) включення теплових магістралей ТЕЦ і ССЗ, коли підігрівники компонуєть на ССЗ. У цьому випадку температурні графіки ТЕЦ і заводу збігаються. По інших схемах підігрівник ССЗ включений послідовно з основними й піковими підігрівниками ТЕЦ, що застосовно в умовах, коли ССЗ розташований поблизу транзитної магістралі ТЕЦ. Найбільш проста схема включення теплових мереж ССЗ – установка підігрівника послідовно на зворотній лінії тепломережі ТЕЦ [23-29]

У всіх схемах споживачі опалення приєднані по залежній схемі. При незалежному приєднанні опалювального навантаження або наявності контрольно-розподільного пункту паралельна робота джерел теплопостачання, у тому числі ССЗ, спрощується. Ще одна умова підвищення ступеня використання одержуваного при сміттєспалюванні тепла (у тих випадках, коли поблизу немає мереж ТЕЦ) – комбіноване вироблення теплової й електричної енергії. Однак при такому рішенні утилізації теплової енергії необхідно зважати на додаткові капітальні витрати й експлуатаційні витрати на машинний зал, електричні мережі, розподільні пристрої й т.д. Крім того, при цьому котели ССЗ повинні забезпечувати пару з високотемпературними параметрами, що може призвести до інтенсивної корозії основного встаткування.

Одним з рішень цієї проблеми є створення турбогенераторів, що працюють на низькотемпературній парі, тим більше що подібні агрегати необхідні й для інших нетрадиційних джерел енергії (геотермальної, сонячної й т.п.).

ССЗ проектують і будують як відособлені підприємства, оснащені всім необхідним устаткуванням (хімводопідготовкою, деаераційною установкою, необхідними підігрівниками, живильними насосами й т.п.). На ССЗ передбачають також склади, службово-побутові приміщення й т.д.

Для зниження капітальних витрат раціонально сполучати на одній площадці сміттєспалювальну й промислово-опалювальну котельні. Тому доцільно проектувати комбіновані котельні, що мають як котлоагрегати, що спалюють енергетичне паливо, так і котлоагрегати, у топках яких спалюють ТПВ.

Таким чином, ТПВ можна розглядати як нетрадиційні види палива.

Санітарно-гігієнічні вимоги до чистоти атмосферного повітря постійно підвищуються. Разом з тим, як підтверджує закордонна практика, установки по спалюванню ТПВ можуть служити джерелом забруднення повітряного середовища зваженими частками золи і сажі, а також шкідливими газоподібними домішками. Тому при їх проектуванні особливу увагу приділяють удосконалюванню засобів по зниженню викидів шкідливих домішок. Фізико-хімічні властивості газів, що відходять, при спалюванні ТПВ залежать від морфологічної й фракційної сполук, теплоти згорання відходів і т.д.

Ці показники істотно змінюються залежно від кліматичних умов, району й сезону року. Вологість ТПВ коливається в межах 52...58 % залежно від сезону року, а вміст вологи в димових газах міняється в межах 95... 119 г/м³.

Існує три види викидів зі сміттєспалювальних установок: гази, що виходять із димаря; стічні води; летуча зола й шлаки.

Найбільш шкідливими викидами сміттєспалювальних установок вважають гази, що відходять, і летучу золу. Оскільки основною шкідливою складовою димових газів є зважені частки, що втримуються в них, і отруйні речовини, то їхню концентрацію й приймають як головний показник санітарно-гігієнічного аспекту роботи таких споруд.

У більшості країн, що широко застосовують спалювання як метод знешкодження побутових відходів, діють або розробляються законопроекти, що обмежують викид спалюючими установками в атмосферу шкідливих речовин.

Найбільш жорсткі норми, що обмежують викид твердих газоподібних речовин, введені в Німеччині – концентрація золи в димових газах спалюючих установок не повинна перевищувати 100мг/м³ (при СО₂ –7%).

Зола, що утвориться при спалюванні ТПВ, складається в основному із двох компонентів: мінералів і незгорілих часток органічних сполук.

Вміст недопалків у відсотках визначається конструктивними особливостями топкового пристрою, а також технологічними умовами процесу горіння. Зазвичай, вміст недопалків не перевищує 2 %, а при несприятливих умовах може досягти 15 %.

Концентрація золи в димових газах сміттєспалювальних установок становить приблизно 2...5 г/м³ сухі гази. При збільшенні вмісту паперу у відходах, що піддаються спалюванню, спостерігається більш висока концентрація золи в газах, що відходять. Вміст у відходах різних твердих компонентів приводить до різкого зниження концентрації золи (до 0,5 г/м³).

Від дисперсних сполук золи залежить не тільки робота газоочистного обладнання, але й вибір засобів очищення димових газів. Розмір часток золи впливає на швидкість осадження, площу питомої поверхні, їх змочуваність і т.д. Розподіл зважених часток золи в залежності від розміру часток наступний, %: менше 5 мкм – 9...22; 5...10 мкм – 10...16; 10...20 мкм – 13...15; 20...30 мкм – 6...14; більше 30 мкм – 31...54. Значні коливання процентного вмісту часток у кожній фракції пояснюються мінливістю сполук ТПВ.

При виборі газоочистних пристроїв варто враховувати, що найважче всього вловлюються частки розміром менше 5 мкм, маса яких може досягати 22...25 % загальної маси твердих домішок, що втримуються в очищених газах.

Вибір газоочистних пристроїв залежить від об'єму газів, що очищаються, їх запиленості, бажаного ступеня очищення (КПД уловлювання), фізичних параметрів газового потоку (швидкості, температури, вологості, агресивності), фізико-хімічних властивостей зважених часток (дисперсності, злипання, абразивності й т.д.).

Вибирають і оцінюють роботу газоочистного встаткування в першу чергу по ступені очищення газів, що йдуть, і тільки в другу – по її вартості.

Існує багато різноманітного газоочистного встаткування.

До групи *сухих гравітаційних і інерційних золоуловлювачів* відносять: пилоосадові камери, жалюзійні золоуловлювачі, циклони, групові мультициклони, відцентровий золоуловлювач, а до групи *мокрих золоуловлювачів* – газопромивачі, у яких очищений газ, що, пропускають через завісу розпирюється водою, що; мокрі апарати ударно-інерційного типу, що працюють за принципом інерційного осадження часток під час подолання газом перешкоди, змоченого рідиною, або при різкій зміні напрямку руху газового потоку над поверхнею рідини.

Пористі золоуловлювачі, зокрема тканинні й наповнені пористими матеріалами, не одержали широкого поширення, тому що при відносно високій температурі газів, що йдуть, і високої вологості пори швидко заби-

ваються твердими частками, що приводить до більших трудових витрат по їхньому очищенню або до частоті заміни їх.

До групи *електростатичних фільтрів* відносять велика кількість апаратів, що відрізняються друг від друга тільки конструкцією коронуючих і осаджувальних електродів і потенціалом напруги електричного поля, числом камер осадження часток, від яких залежать КПД уловлювання й сепарації найбільше важкоосаджувальних часток розміром менше 5 мкм.

На великих сучасних установках по спалюванню ТПВ для вловлювання твердих часток, що втримуються в димових газах, застосовують електростатичні фільтрати, що дозволяє вловлювати (до 99,8 %) частки практично будь-яких розмірів. Схеми електростатичних фільтрів покотелі на рисунку 4.4.

Багатоступінчаста система очищення газів покотела на рисунку 4.5.

При виборі встаткування для повного очищення димових газів необхідно враховувати всі газоподібні забруднювачі.

У зв'язку з постійним збільшенням у складі відходів частки синтетичних матеріалів у майбутньому ймовірно різке перевищення ГДК шкідливих газоподібних речовин у димових газах сміттєспалювальних установок (хлористого й фтористого водню, поліциклічних ароматичних вуглеводнів).

Забруднюючі речовини повітря утворюються в результаті неповного згоряння частини відходів і з нових продуктів у процесі їхнього горіння. Продукти неповного згоряння включають оксиди вуглецю, аміни, органічні кислоти, поліциклічні ароматичні сполуки й т.д.

Окремі викиди можуть містити важкі метали, які при спалюванні не руйнуються, і на їхню структуру не впливає неповне згоряння горючих речовин.

Кінцевими продуктами згоряння в більшості випадків є діоксид вуглецю й водяники пари. Інші продукти утворюються в менших кількостях. Хлористий водень і невелика кількість хлору утворюються в сміттєспалювальних установках у процесі хлорування вуглеводнів, фтористий водень – з органічних фторидів, бромистий водень – з органічних бромідів, оксиди сірки, головним чином діоксид сірки, – з наявної у відходах і додатковому паливі сірки, п'ятиокись фосфору – з фосфороорганічних сполук, оксид азоту – при горінні на повітрі зі сполук азоту, що перебувають у матеріалах відходів [26-29].

Ці викиди часто підрозділяють на дві категорії: перша включає оксиди азоту, сполуки й оксиди сірки; друга – важкі метали, сполуки хлору: поліхлордибензодіоксини й поліхлордибензофурані, пари кислот.

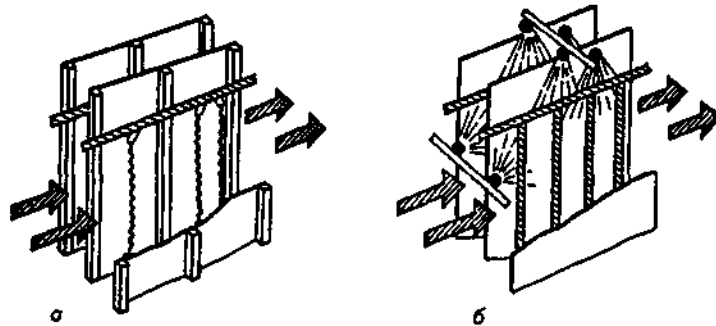


Рисунок 4.4 – Електрофільтри з плоскими електродами:
a – сухий; *б* – вологий

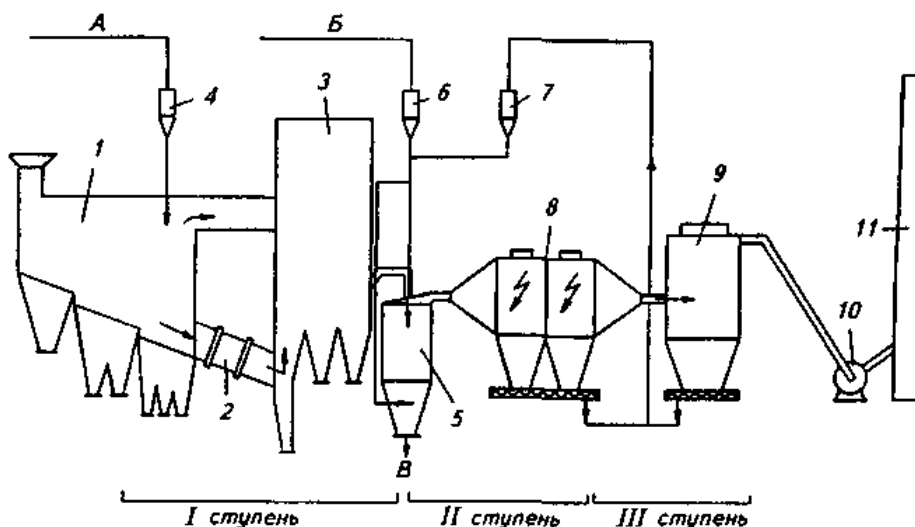


Рисунок 4.5 – Багатоступінчаста система очищення газів
 сміттєспалювальних печей:

1 – сміттєспалювальна піч; 2– обертова піч допалювання; 3 – котел-утилізатор; 4– вузол подачі вапна «пиленка» у зону горіння відходів; 5– сухий реактор; 6 – ємність для свіжого вапна; 7 – ємність для оборотного вапна; 8– електрофільтр; 9– рукавний фільтр; 10– димосмок; 11 – димар; А і Б – відповідно вапно «пиленка» і вапно «пушонка» зі складу; В – на поховання

Забруднюючі речовини, що відносяться до другої категорії, найбільш токсичні й небезпечні навіть у малих кількостях у порівнянні із забруднювачами, що відносяться до першої категорії.

Важкі метали присутні в багатьох компонентах відходів. Вони не впливають на процес горіння й адсорбуються на шлаку або виділяються у вигляді домішок на летучій золі або вихлопних газах. Типові метали включають свинець, кадмій, миш'як, ртуть, нікель, ванадій і цинк. Кількість викидів залежить від змісту металів, конструкції сміттєспалювальної печі й технологічних умов.

Навіть при невеликих концентраціях певні важкі метали можуть завдавати шкоди здоров'ю людей через високу токсичність.

Поліхлоровані дибензодіоксиди (ПХДД) і дибензофурані (ПХДФ) були відкриті недавно як складові компоненти викидів сміттєспалювальних установок. Діоксини – одні з найбільш токсичних сполук. Фурані – це група елементів, родинних діоксидам, які мають подібні токсичні властивості.

Вперше викиди діоксинів були виявлені на установці спалювання твердих відходів у м. Хамптоні, штат Вірджинія (США), що поставило під сумнів безпеку сміттєспалювальних установок. ПХДД і ПХДФ утворюються і розпадаються в зоні палаючого шару на решітці або над палаючим шаром у так званій радіаційній частині котла. Для захисту навколишнього повітря від забруднень димові гази очищають. Особливо високі вимоги до очищення газів на ССЗ, розташованих в житловій забудові. При проектуванні газоочистних установок необхідно знати фізико-хімічні властивості летучої золи, склад димових газів, питомий електричний опір пилу та інші параметри. У процесі дослідження викиду ССЗ встановлено, що концентрація золи в димових газах ССЗ залежить від способу спалювання, типу колосникової решітки, форми топкового пристрою та інших факторів. На практиці запиленість димових газів становить 2...15 г/м³, але при проектуванні золоуловлюючих апаратів беруть середні значення 5...10 г/м³.

На існуючих ССЗ у якості золоочисних пристроїв застосовують електростатичні й тканинні фільтри, що забезпечують досить високу (до 99% і більше) ступінь очищення димових газів від пилу, але не вирішують проблему очищення від діоксинів, фуранів і важких металів. Електростатичні фільтри дозволяють максимально автоматизувати процеси пиловловлення й тим самим скоротити витрати на обслуговуючий персонал.

Як відзначено вище, димові гази, що утворюються при спалюванні ТПВ, містять у собі наступні шкідливі речовини: пил (летуча зола), важкі метали, оксиди сірки (SO₂), оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (С), хлористий водень (HCl), фтористий водень (HF), діоксини й фурані.

Принцип очищення димових газів в абсорбері базується на нейтралізації кислих газів (SO₂, HCl, HF) вапняним молоком, що розпорошується турбіною, і адсорбції важких металів.

Реактор складається із трубопроводу, що підводить димові гази, системи розподільних решіток; дифузора, обладнаного напрямними пластинами для створення обертового руху димовим газом, форсункою й турбіною, призначеними для розпилення вапняного молока; трубопроводу, що відводить димові гази з реактора до рукавного фільтра, системи шнекового золовидалення [27-29].

З реактора димові гази надходять в імпульсно-струминний рукавний фільтр, у якому вловлюють летучу золу, пил і продукти газоочистки, що утворюються в реакторі при контакті димових газів з вапняним молоком. Пил шарами осідає на рукавному фільтрі, виконаному з тефлонових воло-

кон очищаючи тим самим димові гази. Зола й пил з-під бункерів фільтра віддаляються системою шнекових і ланцюгових транспортерів.

Щоб уникнути налипання шкідливих відкладень на робочі поверхні необхідно передбачати обігрів бункерів збору продуктів газоочистки реакторів і рукавних фільтрів, приміщень шнекових і ланцюгових конвеєрів для підтримки в них температури вище точки роси.

Для відділення з димових газів діоксинов, фуранів і важких металів передбачена установка для подачі активованого вугілля в трубопровід, що з'єднує сміттєспалювальний котел з реактором. Крім того, передбачена система нейтралізації, яка базується на методі високотемпературної некаталітичної очистки димових газів від окислів азоту продуктами термічного розкладання карбаміду, що забезпечує зниження їхньої концентрації з 200 до 50 мг/м³.

Принципова схема газоочистки наведена на рисунку 4.6, а ефективність роботи системи газоочистки димових газів з додатковою нейтралізацією оксидів азоту – у таблиці 4.7.

Очищені димові гази викидаються в атмосферу через газоходи загального димаря.

При спалюванні на ССЗ ТПВ без попереднього їхнього сортування утворюється шлаків на 20 % і золи на 3 % більше в порівнянні зі спалюванням попередньо відсортованих відходів.

Зі шлаків, що утворилися виробляють будівельні матеріали (шлакоблоки), що дозволяє їх утилізувати до 80 %, а 20 % використовувати як інертний матеріал, що направляється на полігони поховання ТПВ для санітарної пошарової ізоляції відходів.

Золу, одержувану при очищенні димових газів дезактивують і нейтралізують кислотою і доводять до затвердіння цементом з пуццолановим реактивом, після чого відправляють на полігони поховання промислових відходів.

Для роботи ССЗ необхідно постачати теплову і електричну енергією, а також додаткове енергетичне паливо, що повинно бути передбачене ще на стадії проектування й будівництва. При цьому максимальна потужність джерел енергії визначається по максимальній потребі заводу під час майбутньої експлуатації з урахуванням наступного розширення. Для збору стічних вод необхідно приєднати завод до мереж водостоку й каналізації.

Потреба ССЗ у воді (з використанням котлоагрегатів) визначається втратами конденсату з парою (1...7 %) залежно від паропродуктивності котлів. Втрати мережної води приймають 1...2 % витрати теплових мереж на добу [28].

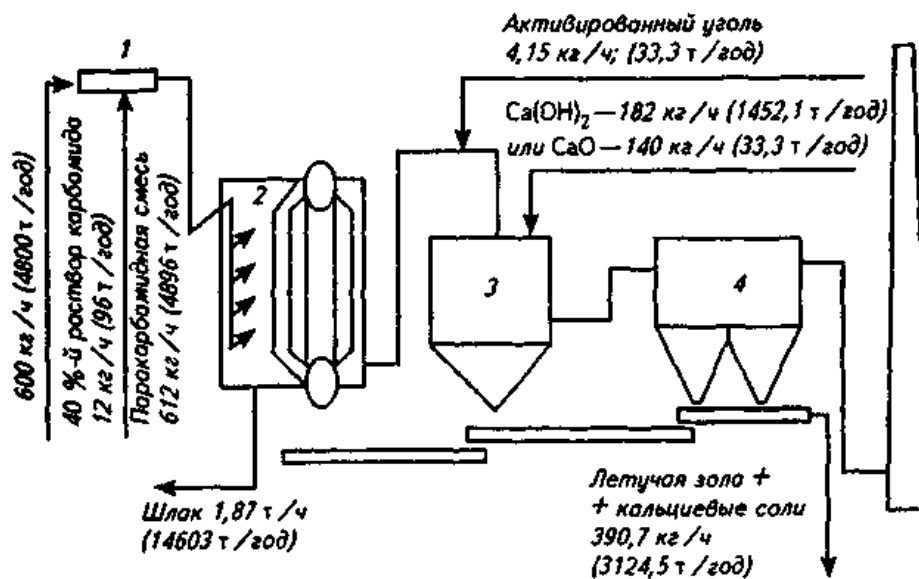


Рисунок 4.6 – Принципова схема газоочистки: 1 – випарник; 2 – котел; 3 – реактор; 4 – рукавний фільтр

Таблиця 4.7 – Концентрація, мг/м³, шкідливих речовин у димових газах.

Шкідлива речовина	На виході з топки котла	На виході з котла після розпилення парокарбамідної суміші	Після реактора	Після рукавного фільтра
Летуча зола	5000	5000	10000	10
Оксид вуглецю З	50	50	50	50
Окисли сірки SO ₃	250	250	75	50
Окисли азоту NO _x	200	50	50	50
Хлористий водень HCl	1000	1000	25	10
Фтористий водень HF	15	15	1	1
Діоксини + фурани		5	0,5	0,1
Важкі метали: Pb + Hg				0,05
Cd + TL				0,05
As + Pb + Cr + Co + Cu + +Mn + Ni + V + Sn				0,5
Zn				0,5
Загальний зміст вуглецю	–	–	–	10,0

Витрата води на господарські потреби складуть близько 0,2 м³ на 1 т відходів, що спалюються; на охолодження шлаків – 0,3...2 м³ на 1 т відходів, що спалюються, залежно від конструкції шлаковловлювача. При експлуатації ССЗ повинна бути передбачена система оборотного водопостачання.

Потреба в електричній енергії для ССЗ становить 20...45 кВт год на 1 т відходів при середній потребі 35 кВт год на 1 т (по відходам) і залежить від встановленої потужності ССЗ, застосовуваних допоміжних пристроїв (наприклад, для дроблення великогабаритних відходів, обробки використовуваних шлаків і т.д.).

Для розпалювання ССЗ використовують газ або рідке паливо, які необхідні також для підтримки достатньої для горіння температури, якщо теплота згоряння відходів нижче 5040 кДж/кг. В окремих випадках енергетичне паливо використовують для регулювання необхідної продуктивності пари котлів.

Площа території, що відводиться під ССЗ, визначають із розрахунку 20...50 м² при роботі в три зміни й продуктивності 1 т/добу.

Оптимальні умови будівництва заводів по спалюванню ТПВ з утилізацією теплової енергії: наявність гарантованих споживачів електричної або теплової енергії в комплексі з підстраховуючою ТЕЦ або котельнею, наявність шлаковідвалу або споживача шлаків в якості вторинної сировини не далі 10 км від заводу і чисельності населення, що обслуговується, не менше 350 тис. чол.

У світі працюють більше 1000 сміттєспалювальних заводів. Переваги цього методу: скорочення до 10 разів об'єму відходів, стерилізація матеріалу ($T=1000^{\circ}\text{C}$), можлива рекуперація одержуваного тепла. Недоліки: шкідливі викиди в атмосферу, знищення коштовних компонентів, погана якість виділеного зі шлаків обгорілого металобрухту, досить високий (30 % по масі) вихід шлаків, складність і висока вартість імпорту устаткування, дефіцит запчастин, збитковість (високі експлуатаційні витрати). Головний недолік ССЗ – це виділення в атмосферу шкідливих і токсичних речовин. Особливу небезпеку представляє діоксини, що утворюються при згорянні пластмас і хімікатів, що втримуються в ТПВ. Діоксин настільки шкідливий, що ГДК цієї отрути для дорослої людини не повинна перевищувати однієї мільярдної частки міліграма на 1 кг, що приблизно дорівнює масі бактерії. Для дітей надходження цієї отрути з молоком матері або їжею взагалі неприпустимо. Процес аналітичного визначення діоксину в газах, що викидаються, трудомісткий і дуже дорогий. Діоксини досить стійкі: період їхнього напіврозпаду – 25 років.

Вміст у димових газах важких металів наведено в таблиці 4.8.

Крім того, у золі й шлаках ССЗ виявлені високі концентрації токсичних металів і навіть радіоактивних елементів. Джерелом цих забруднень є батареї, акумулятори, люмінесцентні лампи, фарби й інші матеріали, що є присутнім у смітті. важкі метали, що втримуються в димових газах (свинець, цинк, кадмій, ртуть) перебувають у водорозчинній формі й становлять екологічну небезпеку, тому що змиваються дощем у землю й проникають у ґрунтові води, з якими надходять потім у зони водозабору питної води.

Таблиця 4.8 – Вміст важких металів у ТПВ і димових газах

Метал	ТПВ, мг/кг	Димові гази, % від вмісту в ТПВ
Ртуть	2...4	95
Кадмій	1...10	75...90
Миш'як	0.2...4	75
Цинк	1000...2000	27...40
Свинець	400...1200	30...35
Нікель	15...85	10
Мідь	400...600	10
Хром	50...250	10

Всі застосовувані способи очищення газів, що викидаються, відрізняються високою вартістю, конструктивною складністю, потребують застосування матеріалів стійких до корозії.

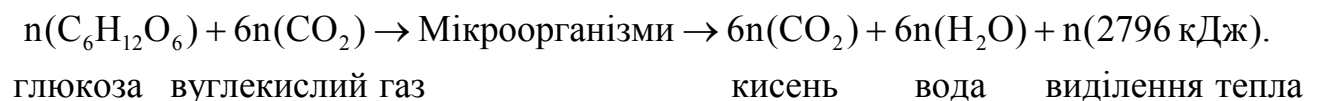
Однак, відсутні системи, що вловлюють діоксин, ртуть. Тому у світовій практиці намітилася тенденція відмови від спалювання ТПВ. Так, закриті заводи у Фінляндії, Японії, США. Проти таких заводів виступає громадськість ФРН.

З 12 заводів, побудованих у б. СРСР, тільки один – Володимирський – працює на вітчизняному обладнанні, інші – на зарубіжному, яке фізично і морально застаріло. Всі ці заводи працюють за рахунок великої дотації й поступово припиняють свою діяльність [28].

Незважаючи на постійне вдосконалення, в результаті спалювання непідготовлених відходів, завдається шкода здоров'ю людини й природному середовищу. Тому, останнім часом пропонують новий метод спалювання відходів – у ванні розплаву при температурі близько 1500°C.

4.6 Переробка твердих побутових відходів компостуванням

Розрізняють компостування польове і на спеціальних заводах. Теоретично аеробні біохімічні реакції, що протікають при компостуванні, можна представити в наступному виді:



Сумарна хімічна реакція буде мати такий вигляд:

$$(C_6H_{12}O_6)_n + 6n(O_2) \rightarrow \text{Мікроорганізми} \rightarrow 6n(CO_2) + 6n(H_2O) + n(2796 \text{ кДж}).$$

целюлоза кисень вуглекислий газ вода виділення тепла

Як видно з підсумовуючої біохімічної реакції окислювання, целюлоза може бути окислена до одержання вуглекислого газу й води при аеробних умовах з виділенням 2796 кДж на 1 моль глюкози – складової частини целюлози. Перероблені в такий спосіб відходи вступають у природний колообіг речовин у природі за рахунок їхнього знешкодження й перетворення в компост – коштовне органомінеральне добриво, використовуване, наприклад, для цілей міського озеленення або як біопаливо. У процесі переробки відходів створюються умови, що згубно діють на більшість хвороботворних мікроорганізмів, яйця гельмінтів і личинки мух.

Найбільш досконалим вважають безперервний процес компостування з аеробним примусовим окислюванням органічних відходів в обертовому біотермічному барабані [24-28].

4.6.1 Аеробне компостування твердих побутових відходів у промислових умовах

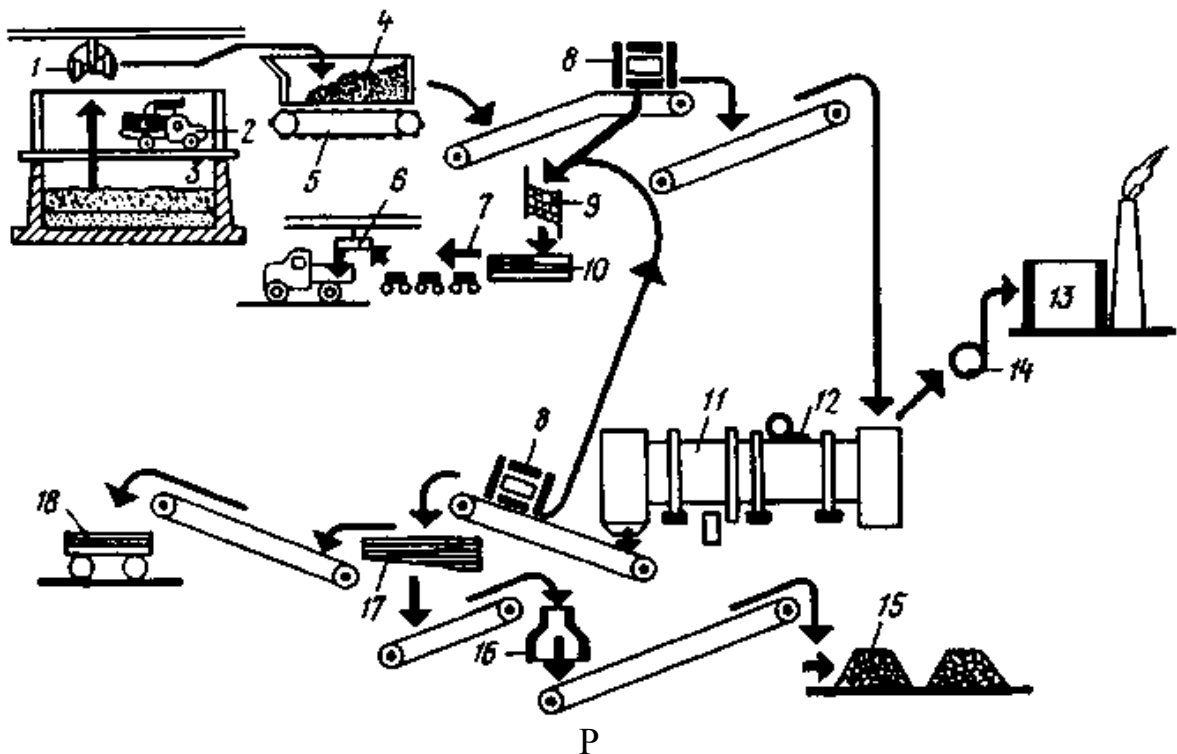
Метод механізованого біотермічного компостування у світовій практиці почали застосовувати у двадцяті роки, коли була доведена можливість знешкодження ТПВ за 20...30 діб в аеробних умовах. Розроблені в тридцяті роки біотермічні барабани перетворили аеробне біотермічне компостування в широко застосовувану промислову технологію знешкодження й переробки ТПВ.

У багатьох європейських країнах (наприклад, у Франції, в Італії, Німеччині, Нідерландах і ін.), а також у великих містах СНД (С.-Петербург, Нижній Новгород, Мінськ, Ташкент, Алма-Ата, Баку й ін.) побудовані і експлуатуються заводи, що працюють за технологією аеробного біотермічного компостування. Використовуючи комплекс технологічних заходів, можна нормалізувати вміст у компості мікроелементів, у тому числі солей важких металів. Із ТПВ видалається лом чорних і кольорових металів. Принципова технологічна схема виробництва компосту показана на рисунку 4.7, а схема безперервного процесу компостування з аеробним окислюванням органічних відходів в обертовому біотермічному барабані – на рисунку 4.8.

Для будівництва заводу по механічній переробці ТПВ в компост необхідні наступні оптимальні умови: наявність гарантованих споживачів компосту в радіусі 20...50 км і розміщення заводу в границі міста на відстані до 15...20 км від центра збору ТПВ при чисельності населення, що обслуговується, не менше 300 тис. чол.

При підготовці відходів до компостування близько 25...30 % з них не підлягає компостуванню. Ці матеріали спалюють на компостних заводах

або піддають піролізу для одержання теплової енергії або пірокарбона, застосовуваного в металургії, або вивозять на полігони ТПВ для поховання.



исунок 4.7 – Технологічна схема безперервного компостування з аеробним окислюванням органічних відходів в обертовому біотермічному барабані:

1 – кран-балка із грейферним ковшем; 2 – сміттевоз; 3 – прийомний бункер відходів; 4 – дозуючий бункер; 5 – пластинчастий живильник; 6 – піднімальний кран з магнітною шайбою для навантаження пакетів металобрухту; 7 – рольганг; 8 – магнітний сепаратор; 9 – бункер металобрухту; 10 – пакетуючий прес; 11 – обертовий біотермічний барабан; 12 – вентилятор-наїзник; 13 – котельня або піроліз на установка; 14 – витяжний вентилятор; 15 – штабеля компосту на площадках дозрівання й готової продукції; 16 – подрібнювач компосту; 17 – гуркіт; 18 – причіп для збору відсіву з гуркоту

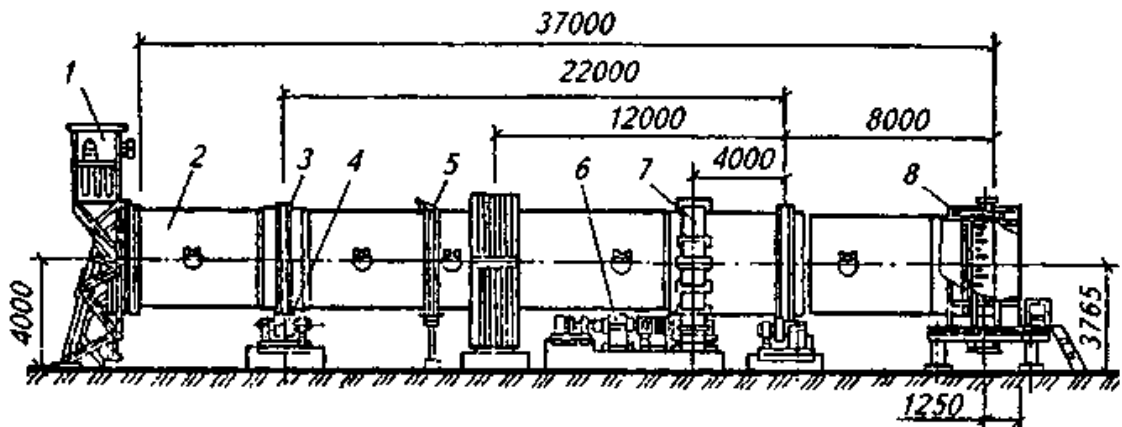


Рисунок 4.8 – Біотермічний барабан КМ-101А:

1 – завантажувальна голівка; 2 – обертовий корпус біобарабана; 3 – бандаж; 4 – роликів опора; 5 – контактні кільця термодатчиків; 6 – електропривід; 7 – венцова шестірня; 8 – перфорований розвантажувальний пристрій

Проектовані заводи призначені для прискореного механізованого знешкодження й переробки ТПВ з метою одержання корисних продуктів, використовуваних у народному господарстві: компост, лом чорних і кольорових металів, паливні гранули, текстиль товарний, полімери.

Переробка твердих відходів на компост – досить досконалий прийом їхнього знешкодження й наступного використання.

Технологічний процес переробки ТПВ повністю механізований і управляють їм із центрального пульта управління.

Побутові відходи доставляють на завод кузовними сміттєвозами вантажопідйомністю 3 і 9 т, які розвантажуються в прийомні бункери із днищами, виконаними у вигляді пластинчастих живильників, що мають ширину 2,4 м і довжину 12 м. Швидкість руху пластин настилу живильника 0,06...0,16 м/с. Біля кожного бункера передбачені два розвантажувальних пости, що виключають непродуктивне скупчення сміттєвозів при розвантаженні.

До пластин живильників приварюють металеві штирі для кращого захоплення подаваного матеріалу. Перед виходом з бункерів установлені спеціальні балки із зубами для руйнування зводів ТПВ, що утворюються, і регулювання товщини вихідного шару відходів.

Великогабаритні відходи вилучають із бункерів і складають у встановлені поруч автопричепи за допомогою захоплення, підвішеного до кранбалки.

Відходи з бункерів розвантажують на стрічкові конвеєри, що мають ширину 1200 мм, по яких вони направляються в сортувальний корпус, оснащений грохотами, електромагнітними й аеродинамічними сепараторами, що роблять первинне сортування поступаючих відходів.

За допомогою конвеєрів, що подають відходи із прийомного корпусу, завантажують циліндричні грохоти КМ-201А. Діаметр сита гуркоти 2,5 м, довжина 7,3 м. Розмір осередків сит 150...250 мм, частота обертання гуркоти 15 хв^{-1} , паспортна продуктивність до 20 т/год.

Великі некомпостуючі фракції (картонні осередки, папір, текстиль і т.п.) або так звані некомпостуємі відходи (НПВ) зсипають на конвеєр шириною 1200 мм і направляють у бункер баласту.

Чорний і кольоровий метал вибирають електромагнітними сепараторами.

Просіяний матеріал по конвеєрах подається в головний корпус, проходячи послідовно сепаратори чорного, кольорового металу й аеросепара-

тори, що виділяють легкі фракції – плівку й папір (якщо є споживач, те ці фракції відвантажують йому, якщо немає – відправляють на піроліз).

Іноді в комплекс заводу включають лінії по виробництву екологічно чистих деревинно-полімерних плит з відходів деревообробки й поліетиленової плівки, що виділяється аеросепараторами із ТПВ.

Весь відібраний у цеху чорний метал конвеєрами подається в бункер металу й далі у два гідравлічних пакетованні преси БО-1330. Пакети металу виходять по двох рольгангах на площадку, обладнану кранбалкою вантажопідйомністю 1 т з електромагнітною шайбою М-23А, де пакети складують і потім відвантажують споживачам. Продуктивність одного преса 2,4 т/год.

Кольоровий метал по конвеєрах надходить у бункери-накопичувачі.

Відсортовані відходи, призначені для компостування, по конвеєрах подають у завантажувальні пристрої біотермічних барабанів, виконаних у вигляді обертових циліндрів марки КМ-101А.

Біотермічний процес знешкодження відходів відбувається завдяки активному росту термофільних мікроорганізмів в аеробних умовах. Маса відходів сама розігрівається до температури 60 °С, при якій хвороботворні мікроорганізми, яйця гельмінтів, личинки й лялечки мух гинуть і маса відходів знешкоджується.

Під дією мікрофлори, що розвивається, складні, швидко гниючі органічні речовини розкладаються, утворюючи компост.

Щодня кожний біобарабан завантажують на 1/2 корисного об'єму свіжими відходами й одночасно розвантажують. Таким чином, свіжі відходи, що завантажуються в барабан, попадають у середовище з активним біотермічним процесом, що скорочує цикл їхнього компостування до двох діб. Пропускна здатність кожного біобарабана до 34 тис. т/рік.

Для забезпечення примусової аерації на корпусі біобарабана встановлені вентилятори-наїзники, які подають свіже повітря в товщу відходів, що перебувають у ньому. Кількість подаваного повітря регулюється по зонах залежно від температури й вологості матеріалу. Оптимальна вологість для прискореного процесу компостування 40...45 %. Зовні біобарабан покривають шаром теплоізоляційного матеріалу для збереження необхідного температурного режиму.

Біобарабан виконує практично дві функції: забезпечення в компостуючій масі необхідного біотермічного процесу й механічне стирання відходів. Вихідний продукт по зовнішньому вигляді зовсім не схожий на вихідне сміття.

Розвантажуються біобарабани на стрічкові конвеєри, які, перевантажуючись на інші конвеєри, доставляють компост назад у сортувальний корпус, у якому встановлені балістичні склосепаратори з пневмовідсівом плівки й інерційні грохоти марки ГТТ-42М.

Балістичний сепаратор – це конвеєр зі швидким рухом стрічки (2...7 м/с). Матеріал летить у подвійну лійку, розділену перегородкою на два відсіки. Важкі частки (стекло, камені), що володіють більшою інерцією, летять у далекий відсік, а легкі фракції (компост) зсипаються в ближній.

У верхній частині подвійної лійки вбудований усмоктувальний патрубков, у який вентилятором засмоктується плівка. Далі компост попадає на дрібне сито (10...15 мм) інерційного гуркоту, після проходження якого компост остаточно очищається від баластових фракцій.

Скло й дрібний баласт зсипаються у візки-причепи, а компост по системі конвеєрів подається на складські площадки.

Складські конвеєри обладнані плужними скидачами з електроприводами КМ-304, які розвантажують компост на складську площадку в заданому місці. Далі за допомогою бульдозерів формують штабеля, які періодично перелопачують і при необхідності зволожують.

Більшу частину території, що відводиться під розміщення сміттєпереробного заводу, займають складські площадки для дозрівання й зберігання компосту.

Приблизний час дозрівання компосту на складі складе не менше 2 місяців при висоті штабеля до 2 м, а зберігання дозрілого компосту – 3 місяці при висоті штабеля до 5 м. Потужність сміттєпереробного заводу 90 тис. т/рік, або 10,7 тис. м³/місяць при щільності компосту 0,7 т/м³. У цьому випадку площа складу дозрівання компосту дорівнює

$$F_{\text{доз}} = 2\Pi t_1 K_1 / H_1 = 2 \cdot 10700 \cdot 2 \cdot 1,3 / 2 = 27,82 \text{ тис. м}^2,$$

а площа складу зберігання

$$F_{\text{зб}} = 2\Pi t_2 K_1 / H_2 = 2 \cdot 10700 \cdot 3 \cdot 1,3 / 5 = 16,69 \text{ тис. м}^2,$$

де Π – продуктивність СППВ, м³/місяць; t_1 і t_2 – тривалість дозрівання й зберігання, місяць; H_1 і H_2 – висота штабелів на складах дозрівання й зберігання, м; K_1 – коефіцієнт розпушення, рівний 1,3.

Тоді загальна площа складу компосту

$$F_{\text{ск}} = F_{\text{доз}} + F_{\text{зб}} = 27,82 + 16,69 = 44,5 \text{ тис. м}^2, \text{ або } 4,45 \text{ га.}$$

Склад компосту, одержуваного на сміттєпереробних заводах із ТПВ, наведені далі.

Об'єми викидів шкідливих речовин в атмосферу сміттєпереробним заводом продуктивністю 50 тис. т/рік компосту окремо по кожному цеху наведені в таблиці 4.9.

Як показує практика, при правильній організації збору ТПВ вміст у компості солей важких металів не перевищує гранично припустимих концентрацій таблиця 4.10.

Таблиця 4.9 – Шкідливі речовини, що викидаються в атмосферу сміттєпереробним заводом, т/рік

Речовина	Джерело викиду			Сума
	приймальний корпус	головний корпус	дробильно-сортувальний корпус	
Аміак	9,54	–	1,52	11,06
Вуглеводні	64,8	28,2	44,5	137,5
Бензол	32,4	15,2	4,59	52,17
Ксилол	95,3	38,0	36,8	170,1
Толуол	87,6	38,0	18,4	144
Оксид вуглецю	23,8	8,14	13,8	45,74
Сірчистий ангідрид	36,2	–	4,36	44,57
Нетоксичний пил	667,0	0,55	657,0	1324,55
Ацетон	–	57,0	–	57,0
Окисли азоту	–	–	2,37	2,37
$\Sigma = 1989,08$				

На більшості працюючих сміттєпереробних заводах НПВ вивозять для поховання на полігони ТПВ або смітники. На одному з петербурзьких сміттєпереробних заводів побудована піролізна установка для переробки НПВ [24, 27-29].

Основна продукція сміттєпереробних заводів наведена в таблиці 4.11.

Таблиця 4.10 – Склад компосту

Органічна речовина на суху масу, %, не менше	40
N	0,7
P ₂ O ₅	0,5
K ₂ O	0,3
C:N, не більше	30
Розмір часток компосту, мм, не більше	25
Зміст часток скла розміром 3...5 мм, %, не більше	1,5
Зміст, %:	
полімерних матеріалів	0,1
інших баластових включень (камені, метал, гума)	2
Реакція середовища (рН сольової витяжки), не менш	6,0

Титр-колі, не менше	0,01
---------------------	------

Таблиця 4.11 – Продукція сміттепереробного заводу, потужністю 150 тис. т (750 тис. м³) ТПВ на рік

Показник	Компостування	
	с первинним сортуванням і вивозом НПВ на смітник	піролізом НПВ
Компост	90	90
Метал:		
чорний	4	5
кольоровий	0,7	0,9
Плівка, текстиль	13,2	–
Пірокарбон	–	7,5
Стекло, камені, кістки	9,4	–
Некомпостуючі великогабаритні фракції	7	7
Гази, втрати, випари, баласт	25,7	39,6

У тому числі 19,6 тис. т горючих газів, використувані для одержання пари у двох котлах-утилізаторах

У містах з населенням 50 тис. жителів і більше при наявності поблизу міста вільних територій застосовують польове компостування ТПВ. Якщо на сміттепереробних заводах основний технологічний процес – аеробне компостування, здійснюване в складних металомістких біотермічних барабанах або біобашнях, то на площадках польового компостування ТПВ переробляють у відкритих штабелях. При цьому збільшуються тривалість переробки відходів у компост із 2...4 діб до декількох місяців, а також, відводиться відповідно площа, для розміщення споруд польового компостування.

При правильно організованому польовому компостуванні, так само як і на заводах СППВ, одержують у результаті переробки ТПВ компост, забезпечуючи захист від забруднень ґрунту, атмосфери, ґрунтових і поверхневих вод.

У світовій практиці застосовують дві принципові схеми польового компостування: з попереднім дробленням ТПВ й без нього. У першому випадку ТПВ подрібнюють спеціальними дробарками; у другому – здрібнювання (менш ефективно) відбувається за рахунок природного руйнування при багаторазовому «перелопачуванні» компостуючого матеріалу. Нездрібнені фракції відокремлюють на контрольному гуркоті.

Установки польового компостування, оснащені дробильно-сортувальним устаткуванням для попереднього здрібнювання ТПВ, забезпечують більший вихід компосту і дають менше відходів виробництва.

ТПВ подрібнюють у молоткових дробарках або в невеликих біотермічних барабанах.

Матеріал перебуває в барабані не більше 1 доби при обертанні його із частотою до $3,5 \text{ хв}^{-1}$ і більше. Барабан забезпечує достатнє для подальшої обробки здрібнювання ТПВ за 1200...2000 обертів, або 6...10 год. Потім отриманий матеріал надходить на сито барабанного гуркоту з осередками діаметром 38 мм. При польовому компостуванні ТПВ, що доставляються на польовий стан, розвантажують у прийомний бункер або на вирівняну площадку. Бульдозером, грейферним краном або спеціальними машинами формують штабеля, у яких відбуваються процеси аеробного біотермічного компостування. Висота штабелів залежить від методу аерації компостуючого матеріалу й при примусовій аерації може перевищувати 2,5 м. Ширину штабеля поверху влаштовують не менш 2 м при куті закладення укосів 45° (відповідає куту природного укосу для ТПВ й компосту), довжина штабеля 10...50 м. Між штабелями залишають відстань 3...6 м для проїзду.

Для запобігання розсіювання легких фракцій сміття, інтенсивного розмноження мух і усунення неприємного запаху поверхня штабеля вкривають шаром торфу, зрілого компосту або ґрунту товщиною близько 0,2 м.

Тепло, що виділяється під впливом життєдіяльності термофільних мікроорганізмів приводить до «саморозігріву» компостуючого матеріалу в штабелі. При цьому зовнішні шари компостуючого матеріалу розігріваються менше, ніж внутрішні, і служать теплоізоляцією для внутрішніх саморозігріваючих шарів відходів. Тому, для надійного знешкодження всієї маси матеріалу в штабелі його «перелопачують», у результаті чого зовнішні шари потрапляють всередину штабеля, а внутрішні – зовні. Крім того, «перелопачування» сприяє кращій аерації всієї маси компостуючого матеріалу.

Тривалість знешкодження ТПВ на площадках компостування від 1 до 6 місяців залежно від використовуваного устаткування, прийнятої технології й сезону закладки штабелів.

У штабелях *весняно-літньої* закладки недроблених ТПВ через 5...10 діб температура компостуючого матеріалу підвищується до $60...70^\circ\text{C}$ і втримується на цьому рівні 15...20 діб. Потім вона падає до $40...45^\circ\text{C}$, досягаючи через 3...4 місяці $30...35^\circ\text{C}$. Через 4...6 діб після «перелопачування» температура на кілька діб знову піднімається до $60...65^\circ\text{C}$.

У штабелях *осінньо-зимової* закладки температура протягом першого місяця піднімається тільки в окремих вогнищах і в міру саморозігріву (1,5...2 місяців) температура всього штабеля досягає $50...60^\circ\text{C}$ і залишається такою два тижні (швидкість підйому температури залежить від початко-

вої температури покладених ТПВ й навколишнього повітря). Далі 2...3 місяці температура компостуючого матеріалу втримується 20...30 °С, а з настанням літа підвищується до 30...40 °С.

У процесі компостування вологість матеріалу інтенсивно знижується, тому поряд з «перелопачуванням» і примусовою аерацією для підвищення активності біотермічного процесу штабеля зволожують.

Зрілий компост перед відправленням споживачеві направляють на гуркіт, де його очищають від великих баластових фракцій. У деяких технологічних схемах польового компостування (рис. 4.9) відходи розділяють на фракції до компостування. Із ТПВ й компосту або (там, де немає дроблення) тільки з компосту електромагнітним сепаратором витягають чорний металобрухт.

Схеми з попереднім здрібнюванням ТПВ на початку технологічної лінії показані на рисунку 4.9, а...г, а схема, де сортування і здрібнювання компосту перенесені в кінець технологічної лінії, – на рисунку 4.9, д. На схемах а, б і в ТПВ розвантажують у прийомні бункери, оснащені пластинчастим живильником, а на схемі г – у траншеї з наступним видаленням їх грейферним краном. Подрібнюють ТПВ на схемах а, б і г у дробарці з вертикальним розташуванням вала, а на схемі в – у горизонтальному обертовому вкороченому біобарабані.

На схемі а здрібнені ТПВ змішують зі зневодненим осадом стічних вод з метою їх подальшої спільної переробки в штабелях протягом декількох місяців. За час компостування переробляється матеріал, що, кілька разів перелопачують.

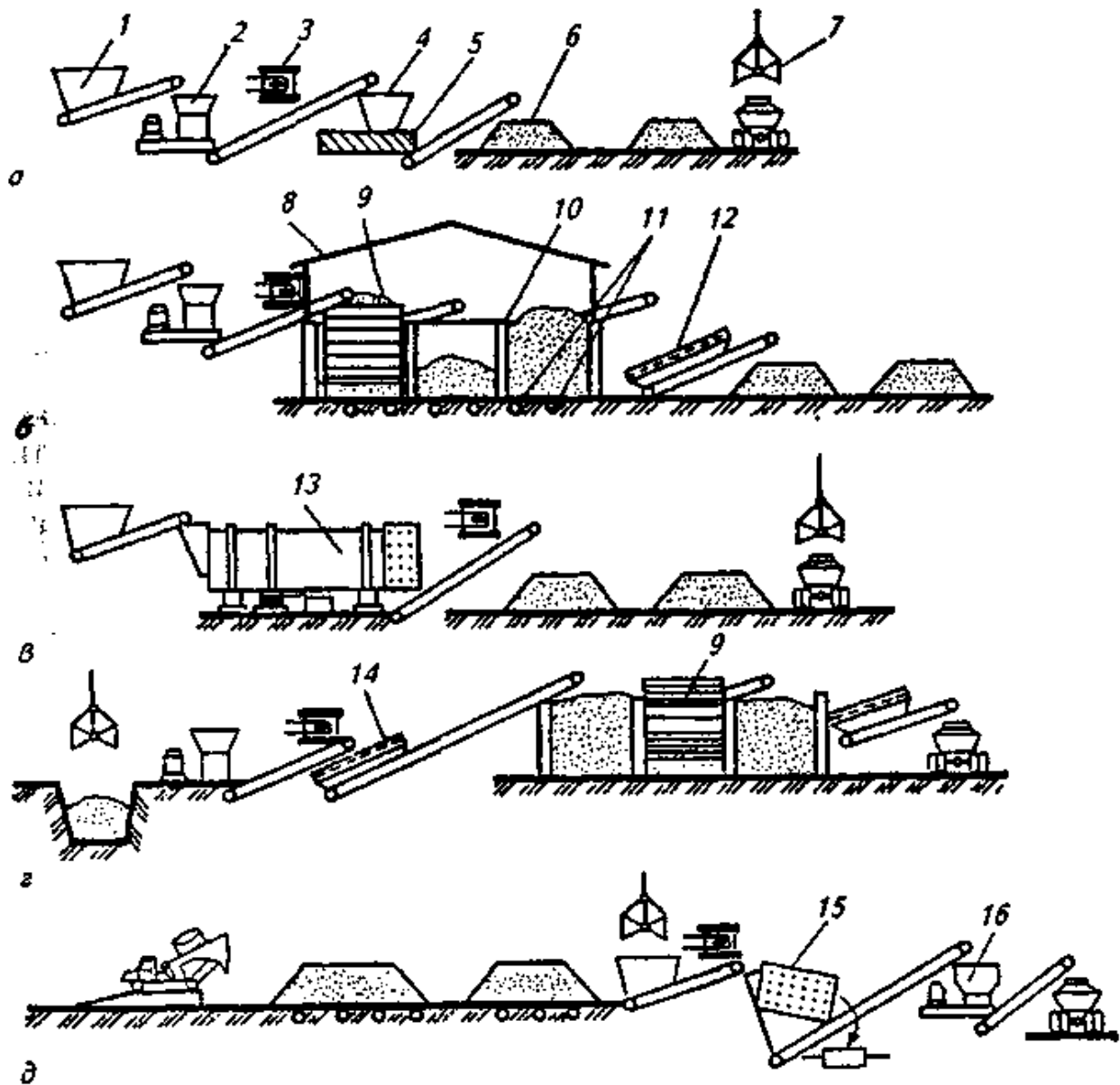


Рисунок 4.9 – Принципові схеми споруд польового компостування ТПВ:

а – спільна переробка ТПВ й ОСВ; б - компостування ТПВ у дві стадії; в – схема, з попередньою переробкою ТПВ в біобарабані; г – схема з попереднім подрібненням, просіванням і компостуванням у відкритих лотках, поділених на відсіки або секції; д - компостування не дроблених ТПВ; 1 – прийомний бункер із пластинчастим живильником, 2 – дробарка для ТПВ; 3 – підвісний електромагнітний сепаратор; 4 – подача ОСВ, 5 – змішувач; 6 – штабеля компосту; 7 – грейферний кран; 8 – закрите приміщення для першої стадії компостування; 9 – рухлива установка для перелопачування і перевантаження компоста, 10 – поздовжні підпірні стінки; 11 – аератори; 12 – контрольний гуркіт для компосту; 13 – біобарабан; 14 – первинний гуркіт для здрібнених ТПВ; 15 – циліндричний контрольний гуркіт; 16 – дробарка для компосту.

Технологічна схема компостування у дві стадії показана на рисунку 4.8, б. Перші 10 діб біотермічний процес відбувається в закритому приміщенні, розділеному поздовжніми розділовими стінками на відсіки. Компостуєми матеріал кожні дві доби за допомогою спеціальної рухомої техніки перевантажують із одного відсіку в іншій. Для активізації біотермічного процесу компостуєми матеріал аерується, подаючи повітря через отвори, розташовані в підставці відсіків. Із закритих відсіків компостуєми матеріал після сортування на гуркоті перевантажують на відкриту площадку, де він дозріває в штабелях протягом 2...3 місяців. Технологічна схема, показана на рисунку 4.8, в, відрізняється від інших дробаркою, у якості якої використовують обертовий біобарабан.

Подвійне просівання компостуючого матеріалу застосовують у технологічній схемі, показаній на рисунку 4.8, г.

При первинному просіванні відходи розділяють на дві фракції: велику, направлену на спалювання, і дрібну, що направляється на компостування. Компостування здійснюють у лотку, змонтованому на відкритій площадці, розділеному на секції. Лоток оснащений установкою для перевантаження компостуючого матеріалу в сусідні секції.

Дозрілий компост із останньої секції піддають повторному (контрольному) просіванню, після чого кондиційний компост відправляють споживачеві.

При відсутності дробарки для ТПВ можна застосовувати схему, показану на рисунку 4.9, д, де просівання, дроблення й магнітну сепарацію роблять наприкінці технологічного циклу.

При польовому компостуванні ТПВ всі роботи повинні бути повністю механізовані. Для комплектації площадок рекомендують тільки надійне устаткування, що серійно випускається вітчизняною промисловістю, (в основному перевірене в умовах заводів СППВ). Кожну секцію оснащують повним комплектом устаткування.

Розміщення секційних площадок на водонепроникній основі (глинах або суглинках) і щоденне засипання поверхні свіжосформованих штабелів інертним матеріалом забезпечують достатній захист ґрунту, атмосфери й ґрунтових вод від забруднень.

Площадки польового компостування проектують на прийом тільки ТПВ й в окремих випадках – ТПВ і зневодненого осаду стічних вод (ОСВ), що утворюються в місті.

Великий некомпостуєми відсів з контрольного гуркоту складують, і для його наступного видалення доцільно розміщати площадки польового компостування на території полігонів ТПВ. У цьому випадку площа полігона в порівнянні з полігоном, експлуатованим у звичайному режимі, тобто без площадок компостування, зменшується в 4...6 разів. На полігоні й площадці польового компостування організують єдину систему електро- і водопостачання, збору й рециркуляції фільтрату.

Площадки польового компостування також можна оснащувати смітєспалювальними установками, що робить їх «маловідходними» підприємствами.

Площадки польового компостування (рис. 4.10) розміщують на спланованій ділянці з водонепроникною основою, покритою бетонними плитами. Ділянка, що складається з однієї або декількох секцій, по периметрі обгороджують сітчастим забором (розмір осередків 40 x 40 мм) високою до 3 м. Приймна ділянка має два розвантажувальні пости для смітєвезів; козловий двухконсольний кран із грейферним захопленням з розташуванням підкранових колій уздовж ділянки; дробильно-сортувальне відділення, обладнане прийомним бункером із пластинчастим живильником, магнітний сепаратор, циліндричний гуркіт, дробарку для компосту, бункер-накопичувач для чорного металобрухту, систему стрічкових конвеєрів; систему аерації компостуючого матеріалу (вентилятор, що розводять повітроводи, перфоровані повітроводи, змонтовані на площадці компостування); систему зволоження й пожежогасіння, що складає із трубопроводів для поливання штабелів компосту й гасіння пожеж.

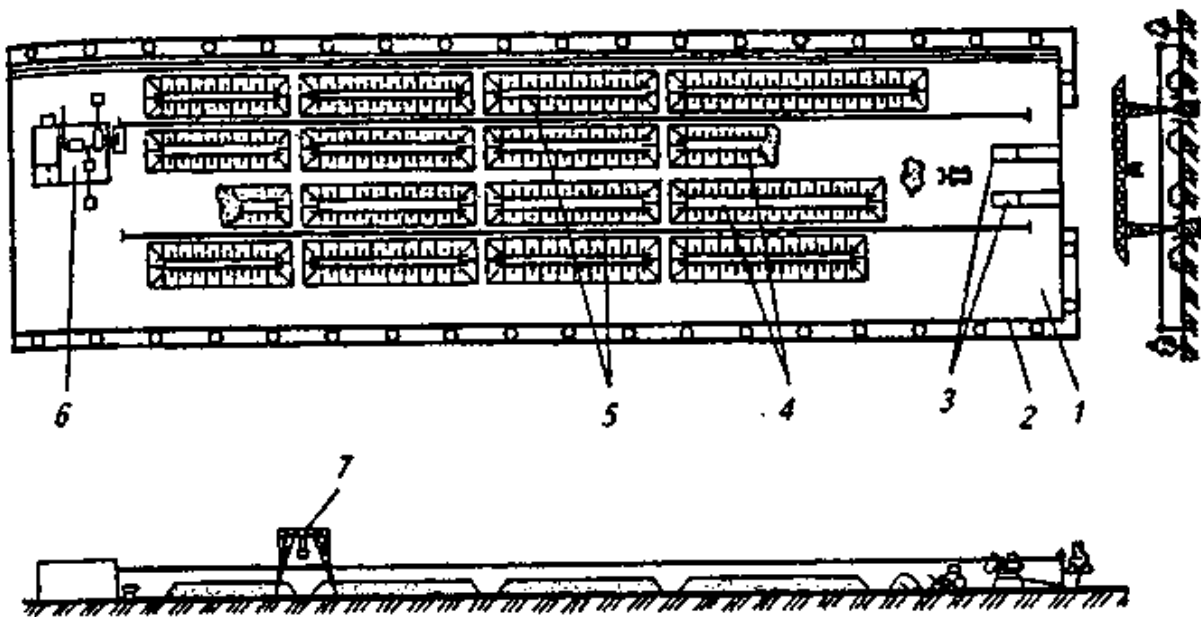


Рисунок 4.10 – Секційна площадка польового компостування (одна секція):

1 – підстава площадки; 2 – огороження; 3 – розвантажувальні пости; 4 – штабеля компостуючого матеріалу; 5 – «зрілий» компост; 6 – дробильно-сортувальне відділення; 7 – грейферний кран

Основна споруда площадки компостування – дробильно-сортувальне відділення, у єдиному блоці з яким розташовують аераційне відділення, пульт управління й побутові приміщення. Розмір площадки компостування залежить від ширини захоплення козлового двухконсольного крана й необхідної довжини штабелів. При використанні крана ККС-10 і тривалості

дозрівання компостуючого матеріалу 4 місяця розмір однієї секції в плані може бути 60 x 300 м.

Виробник аераційної системи для аерації 1 кгТПВ, м³/год,

$$Q_a = \left[P_{\text{рік}} \cdot 1000 / (365 \cdot 24) \right] g_n,$$

де $P_{\text{рік}}$ – річна продуктивність секційної площадки польового компостування, т; g_n – питома витрата повітря, $g = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Необхідний тиск повітря, що подається в систему аерації, звичайно становить 5 кПа. Доцільна установка двох вентиляторів, що працюють по-перемінно.

Продуктивність системи зволоження, м³/добу, розраховують із урахуванням підвищення на 20 % вологості в процесі його компостування:

$$Q_{\text{зв}} = (P_{\text{рік}} / 365) \cdot 0,2.$$

Основне обладнання секційної площадки компостування, що визначає продуктивність і розмір однієї секції, – козловий двухконсольний кран, що самомонтується, ККС-10, технічна характеристика якого наведена в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Технічна характеристика ККС-10.

Вантажопідйомність, т	10	База, мм	14000
Проліт, м	32	Довжина мосту, мм	54880
Швидкість, м/хв:		Висота крана, мм	15046
підйом вантажу	15	Ширина крана, мм	16250
пересування візка	40	Маса, т	41,4
пересування крана	36		

Кран укомплектований грейферним захопленням. Колію крана для її захисту піднімають на 0,6...1 м або обгороджують із внутрішньої сторони підпірною стінкою.

Прийнято наступну технологію польового компостування на секційних площадках. Сміттєвози, що прибувають розвантажують зі спеціальних пандусів на прийомній ділянці, де матеріал може перебувати не більше 8 год. Бульдозером ТПВ збирають у штабель, формований (за допомогою бульдозера й грейферного крана) протягом 1 місяця. Добову порцію відходів засипають торфом або зрілим компостом шаром 0,2...0,3 м.

Після витримування (1 місяць) матеріал перевантажують у другий (сформований раніше) штабель, що перебуває далі від прийомної ділянки й сформований паралельно першому. Протягом циклу переробки матеріал перелопачують 3...4 рази.

За рахунок біотермічного процесу (в умовах примусової аерації й теплоізоляції сухим інертним матеріалом) компостований матеріал розігрівається до 60 °С. Така температура тримається 1...3 місяця, що забезпечує загибель яєць гельмінтів, личинок мух і більшої частини патогенної мікрофлори.

З останнього штабеля матеріал грейферним краном перевантажують у прийомний бункер дробильно-сортувального відділення, де матеріал, що подається проходить через контрольний гуркіт з осередками діаметром 60 мм і магнітний сепаратор, що витягає з компосту чорний металобрухт.

Після просівання великих некомпостних фракції направляють для поховання на полігон або на спалювання в піч. Дрібне відсівання доподрібноюють і вантажать в автомобілі для відправлення споживачам.

У певні періоди року (компост є сезонним продуктом) готову продукцію складають у штабелі, розташовувані уздовж огороження полігона. Штабеля вміщують шестимісячний запас компосту. У процесі компостування щільність матеріалу збільшується з 0,2 до 0,6...0,8 т/м³.

Кожний штабель розрахований на місячну продуктивність площадки ($\Pi_{\text{міс}} = 1000$ т). Ширину штабеля в підставі обчислюють із умови забезпечення проїзду крана й іншої техніки між штабелями, м,

$$B_{\text{ш}} = (L_{\text{к}} - 2c - d)/2$$

де $B_{\text{ш}} = 12$ м; $L_{\text{к}}$ – проліт крана, м, для крана ККС-10 $L_{\text{к}} = 32$ м; c – відстань від колії підкранових шляхів до штабеля звичайно не менше 1 м; d – ширина проїзду між штабелями, приймають $d=6$ м.

Довжина основи штабеля при куті закладення укосу 45°, м,

$$L_{\text{під}} = k_1 \Pi_{\text{міс}} / (B_{\text{ш}} - h_{\text{ср}}) h_{\text{ср}} \gamma_{\text{ср}}$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує наявність засипання штабелів інертним матеріалом, дорівнює 1,07; $h_{\text{ср}}$ – середня висота штабеля, рівна 2,5...2,8 м; $\gamma_{\text{ср}}$ – середня щільність ТПВ в штабелі, т/м³. Для штабеля першого місяця $\gamma_{\text{ср1}} = 0,45$ т/м³; $\gamma_{\text{ср2}} = 0,6$; третього, четвертого місяців $\gamma_{\text{ср3}} = 0,7$ т/м³.

Довжина основи штабелів першого, другого й третього місяців: $L_{\text{під1}} = 96$ м; $L_{\text{під2}} = 70$ м; $L_{\text{під3}} = 60$ м. З метою забезпечення протипожежної безпеки й зменшення довжини штабеля доцільно протягом першого місяця паралельно формувати два штабелі. Побутові відходи на площадки польового компостування приймають цілий рік щодня або 5...6 разів у тиждень протягом однієї зміни.

При цьому дробильно-сортувальне відділення працює в одну зміну. Відпускають готовий компост теж в одну зміну. Грейферний кран працює у дві зміни: у першу зміну відвантажує готову продукцію (у сезон відпустки компосту), формує перший штабель і завантажує прийомний бункер дробильно-сортувального відділення; у другу зміну перелопачує штабеля [26-28].

4.6.2 Анаеробне компостування твердих побутових відходів

Останнім часом проводяться роботи з метанового зброжування ТПВ. У Франції запробована у виробничих умовах технологія переробки ТПВ в анаеробних умовах з одержанням горючого газу й органічних добрив. Принципова схема переробки ТПВ в анаеробних умовах показана на рисунку 4.11.

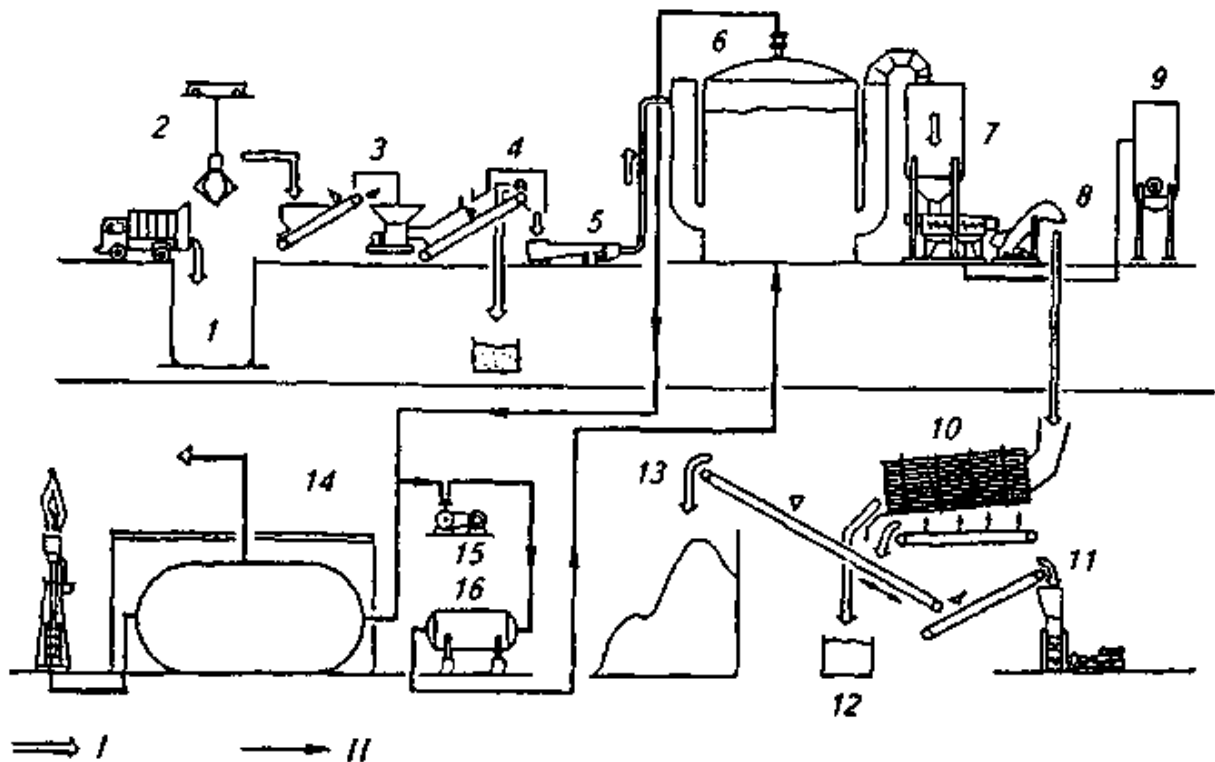


Рисунок 4.11 – Принципова схема переробки ТПВ методом анаеробного компостування:

1 – прийомний бункер; 2 – мостовий грейферний кран; 3 – дробарка; 4 – магнітний сепаратор; 5 – насос-змішувач; 6 – метантенк; 7 – шнековий прес; 8 – розрихлювач; 9 – ємність для збору віджиму; 10 – циліндричний гуркіт; 11 – пакувальна машина; 12 – велике відсівання; 13 – склад добрив; 14 – газгольдер; 15 – компресор; 16 – зрівняльна камера; 17 – напрямок руху відходів; 18 – напрямок руху газу

ТПВ розвантажують у прийомний бункер, звідки грейферним краном їх подають на живильник, а потім у конічну дробарку з вертикальним ва-

лом. Із дробарки здрібнене ТПВ перевантажують на стрічковий конвеєр, що проходить під електромагнітним сепаратором, призначений для витягу чорного металобрухту.

Очищені від чорного металобрухту відходи подають у метантенк місткістю 500 м³, де їх витримують в анаеробних умовах 10...16 діб при температурі 25 °С з метою його зброджування. У результаті з кожної тонни відходів одержують близько 120... 140 м³ біогазу: частина якого з метантенка надходить у газгольдер, а іншу частину компресором через зрівняльну камеру подають під тиском під шар відходів, що переробляються, з метою перемішування зброджуваної маси.

Відпрацьовану тверду фракцію вивантажують і потім подають у шнековий прес для часткового зневоднення. Збездонена тверда фракція надходить у розпушувач і звідти в циліндричний гуркіт, у якому матеріал розділяють на масу, використовувану як органічні добрива, і крупний відсів.

З 1 т побутових відходів одержують у середньому 170 кг, або 140 м³ біогазу, що містить 65 % метану; 410 кг органічних добрив вологістю 30 %; 50 кг металобрухту й баластових фракцій, що витягаються магнітним сепаратором і відділяємим дробаркою; 250 кг крупного відсіву відокремлюваного циліндричним гуркотом; 170 кг становлять газові втрати й фільтрат.

При спалюванні біогазу без попереднього очищення виділяється 23 400 кДж/м³ тепла, або після його очищення від домішок діоксиду вуглецю й сірководню – 35 600 кДж/м³.

На переробку анаеробним компостуванням разом із ТПВ можуть приймати й деякі види відходів сільськогосподарського виробництва й харчової промисловості.

4.6.3 Переробка відходів як засіб захисту навколишнього середовища

Переробка відходів є альтернативним напрямком стосовно дорогих методів поховання відходів. Щорічно у світі спостерігається приріст об'єму відходів, які переробляються, що свідчить про перспективність цього напрямку поводження з відходами. Повний цикл переробки відходів включає збір, сортування, переробку і повторне використання відходів.

При розробці технологій переробки відходів варто враховувати, що технології повинні:

- не тільки орієнтуватися на існуючі потреби ринку, але й сприяти розвитку нових напрямків реалізації продуктів переробки;
- бути гнучкими і легко пристосовуватися до умов, що змінюються;
- забезпечувати збалансованість критеріїв потреб ринку, прибутковості і екологічності, тим самим охоплювати як можна більший обсяг і розмітість відходів.

Існує кілька загальноприйнятих організаційних принципів побудови системи переробки відходів виробництва і споживання. При цьому форми організації виробництв по переробці відходів, можуть бути різними. Найбільш часто використовуються організаційні форми наведені в табл. 19.2. Кожна з форм, має характеристики, що дозволяють використовувати їх у різних випадках (таблиця 4.13).

Таблиця 4.13 Організаційні форми організації виробництв по переробці відходів

Форма виробництва по переробці відходів	Опис	Переваги	Недоліки
Державне муніципальне підприємство	Державне підприємство; входить до складу муніципальних підприємств по управлінню відходами; фінансується з бюджету	Не залежить від змін ринку. Адміністративно кероване	Звичайно висока вартість (обтяжна для бюджету). Традиційно хронічна недостача засобів
Державне муніципальне господарське підприємство	Перебуває в державній власності; самофінансування; можливі бюджетні субсидії й податкові пільги	Фінансова незалежність. Контроль із боку держави	Звичайно дороге
Приватне підприємство	Спеціалізовані підприємства. Некомерційні організації.	Фінансова незалежність. Як правило, гарна організація робіт.	Тенденція до переробки високопробудкових матеріалів.
Приватне субсидоване підприємство	Спеціалізовані комерційні або некомерційні підприємства. Державні субсидії, що покривають переробку неприбуткових матеріалів	Фінансова самостійність. Важелі управління з боку держави шляхом бюджетних субсидій.	Вимагає координації роботи муніципалітетів і компанії.

Основними методами переробки відходів є біорозкладання, компостування і спалювання. Складні за складом промислові відходи вимагають застосування додаткових спеціальних фізико-хімічних методів переробки [27, 28].

4.6.4 Компостування відходів

Компостування - форма переробка сирової органічної маси відходів. У таблиці 4.14 наведені види відходів, що піддаються компостуванню.

Таблиця 4.14 – Відходи, що піддаються компостуванню

Особливості відходів стосовно компостування	Види відходів
Найкращі	Рослинні залишки, харчові відходи, паперові відходи, санітарно-гігієнічні матеріали.
Звичайні	Відходи тваринного походження, деревні відходи, відпрацьований мул.
Посередні	Матеріали, що переробляються, інертні компоненти
Непридатні	Метали, небезпечні відходи, медичні відходи

У практиці промислового компостування можна виділити наступні методи:

- компостування в буртах без примусової аерації;
- компостування в буртах із примусовою аерацією;
- компостування в установках з контрольованими умовами (оберткові бочки, горизонтальні або вертикальні силосні вежі та ін.);
- змішані системи.

Вартість методів компостування росте із застосуванням спеціалізованої техніки і може бути значною.

Вибір методів компостування, визначається критерієм оптимального сполучення вартості та досягнутим ефектом утилізації компостуємих відходів.

Економічна ефективність застосування компостування залежать від наявності ринків збуту продуктів компостування.

Компостування – це біологічний метод знешкодження ТПВ. Іноді його називають біотермічним методом. Сутність процесу полягає в наступному. Різноманітні, в основному теплолюбні мікроорганізми активно ростуть і розвиваються в товщі сміття, в результаті чого відбувається його саморозігрівання до 60°C. При такій температурі гинуть хвороботворні і патогенні мікроорганізми. Розкладання твердих органічних забруднень у побутових відходах триває до одержання щодо стабільного матеріалу, подібного до гумусу. Механізм основних реакцій компостування такий же, як при розкладанні будь-яких органічних речовин. При компостуванні більш складні сполуки розкладаються і переходять у більш прості. До основних хімічних показників, що характеризують сміття як матеріал для компостування, одержання біопалива і органічних добрив, відноситься вміст органічної речовини; зольність; вміст загального азоту, кальцію, вуглецю.

Щорічне збільшення кількості відходів спричинило розробку прискорених, механізованих способів їхньої переробки. Для цього споруджуються спеціальні сміттепереробні заводи. Схема роботи сміттепереробного заводу наступна. Повний цикл знешкодження ТПВ складається із трьох технологічних етапів:

- прийом і попередня підготовка сміття;
- біотермічний процес знешкодження і компостування;

- обробка компосту.

Устаткування для приймання і попередньої підготовки відходів включає прийомний бункер, живильники, транспортери, магнітні сепаратори. Процес біотермічного знешкодження і компостування - відбувається в горизонтальних обертових барабанах. Устаткування для обробки компосту складається з контрольного гуркоту, магнітного сепаратора і дробильного устаткування для здрібнювання баласту. Крім того, необхідно мати склад готової продукції, тобто площадку дозрівання компосту, а також устаткування для зважування відходів і компосту, що відпускається, а також мийку для сміттєвозів. На сміттєпереробних заводах України застосовується в основному вітчизняне устаткування, що допрацьовується і модернізується з урахуванням властивостей ТПВ конкретного регіону або міста, та відповідно до вимог створення оптимальних умов для їхнього знешкодження.

Переробка сміття повинна обов'язково відбуватися з видачею продукції, безпечною у епідеміологічному відношенні. Знешкодження відходів забезпечується в першу чергу високою температурою аеробної ферментації. Під час біотермічного процесу відбувається загибель більшої частини патогенних мікроорганізмів. Однак компост, отриманий в результаті біотермічного знешкодження ТПВ на сміттєпереробних підприємствах не може бути використаний у сільському і лісовому господарствах, тому що містить домішки важких металів, які через траву, ягоди, овочі або молоко можуть заподіяти шкоду здоров'ю людини. По цій же причині доцільно несиستمатичне застосування таких компостів у міських скверах і парках.

Недоліком компостування є необхідність складування і знешкодження некомпостуємої частини сміття, об'єм якої становить значну частину загальної кількості сміття. Це завдання може бути вирішене шляхом спалювання, піролізу або вивозу відходів на полігони.

4.6.5 Біорозкладання органічних відходів

Загальновизнано, що біологічні методи розкладання органічних забруднень є найбільш екологічно прийнятними і економічно ефективними, про що свідчать показники різних процесів переробки відходів, наведені в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Показники процесів переробки відходів

Процес переробки відходів	Питомі капітальні витрати, ум.од./т	Експлуатаційні витрати, ум.од./т	Прибуток, ум.од./т	Чисті витрати, ум.од./т
Спалювання здрібнених відходів	6000...8000	5...8	3	2,5...5
Спалювання в котлах утилізаторах	8000...13000	7...12	3...5	4,9

Піроліз	14000...32000	5...15	4,4...13,1	2,5...13,4
Біологічна переробка	22000	9,4	8,2	4,8

В даний час велику кількість розбавлених промислових відходів обробляють біологічними способами. Звичайно використовується окислювання, здійснюване в аеротенках, біофільтрах і біологічних ставках.

Істотними недоліками аеробних технологій, особливо при обробці концентрованих стічних вод, є енерговитрати на аерацію і проблеми, пов'язані з обробкою і утилізацією великої кількості надлишкового мулу, що утворюється (до 1...1,5 кг біомаси мікроорганізмів на кожний вилучений кілограм органічних речовин). Виключити зазначені недоліки допомагає анаеробна обробка стічних вод методом метанового зброджування. При цьому не потрібні додаткові витрати електроенергії на аерацію, що має важливе значення в умовах енергетичної кризи. При цьому, зменшується об'єм осаду і утворюється корисне органічне паливо - метан.

Анаеробні процеси мікробіологічної конверсії органічних речовин представляють собою комплексну і досить складну групу явищ, багато фундаментальних аспектів яких стали зрозумілими тільки в останні роки. Проте промислові технології анаеробного очищення вже у 1980-і роки досягли досить високого рівня і отримали широке застосування за кордоном.

У нашій країні інтенсивні анаеробні технології поки не використовуються, що завдає значної шкоди стану навколишнього середовища, тому що методи генної інженерії дозволяють одержувати штами, здатні знешкоджувати екологічно небезпечні органічні речовини та інші матеріали.

На рис. 4.12 представлена класифікація конструкцій анаеробних реакторів, що знайшли широке застосування в різних країнах.

Слід зазначити, що мікроорганізми по різному реагують на різні речовини, що входять у відходи. Тому необхідна перевірка відходів на придатність до біорозкладання анаеробною мікрофлорою, а також визначення оптимальних умов обробки. Найбільш доцільним тестом у такому випадку є біохімічний метановий потенціал (БМП). При цьому зразок відходів змішують із анаеробною культурою у певному середовищі, витримують в анаеробних умовах (закрита ємність) і періодично вимірюють об'єм газу, що утворюється. Кількість метану, що утворюється в контрольований період, віднесений до кількості вуглецю у відходах, оціненого через хімічно споживаний кисень (ХСК), показує біо- оброблюваність випробуваного зразка відходів. Процес метанового шумування протікає при незмінній загальній масі ХСК, що розподіляється в процесі очищення на ХСК метану (як правило, більше 90%) і ХСК біомаси, що утворюється. Варіантом тесту визначення ХСК (або конвертованості відходів) є оцінка токсичності відходів, тобто вимірювання відносної швидкості, з якою простий органічний субстрат типу сахарози конвертується в біогаз у присутності випробувано-

го зразка відходів і без нього. Цей тест корисний для визначення оброблюваності відходів і для оцінки умов метаногенезу.

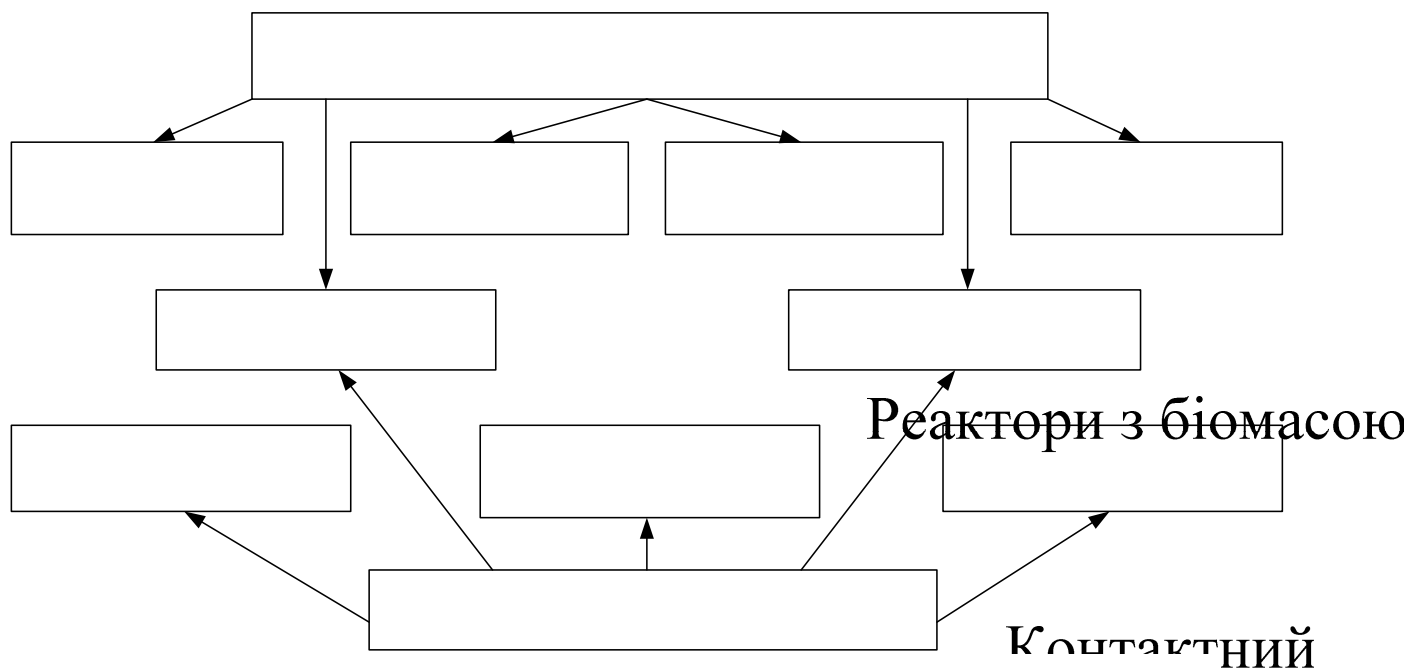


Рисунок 4.12 – Класифікація конструкцій анаеробних реакторів р

Велика кількість тестів може бути виконана протягом короткого періоду часу і при невеликому об'ємі зразка. Це дозволяє визначати варіанти стратегії біо- обробки відходів, варіанти включення в технологію стадій попередньої і спільної обробки, а також підбір мікробіоценозу і умов його оптимальної акліматизації в часі.

До переліку речовин, біорозкладаємих анаеробним способом, входять органічні сполуки різних класів: спирти, альдегіди, кислоти алифатичного і ароматного рядів. У той же час, як показали дослідження, деякі органічні сполуки в анаеробних умовах розкладаються неповністю. Таким чином, «оброблюваність» відходів в анаеробних умовах залежить від здатності певної мікрофлори до деградації сполук, що входять до складу відходів, а також від стійкості мікроорганізмів до токсичної органіки і неорганіки. Слід зазначити, що біооброблюваність в анаеробних умовах перерахованих органічних сполук була виявлена в результаті багатьох досліджень.

Послідовне багатоступінчасте руйнування молекул органічних речовин можливо завдяки унікальним властивостям певних груп мікроорганізмів здійснювати катаболічний процес – розщеплення складних молекул до простих – і існувати за рахунок енергії руйнування складних молекул, не маючи доступу ні до кисню, ні до інших, кращих в енергетичному відношенні акцепторам електронів (нітратів, сульфатів, сірки та ін.). Мікроорганізми використовують для цієї мети вуглець органічних речовин.

Біокон
обе

И З ПРИ

Отже, у процесі відновлюваного розщеплення складні органічні молекули руйнуються до метану і вуглекислого газу.

На рис. 4.13 представлена схема метаногенезу, що відбиває потоки вуглецю при деградації складних органічних речовин.

Стадія гідролізу – це процес розщеплення складних біополімерних молекул (білків, ліпідів, полісахаридів і інших органічних молекул) на більш прості оліго- і мономери (амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти).

Стадія ферментації – процес шумування мономерів, що утворилися, до ще більш простих речовин - нижчих кислот і спиртів, при цьому також утворюється вуглекислота і водень.

У процесі *ацетогенної стадії* утворюються попередники метану – ацетати, водень, вуглекислота.

Метаногенна стадія веде до кінцевого продукту розщеплення складних органічних речовин - метану. У складному процесі перетворень беруть участь багато видів мікроорганізмів (до декількох сотень), серед яких переважають бактерії. При розкладанні стійких токсикантів навколишнього середовища поліхлорованих фенолів важливу роль відіграють штами *Rhodo coccus* і *Mycobacterius*, широко розповсюджені в природі.

Механізм розкладання полягає в парагідроксилюванні і наступному дехлоруванні парохлорованих фенолів, наприклад, з пентахлорфенола спочатку утворюється тетрахлоргідрокінон, потім трихлоргідроксибензол, далі 1, 2, 4-тригідроксибензол, завершується процес деструкцією ароматичного кільця (табл. 4.15).

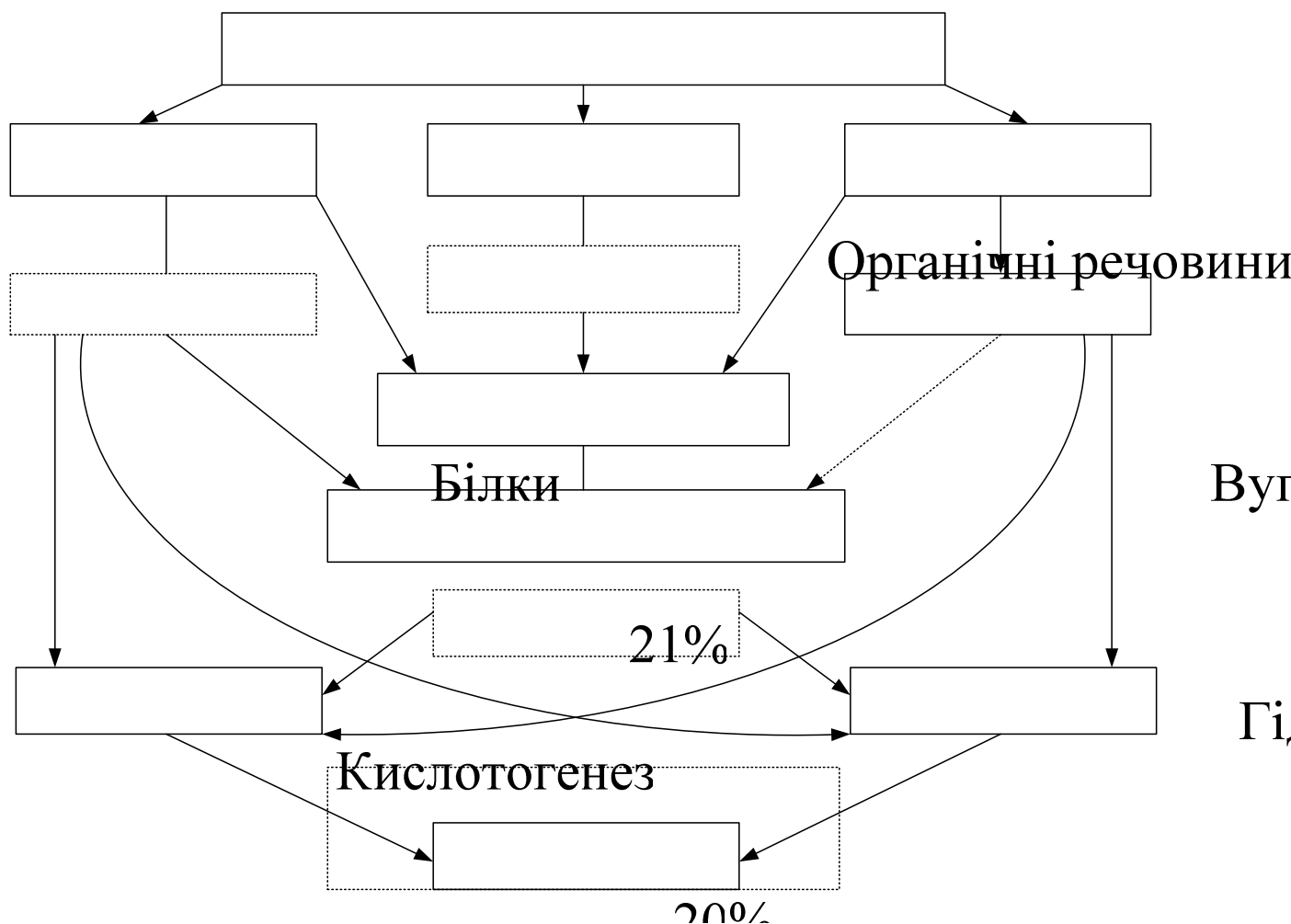


Рисунок 4.13 – Загальна схема метаногенезу

У метановому біоценозі основними є гідролітичні, бродильні, синтрофні і метанові групи мікроорганізмів, які послідовно в тісному і складному взаємозв'язку між собою та іншими мікроорганізмами здійснюють всі стадії анаеробного руйнування речовин. По-стадійно процес метаногенезу органічних речовин, а також типи використовуваних реакторів розроблені в різних країнах, досить докладно описані у вітчизняній і закордонній літературі. Основними факторами, що впливають на продуктивність анаеробних реакторів, є: реакційна здатність; фазовий і хімічний склад; розмір субстрату, що завантажується; час утримання рідини в реакторі; концентрація мікроорганізмів всередині реактора; ефективність масообміну реакційного середовища; швидкість завантаження реактора; ефективність масообміну реакційного середовища; температурний режим; рН; наявність живильних і токсичних речовин.

Реакторами із прикріпленою біомасою є біофільтр із висхідним і біофільтр зі спадним потоком стічної води та нерухомо закріпленої біоплівкою (DSFF-реактор); реактор з розширеним і зваженим шаром часток носія – обертів біоконтактори. Чітких границь між різними конструкціями

реакторів немає. Це підтверджують останні розробки і дослідження, у яких, наприклад, конструкція CASBER-процес містить у собі особливості і риси контактного реактора і реактора із псевдо зрідженим шаром і т.д.

Таблиця 4.15 – Механізм анаеробного розкладання

Органічні сполуки	Результати анаеробного розкладання
2, 4-динітрофенол, біс(етилгексилен) фталат, 2, 4-диметилфенол, 4-хлор-м-крезол, 4,6-динітро-о-крезол.	При концентрації 20 мг/дм ³ вихід метану становить 10% від теоретичного.
Тетрахлоретилен, 1,1,1-трихлоретан, хлороформ, четирьоххлористий вуглець	Розкладаються повільно і тільки в присутності іншого метаболіту, що може підтримувати ріст мікроорганізмів як джерело вуглецю.
Альдрин, α -гексахлорциклогексан, γ -гексахлорциклогексан	Трансформується в дильдрин, дехлорується до пентахлорциклогексана + HCl. Трансформується до 1,3,4,5,6-пентахлорциклогексана.
ДДТ	Дехлоруються частково.
Токсафен	Відновлюється і дехлорується.
1,1-дихлоретан, 1,2-дихлоретан	Піддаються біорозкладанню.
Карбамати (N-метил)	Деградація залежить від руйнування нометиламіна.
Галогенізовані бензоати (іод-, хлор-, бром-)	Розкладаються до CO ₂ і CH ₄ тільки 3-2, 3- і 4-заміщені сполуки
Бензол, ізопропилбензол, етилбензол, толуол	Руйнується до CO ₂ і C ₂ H ₄ . Анаеробні мікроорганізми каталізують також гідроксилування, деметилювання, декарбоксії і деметоксилювання.
3,4-, 2,5-, і 3,5-дихлорбензоат, 2,4,5-трихлорфеноксиацетат, 5-бром-2-хлорбензоат, 4-аміно-3,5-дихлорбензоат	Анаеробні мікроорганізми викликають дегалогенування.

До реакторів із зважено-седиментуючою біомасою відносяться лагуни, контактний реактор, реактор з висхідним потоком стічної води через шар анаеробного мулу, перегородковий реактор. Реакторами із прикріпленою біомасою є біофільтр із висхідним і біофільтр зі спадним потоком стічної води і нерухомо прикріпленою біоплівкою (DSFF-реактор); реактор з розширеним і зваженим шаром часток носія – обертові біоконтактори. *Чітких границь між різними конструкціями реакторів немає. Це підтвер-*

джують розробки і дослідження останніх років, у яких, наприклад, конструкція CASBER-процес містить у собі особливості і риси контактного реактора і реактора із псевдо-зрідженим шаром і т.п.

Приведемо комерціалізований перелік розроблених і використовуваних промислових технологій анаеробного очищення (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Технології анаеробного очищення

Тип реактора	Технологія аеробного очищення стічних вод	Фірма-розробник
Контактний з відстоюванням і ультра-фільтрацією	ANAMET BIOENERGY IRIS MARS	AC. Biotechnics AB (Швеція) Biomechanics Ltd (США) Institut de Recherches de l'industrie sucriere (Франція), Dorr-Oliver Inc. (США)
Анаеробний біо-фільтр	CTLROBIC ANDXAL BIOFAR BIOMASS	Badger (США) L'air liquide (Франція) Degremont (Франція) Biomass International
Зі спадним потоком	DSFF Bacardi FIJM FJXE	National Research Council (Канада) Bacardi Corp& (США) Societe Generals pour les Techniques Nouvelles (Франція)
UASB	LARAN BIOPAG BIOTHANE TAMAN BIOTIM	Linde AG (Німеччина) Paques BV (Нідерланди) CSM (Нідерланди) Tampella Ltd (Фінляндія) ESMIL (Бельгія) Biotim N.V. (Бельгія)
Із псевдозрідженим (розширеним) шаром носія	ANITRON HYFLO GIST- BROCADES	Dorr-Oliver Inc. (США) Ecotrol Inc. (США) Gist-Brocades N.Y. (Нідерланди)
Обертвий біо-контактор	AnRBS	Autotral (США)
Анаеробна лагуна	ADI-BVF	ADI International Ltd. (Канада)

Як приклад у табл. 4.17 наведена інформація про використання деяких промислових установок анаеробного очищення для різних типів стічних вод у целюлозно-паперовій промисловості [3, 14, 28]. У меншому сту-

пені ці технології застосовуються для знешкодження висококонцентрованих і пастоподібних відходів.

Таблиця 4.17 – Використання промислових установок анаеробного очищення

Джерело стічних вод	Місце розташування	Тип реактора	Витрата стоку, м ³ /доб.	Забруднення стоку (ХСК/БСК), мг/дм ³	Об'єм реактора, м ³	T, °C	Навантаження по ОР, $\frac{ea\ \dot{O}NE}{i^3 \cdot ai\ a}$	Час обробки, год	Ефективність по ХСК (по БСК), %
ЦПП	Швеція	Контактний	8700	3500/1300	12000	30...40	2,5	34	67 (немає даних)
ЦПП	ФРН	UASD	1500	15000/7500	1500	Немає даних	1,5	24	80 (90)
ЦПП	Франція	UASD	2300	3600/1700	1000	Те ж	8,5	10,2	75 (85)
Виробництво фенолу	Нідерланди	UASD	470	30000/немає даних	1280	-	11	65	95 (немає даних)
Виробництво антибіотиків	Іспанія	Анаеробний біофільтр	1170	16000/немає даних	1800	37	10,2	37	80 (немає даних)

В даний час проводяться дослідження анаеробного знешкодження твердих органічних відходів. Як правило, біотехнологічні методи рекомендуються для використання в сполученні з різними хімічними і фізичними методами обробки відходів. При цьому може бути досягнута висока ефективність при відносно невеликих витратах.

Слід зазначити, що в лабораторних умовах вивчені особливості першої стадії мікробіологічного процесу анаеробного розкладання твердих органічних відходів. На цій стадії в реакторі злегка вологі відходи піддаються ферментативному гідролізу з утворенням летких жирних кислот (ЛЖК), які на другій стадії за допомогою інших бактерій в окремому реакторі, куди ЛЖК переносяться потоком циркулюючої рідини, перетворюються в метан і СО₂. Як зразок для відпрацювання технологічних параметрів процесу використовувалася здрібнена солома. Доведено, що для максимальної утилізації органічної фракції твердих муніципальних відходів при анаеробній переробці з метою одержання енергії і добрив для сільськогосподарства в оброблювану масу не повинна додаватися вода. Питомий вихід газу – 500 л на кілограм сухого органічного матеріалу. Одержуваний газ на 60% складається з метану. Питоме навантаження апарата для анаеробної переробки – 10 кг органічного сухого матеріалу на 1 м³ газу за добу.

Триває пошук ефективних способів біорозкладання полімерних відходів. Для прискорення просування в цьому напрямку необхідно розширювати виробництво біорозкладаємих полімерів і одночасно проводити розробку ефективних систем збору і сортування такого роду відходів.

Останнім часом зростає інтерес до використання біотехнологій, особливо для обробки найбільш токсичних і небезпечних відходів. Це стосується біорозкладання пестицидів, нафти, фенолів для знешкодження відходів у ґрунтах і в підземних водах.

Генетично модифіковані мікроорганізми також можуть використовуватись для знешкодження відходів, які містяться у ґрунтах.

Для підтвердження екологічної чистоти біотехнологій знешкодження різних відходів, зокрема небезпечних, завжди необхідно здійснювати контроль ступеня мікробного забруднення об'єктів навколишнього середовища і очищених субстратів.

4.6.6 Використання відходів у якості вторинних матеріальних ресурсів

Розглянемо можливості використання відходів виробництва і споживання в якості вторинних матеріальних ресурсів на прикладі нафтохімічної промисловості (НХП). У НХП матеріальний індекс, тобто сумарна витрата сировини і допоміжних матеріалів на одиницю маси готової продукції (звичайно на 1 т), достатньо великий, особливо у виробництвах органічного синтезу. Наприклад, при виробництві барвників він може становити від 5 до 35 т і більше. Це обумовлено тим, що процес виробництва барвників складається з великої кількості технологічних циклів. Природно, що в таких випадках особливо гостро постає питання про скорочення кількості відходів, у тому числі і про використання відходів як вторинної сировини. Відходи можуть бути використані в якості вторинних матеріальних ресурсів (ВМР) у народному господарстві як на підприємствах, де ці відходи утворюються, так і за їхніми межами. До ВМР не відносяться відходи виробництва, які можуть бути використані повторно як сировина в тім же технологічному процесі, де вони утворилися.

На підприємствах органічного синтезу звичайно йде комплексна фізико-хімічна переробка сировини, в результаті якої крім готового цільового продукту утворюються побічні продукти і відходи виробництва. Побічні продукти - продукти фізико-хімічної переробки сировини - не є метою основного виробництва. Вони утворюються паралельно з основним продуктом і можуть бути використані в якості готової продукції, і як вихідна сировина на інших виробництвах. Побічні продукти нерідко є товарними, тобто мають нормативні документи і ціну. Нерідко виробник планує їхнє одержання і збут поряд з основним продуктом. Відходи виробництва варто розглядати як продукти фізико-хімічної переробки сировини, що не є метою основного виробництва, але вони можуть бути використані як вихідна сировина (або готова продукція) після відповідної переробки.

По-справжньому ефективним використання ВМР може стати при двох умовах: по-перше, при наявності досить повної і легко доступної ін-

формації про джерела накопичення відходів; по-друге, при вигідній економічній кон'юнктурі ринку відходів.

Наочним прикладом використання вторинних матеріальних ресурсів є схема використання склобою в різних галузях промисловості зображену на рис. 4.14.

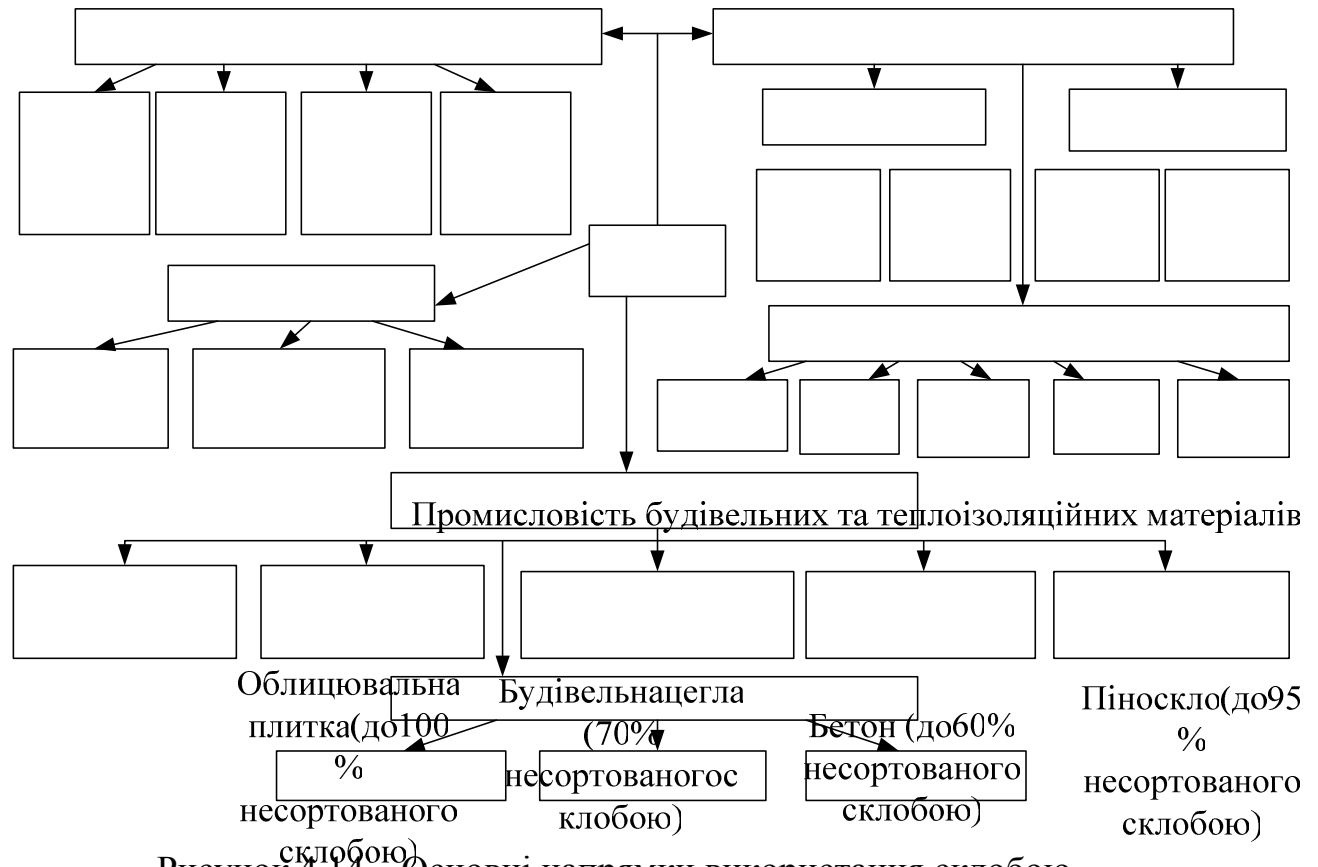


Рисунок 4.14 – Основні напрямки використання склобою

4.7 Роль маловідходних технологій у процесі обігу відходів

Створення безвідходних виробництв є до досить складним і тривалим процесом, проміжним етапом якого є маловідходне виробництво. Рівень впливу продуктів таких виробництв на навколишнє середовище не перевищує рівня, допустимого санітарно-гігієнічними нормами. При цьому за різних технічних, економічних, організаційних або інших причин частину сировини і матеріалів може переходити у відходи і направлятися на тривале зберігання або поховання.

Відповідно до діючого у Україні законодавства, підприємства, що порушують санітарні і екологічні норми, повинні бути реконструйовані або закриті, іншими словами, всі сучасні підприємства повинні бути маловідходними і безвідходними.

При організації виробничих процесів, що забезпечують умови маловідходного виробництва, підприємства змушені частину сировини направ-

Вогнетривки (до 90% проплавкого скла) 219

Абразивні матеріали (до 80% очищеного склобою)

Електроізоляційні матеріали (90...95%)

ляти на тривале зберігання або поховання. Виникає необхідність кількісної оцінки цієї сировини. У ряді галузей промисловості України такі кількісні показники вже прийняті. Наприклад, у кольоровій металургії застосовується *коефіцієнт комплектності*, що визначається за формулою

$$k_k = \frac{M_n}{M_b} \cdot 100\% , \quad (4.19)$$

де M_i – кількість корисної речовини, що витягається із сировини, що переробляється, т; M_a - кількість всієї сировини, що переробляється, т.

Цей показник коливається залежно від рівня технологічних процесів і організації виробництва. Так, на ряді підприємств галузі він дорівнює 80% і більше.

У вугільній промисловості застосовується *коефіцієнт безвідхідності*, що визначається за формулою

$$k_6 = 0,33(k_6^n + k_6^b + k_6^r), \quad (4.20)$$

де k_6^n – коефіцієнт використання породи, що утворюється при гірських виробітках; k_6^b – коефіцієнт використання води, що використовується при видобутку вугілля (сланцю); k_6^r - коефіцієнт використання пилогазових відходів.

Видобуток вугілля є одним з найбільш матеріалоємних і екологічно складних виробництв народного господарства. Для цієї галузі встановлено, що виробництво буде маловідходним, якщо $k_a = 75\%$. Цей показник може бути значно підвищений, якщо поряд з видобуванням сировини, використовуються відвали, які утворилися у попередні роки.

У першому наближенні, якщо значення коефіцієнта безвідхідності або коефіцієнта комплектності перевищує 75%, то виробництво може бути віднесене до категорії маловідходних, а якщо значення цих коефіцієнтів більше або рівні 95%, виробництво можна вважати безвідхідним. Такий підхід справедливий і для інших матеріалоємних галузей.

Створення безвідхідних виробництв вимагає вирішення складних організаційних, технічних, технологічних, економічних завдань. Для розробки і впровадження безвідхідних виробництв можна виділити ряд взаємозалежних принципів.

Наприклад, *принцип системності*, що лежить в основі створення безвідхідних виробництв, дозволяє врахувати взаємозв'язок, що підсилюється, і взаємозалежність виробничих, соціальних і природних процесів. Це підтверджується тим, що кожний окремо взятий процес або виробництво необхідно розглядати як елемент еколого-економічної системи, що ди-

намічно розвивається, що включає, крім матеріального виробництва і іншої господарсько-економічної діяльності людини, природне середовище (популяції живих організмів, атмосферу, гідросферу, літосферу, біогеоценози, ландшафти), а також людину.

Іншим найважливішим принципом створення безвідхідного виробництва є *комплексність використання ресурсів*, заснований на максимальному використанні сировинних компонентів і енергетичного потенціалу. Вся сировина практично є комплексною, і в середньому більше третині від її кількості становлять супутні елементи, які можуть бути отримані тільки при комплексній її переробці. Наприклад, у цей час майже все срібло, вісмут, платина і платиноїди, а також більше 20% золота одержують одночасно в процесі переробки комплексних руд. Принцип комплексного ощадливого використання сировини в Україні є обов'язковим державним завданням, яке чітко затверджене у ряді постанов уряду. Конкретні форми його реалізації залежать від рівня організації безвідхідного виробництва [26-34].

Не менш важливим принципом створення безвідхідного виробництва є *циклічність матеріальних потоків*. До циклічних матеріальних потоків можна віднести замкнуті водо- і газооборотні цикли. Послідовне застосування цього принципу повинне привести до формування свідомо організованого і регульованого техногенного кругообігу речовини і пов'язаних з ним перетворень енергії. Такий процес розвивається поетапно, починаючи з регіонів і розповсюджуючись на всю техносферу. Слід зазначити, що при розробці технологічних процесів, що забезпечують зменшення відходів або безвідходність виробництва, необхідно виконати вимоги по обмеженню впливу виробництва на навколишнє природне середовище і соціальну сферу з обліком планомірного і цілеспрямованого росту його об'ємів та екологічної досконалості. Це в першу чергу пов'язане зі збереженням таких природних і соціальних ресурсів, як атмосферне повітря, вода, поверхня землі, рекреаційні ресурси, здоров'я населення. Реалізація такого підходу може бути здійсненна лише в сполученні з ефективним моніторингом, розвиненим екологічним нормуванням і багатоланковим управлінням природокористуванням.

Ще одним визначальним принципом створення безвідхідного виробництва є *раціональність організації виробництва*. Визначальними тут виступають вимоги:

- розумного використання всіх компонентів сировини;
- максимального зменшення енерго- і трудомісткості виробництва;
- пошук нових екологічно обґрунтованих сировинних і енергетичних технологій.

Це дозволить знизити негативний вплив на навколишнє середовище і зменшити нанесений їй збиток. Кінцевою метою в цьому випадку варто вважати оптимізацію виробництва одночасно по енерготехнологічних,

економічних і екологічних параметрах. Основним шляхом досягнення цієї мети є розробка нових і вдосконалення існуючих технологічних процесів і виробництв.

Сукупність робіт, пов'язаних з охороною навколишнього середовища і раціональним освоєнням природних ресурсів, дозволяє сформулювати *головні напрямки створення мало- і безвідхідних виробництв*. До них відносяться:

- комплексне використання сировинних і енергетичних ресурсів;
- удосконалення існуючих і розробка принципово нових технологічних процесів і виробництв і відповідного устаткування;
- впровадження водо- і газовідбірних циклів на базі ефективних газо- і водоочисних методів;
- кооперація виробництв із використанням відходів одних виробництв в якості сировина для інших і створення безвідхідних територіально-виробничих комплексів.

При вдосконаленні існуючих, а також при розробці принципово нових технологічних процесів необхідне дотримання ряду загальних вимог:

- здійснення виробничих процесів з використанням мінімально можливого числа технологічних стадій (апаратів), тому що на кожній з них утворюються відходи і втрачається сировина;
- застосування безперервних процесів дозволяють найбільш ефективно використовувати сировину і енергію;
- збільшення одиничної потужності агрегатів до оптимальних значень;
- інтенсифікація виробничих процесів, їхня оптимізація і автоматизація;
- створення енерготехнологічних процесів, що дозволяють повніше використовувати енергію хімічних перетворень, заощаджувати енергоресурси, сировину і матеріали та збільшувати продуктивність агрегатів. Прикладом таких виробництв є виробництво аміаку за енерготехнологічною схемою.

При організації безвідхідних виробництв велике значення має кооперування підприємств різних галузей промисловості.

Раціональна переробка мінеральної сировини припускає використання його вихідних компонентів, тому що по кількості відходів, що утворюються в тому або іншому технологічному процесі, значною мірою можна судити про ефективність використання первинної сировини. У той же час утворення відходів є одним з основних факторів, що визначають масштаби шкідливого впливу виробництва на навколишнє середовище. Отже, як показник екологічності технологічного процесу може використовуватися такий критерій, як кількість відходів. Крім кількісної оцінки відходів виникає необхідність обліку їхньої якості, що дозволяє визначити токсичність компонентів відходів та їх небезпеку для навколишнього середовища. Хо-

ча в цей час немає єдиної типової методики оцінки екологічної досконало-
сті технології за допомогою обліку кількості відходів, проте в ряді галузей
промисловості така оцінка проводиться по конкретних видах виробництва.

Наприклад, оцінку екологічної досконало-
сті хімічних процесів і пи-
томого утворення відходів доцільно проводити за методикою, розробле-
ною В. Ремезом, А. Шубіним та ін., у якій критерій екологічності $K_{ек}$ про-
понується отримувати за формулою

$$K_{ек} = \sum m_i^p \cdot \frac{C_i^p}{ГДК_i^p} + \sum m_i^r \cdot \frac{C_i^r}{ГДК_i^r} + \sum m_i^t \cdot \frac{C_i^t}{ГДК_i^t}, \quad (4.21)$$

де m_i^p, m_i^r, m_i^t – кількість і-го токсичного компонента рідких, газо-
подібних і твердих відходів відповідно; C_i^p, C_i^r, C_i^t – концентрація і-го ком-
понента в рідких, твердих, мг/дм³, і газоподібних мг/м³, відходах; $ГДК_i^p$ –
гранично допустима концентрація і-го компонента у воді рибогосподарсь-
ких водойм, мг/дм³; $ГДК_i^r$ – гранично припустима концентрація і-го ком-
понента в повітрі населених місць, мг/м³. Для оцінки токсичності твердих
відходів передбачається використання $ГДК_i^t$, тому що при зберіганні тве-
рдих відходів можливо їхнє розчинення в атмосферних опадах, стічних і
грунтових водах.

Критерій екологічності враховує рідкі, газоподібні, тверді відходи.
При цьому кількість і-го компонента в рідких відходах

$$m_i^d = 2,4 \cdot 10^{-5} \frac{C_i^d \cdot Q \cdot n}{P}, \quad (4.22)$$

де Q – кількість рідких відходів, м³/год; n – число робочих днів у
році; P – кількість продукції, що випускається, т/рік.

Так, для газоподібних викидів для кожного j -го джерела кількість і-
го токсичного компонента розраховується за формулою

$$m_i^{rj} = C_i^{rj} \cdot V_j \cdot 10^{-6}, \quad (4.23)$$

де C_i^{rj} – концентрація і-го компонента в j -му джерелі, мг/м³; V_j –
об'єм викидів в j -му джерелі, м³/год.

Кількість і-го токсичного компонента, що викидається із газоподіб-
ними відходами j -им джерелом ($m_i^{\tilde{a}j}$), визначається сумою $m_i^{\tilde{a}j}$ і-му компо-
ненту із врахуванням робочого часу:

$$m_i^r = 2 \cdot 10^{-2} \frac{m_i^{rj} \cdot n}{P}, \quad (4.24)$$

Середня концентрація і-го компонента в газоподібних відходах розраховується за рівнянням

$$C_i^r = \frac{\sum C_i^{rj} \cdot V_j}{\sum V_j}, \quad (4.25)$$

де V_j – загальний обсяг шкідливих викидів, м³/год.

Кількість і-го токсичного компонента у твердих відходах

$$m_i^r = \frac{T_r \cdot r_i}{P \cdot 100}, \quad (4.26)$$

де T_r – кількість твердих відходів, т/год; r_i – вміст і-го токсичного компонента (елемента) у твердих відходах, %.

При безвідхідній технології, коефіцієнт дорівнює нулю.

Запропонований критерій має чітку екологічну значимість, тому що його значення залежить від кількості відходів і від їхньої токсичності, що визначають вплив технологічного процесу на навколишнє середовище.

Удосконалювання технологічних процесів основного виробництва і застосування передових технологій взаємоперетворення різних речовин сприяють зменшенню відходів, тобто дозволяють одержати безвідхідне або маловідходне виробництво. Однак необхідно відзначити, що з початку 1990-х рр. частка таких виробництв не збільшилася, тому що в ряді галузей спостерігався значний спад виробництва.

Розглядати всі можливі напрямки створення маловідходних і безвідхідних виробництв по всіх галузях промисловості немає необхідності, тому що багато процесів знаходять застосування в різних галузях. Тому як приклади приведемо можливі напрямки такої роботи стосовно окремих галузей і виробництв.

Наприклад, в енергетиці для зниження відходів до рівня, що відповідає маловідходному або безвідхідному виробництву, доцільно ширше впроваджувати сучасні технології спалювання палива, наприклад, у киплячому шарі, при якому знижується вміст забруднюючих речовин у газах, що викидаються. Необхідно застосовувати пилоочисне устаткування із максимальним КПД. Отриману золу можна ефективно використовувати як сировина, наприклад, при виробництві будівельних матеріалів.

У гірській промисловості необхідно:

- впроваджувати технології повної утилізації відходів як при відкритому, так і при підземному способі видобутку корисних копалин;
- ширше застосовувати геотехнологічні методи розробки родовищ корисних копалин, прагнучи до видобутку тільки цільових компонентів;
- використовувати безвідхідні методи збагачення і переробки природної сировини на місці її видобутку;
- застосовувати гідрометалургійні методи переробки руд.

У чорній і кольоровій металургії при створенні нових і реконструкції діючих виробництв необхідно впроваджувати технології, що забезпечують ощадливе і раціональне використання рудної сировини і зниження відходів до рівня безвідхідних виробництв. Це може бути забезпечено:

- залученням у переробку газоподібних, рідких і твердих відходів виробництва і зниженням викидів і скидів шкідливих речовин;
- широким використанням багатотоннажних відвальних твердих відходів гірського і збагачувального виробництва в якості будівельних матеріалів для дорожніх покриттів, стінових блоків і т. д. замість спеціально видобутих мінеральних ресурсів;
- переробкою у повному об'ємі всіх доменних і феросплавних шлаків, а також істотним збільшенням масштабів переробки сталеплавильних шлаків і шлаків кольорової металургії;
- різким скороченням витрат води і зменшенням об'єму стічних вод шляхом подальшого розвитку і впровадження безводних технологічних процесів і безстічних систем водопостачання;
- підвищенням ефективності існуючих і створюваних процесів уловлювання побічних компонентів із газів і стічних вод що викидаються;
- широким впровадженням сухих способів очищення газів від пилу в усі видах металургійних виробництв і вишукуванням більш досконалих способів очищення газів, що викидаються;
- утилізацією сірковмісних (< 3,5%) газів змінного складу шляхом впровадження на підприємствах кольорової металургії ефективного способу - окислювання сірчистого ангідриду в нестационарному режимі подвійного контактування;
- прискорення впровадження ресурсозберігаючих автогенних процесів і в тому числі плавки в рідкій ванні, що дозволить не тільки інтенсифікувати процес переробки сировини, зменшити витрату енергоресурсів, але й значно оздоровити повітряний басейн у районі дії підприємств за рахунок різкого скорочення об'єму газів, що викидаються, і одержати висококонцентровані сірковмісні гази, використовувані при виробництві сірчаної кислоти і елементарної сірки;
- розробкою і широким впровадженням на металургійних підприємствах високоефективного очисного устаткування, а також апаратів контролю різних параметрів забруднення навколишнього середовища;

- найшвидшою розробкою і впровадженням нових прогресивних маловідходних і безвідходних процесів, маючи на увазі бездоменний і безкоксний процеси одержання сталі, порошкову металургію, автогенні процеси в кольоровій металургії та інші перспективні технологічні процеси, спрямовані на зменшення викидів у навколишнє середовище;

- розширення застосування мікроелектроніки, АСУ, АСУТП у металургії з метою економії енергії і матеріалів, а також контролю утворення відходів і їхнього скорочення.

У хімічній і нафтопереробній промисловості необхідно використовувати:

- окислювання і відновлення із застосуванням кисню, азоту і повітря;
- електрохімічні методи;
- мембранну технологію поділу газових і рідинних сумішей;
- біотехнологію, включаючи виробництво біогазу із залишків органічних продуктів;

- методи радіаційної, ультрафіолетової, електроімпульсної і плазмової інтенсифікації хімічних реакцій.

У машинобудуванні, особливо в гальванічному виробництві:

- удосконалювання методів водоочищення;
- перехід до замкнутих процесів рециркуляції води;
- добування металів зі стічних вод.

Не менш важливим є впровадження сучасних технологій металообробки, наприклад одержання деталей із прес-порошків та ін.

У паперовій промисловості першочерговим є:

- скорочення водо витрат на одиницю продукції;
- створення замкнутих і безстічних систем водопостачання;
- максимальне використання екстрагентів, що втримуються в деревній сировині, для одержання цільових продуктів;
- удосконалювання процесів відбілювання целюлози за допомогою кисню і озону;

- поліпшення процесу переробки відходів лісозаготівель біотехнічними методами;

- створення потужностей по переробці паперових відходів, включаючи макулатуру.

Контрольні питання

1. Дати характеристику промисловим технологіям санітарної очистки міст і населених пунктів.
2. Дати характеристику складу і властивостям відходів, що враховуються при виборі промислової технології переробки ТПВ.
3. Проаналізувати особливості поховання відходів на смітниках і полігонах.

4. Дати характеристику переробки твердих побутових відходів компостуванням.
5. Проаналізувати особливості вибору промислової технології термічної переробки ТПВ.
6. Дати характеристику біорозкладання органічних відходів.
7. Дати характеристику використання відходів у якості вторинних матеріальних ресурсів.
8. Проаналізувати роль безвідхідних і маловідходних технологій у процесі обігу відходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна стратегія поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Керівництво з впровадження стратегії – том 2. Наближення до ЄС – Грудень 2004.
2. Бюстрем Й., Ефимова Т. Комплексный подход к обращению с отходами. // Экология производства, №5, 2005.
3. Мюррей Р. Цель – Zero Waste. (Перев. с англ.). – М.: ОМННО. «Совет Гринпис», 2004.–232 с.
4. Бабаев В.Н., Горох Н. П., Коваленко Ю. Л., Коринько И. В., Науменко А. С. Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города: Учеб. пособие для студ. спец. "Водоснабжение и водоотведение", "Экология и охрана окружающей среды" / Харьковская национальная академия городского хозяйства / В.Н. Бабаев (общ.ред.). – Х. : ХНАГХ, 2004. – 375 с.
5. Рижков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатный В.В. Технології утилізації та рекуперації відходів: методичні вказівки – Миколаїв, УДМТУ, 2003. 80 с.
6. Твердые бытовые отходы. Проблемы и решения. Технологии, оборудование / А.М.Касимов, В.Т.Семенов, А.М.Коваленко, А.М.Александров. – Харьков, ХНАГХ, 2006. – 301 с.
7. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка/А.А.Дрейер, А.Н.Сачков, К.С.Никольский и др. – М.:Эколайн, 2004. –156 с.
8. Черп О.М., Виниченко В.Н. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход. – М.: Эколайн, 1996. - 48 с.
9. Пойкер Х. Культурный ландшафт: формирование и уход /Пер. с нем. В. В. Цветкова. – М.: Агропромиздат, 1987. – 176 с.
10. Студінський В.А. Управління твердими побутовими відходами в містах України – К.: Видавництво «КІМО», 2006. – 152 с.
11. Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России/Под ред. В. Ф. Протасова. – М.: Финансы и статистика, 1995. - 528 с.
12. Скиба М.Є. Обладнання для переробки відходів: – Хмельницький, ПП Ковальський В.В. – 2004. – 124 с.
13. Пупырев Е. И. Опыты конструктивной экологии. – М.: Прима-Пресс, 1997.- 142 с.
14. Пупырев Е. И. Система экомониторинга Москвы (состояние и перспектива). В кн. «Экология большого города». – М.: Прима-Пресс, 1996. – 180 с.
15. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник /Под ред. д-ра техн. наук А. Н. Мирного. – М.: АКХ, 1997. – 320 с.

16. Твердые отходы: (Возникновение, сбор, обработка и удаление). Сокр. пер. с англ. /Под ред. Ч. Мантелла. – М.: Стройиздат, 1979. – 519 с.
17. Экология, охрана природы и экологическая безопасность /Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. - М.: МНЭПУ, 1997. - 425 с.
18. Пурим В.Р. Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики – М.: Энергоатомиздат, 2002. 112 с.
19. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы (хранение, утилизация, переработка). - М.: ИТД «ГРАНД», 2002.
20. Саратов И.Е., Юрченко В.А., Горох Н.П. Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города: Учебное пособие. На правах рукописи. - Харьков, 2003.
21. Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Шехирев Д.В. Технология отходов мегаполиса (технологические процессы в сервисе). - М., 2002.
22. Экология города / Под редакцией Ф.В. Стольберга. - К.: Либра, 2000.
23. Инженерная экология и экологический менеджмент. Учебник. - Москва: Логос, 2003. - 528 с.
24. Гриценко А.В., Горох Н.П., Внукова Н.В., Коринько И.В., Туренко А.Н., Шубов Л.Я. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса: Учебное пособие. – Харьков: ХНАДУ, 2005.–340 с.
25. Калыгин В.Г. Промышленная экология. Курс лекций. -М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. - 240 с.
26. Левин Б.И., Матросов А.С. Термические методы обезвреживания и энергетического использования твердых бытовых отходов: Учебное пособие. - М.: УРАО, 1999. - 64 с.
27. Основы экологии и природопользования. Учебное пособие / В.Л. Дикань, А.Г. Дейнека, Л.А. Позднякова, И.Д. Михайлов, А. А. Каграманян. - Харьков: Олант, 2002. - 384 с.
28. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. - М.: КолосС, 2003. - 230 с.
29. Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест. - М.: Стройиздат, 1995. - 250 с.
30. Твердые отходы. Возникновение, сбор, обработка и удаление. / Под ред. Ч. Мантелла. Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1979.-519 с.
31. Эйхлер В. Яды в нашей пище. - М.: Мир, 1993. - 189 с.
32. Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Форстера и А.А. Дж. Вейза. - Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1990. -243 с.
33. Экология города: Учебник / Под ред. Ф.В. Стольберга. -Киев: Либра, 2000 - 464 с.
34. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник /Под ред. д-ра техн. наук А. Н. Мирного. – М.: АКХ, 1997. – 320 с.
35. Соломин И. А., Сметанин В. И. Переработка строительных отходов (на примере г. Москвы). В кн. «Природообустройство – важная деятельность человека». – М.: МГУП, 1998. – 223 с.

ГЛОСАРІЙ

Біовідходи

Будь-які відходи, що піддаються анаеробному або аеробному розкладанню, такі як харчові або садові відходи, а також папір і картон. Такі відходи також називаються біовідходами. Відходи, що біологічно розкладаються, включають органічні відходи.

Біогазова установка

Спорудження по переробці ТПВ (перетворення органічного матеріалу в біогаз у реакторі (септиктенці).

Біологічна переробка ТПВ

Переробка фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються, за умов контролювання процесу і використання мікроорганізмів, у результаті якої утворюються стабільні органічні відходи, а також, метан - в умовах відсутності кисню (анаеробне розкладання). Розміщення відходів на полігонах не може розглядатися в якості біологічної переробки відходів. Називається також “органічною переробкою”, біологічна переробка ТПВ включає компостування, анаеробне розкладання органічного матеріалу, утворення біогазу, механічну/біологічну переробку або будь-який інший процес санітарної обробки відходів, що біологічно розкладаються.

Відходи

Будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення.

Виробництво енергії з ТПВ

Використання спалених ТПВ для виробництва енергії шляхом прямого спалювання з утворенням тепла та електроенергії.

Завод з виробництва компосту

Завод з компостними технологіями, на яких переробляються органічні відходи з використанням процесу аеробного розкладання і отримують компост у якості продукції.

Зберігання ТПВ

Тимчасове розміщення ТПВ у спеціально відведених місцях чи об'єктах (до їх утилізації).

Звичайний збір у контейнери

Метод збору ТПВ, при якому змішані ТПВ від утворювачів збираються в контейнери і транспортуються на об'єкти поводження з ТПВ.

Знешкодження ТПВ

Зменшення чи усунення небезпечності ТПВ шляхом механічної, фізико-хімічної, термічної чи біологічної переробки.

Компостування біля джерела утворення

Компостування відходів, що біологічно розкладаються, на ділянці, яка належить домовласнику.

Кінцеві відходи

Продукція заводів з перероби ТПВ, що не може бути утилізована, а підлягає розміщенню на полігонах. Наприклад, залишкові продукти спалювання ТПВ.

Метод збору ТПВ

Конкретний метод, що застосований для збору ТПВ, а також використані при даному методі фізичні елементи, наприклад, контейнери, сміттєвози, частота вивозу, розміщення контейнерних площадок і кінцевий пункт призначення ТПВ.

Об'єкти поводження з ТПВ

Місця чи об'єкти, що використовуються для збирання, зберігання, переробки, утилізації, знешкодження та захоронення ТПВ.

Органічні відходи

Група відходів, що містять органічну фракцію.

Перевезення ТПВ

Транспортування ТПВ від місць їх утворення або зберігання до місць чи об'єктів переробки, утилізації.

Перероблення ТПВ

Здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей ТПВ, з метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації.

Поводження з ТПВ

Дії, спрямовані на запобігання накопиченню ТПВ, їх збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізацію, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.

Повторне використання

Будь-яка операція, у результаті якої складові ТПВ відбираються та використовуються повторно. Наприклад, повторне використання склопосуду.

Пункти прийому вторсировини

Об'єкт збору ТПВ, при якому створюється ділянка з різними контейнерами, де утворювачі ТПВ збирають вторсировину.

Роздільний збір у спеціальні контейнери

Метод збору ТПВ, при якому кожна фракція відходів, предметів для подальшої переробки або повторного використання (вторсировина), збирається роздільно в спеціальні контейнери.

Сміттєспалюючі заводи

Заводи зі спалювання ТПВ, на якому здійснюється термічна переробка відходів з або без виробництва електро-/теплоенергії, що утвориться в процесі спалювання.

Спалювання відходів

Термічний процес окислення з метою зменшення обсягу побутових відходів, вилучення з них цінних матеріалів та отримання енергії, що супроводжується утворенням золи.

Тверді побутові відходи (ТПВ)

Відходи, які утворюються в процесі життя і діяльності людини і накопичуються у житлових будинках, закладах соціальної інфраструктури, громадських, навчальних, лікувальних, торговельних та інших закладах (харчові відходи, предмети домашнього вжитку, сміття, опале листя, відходи від прибирання та поточного ремонту квартир, макулатура, скло, метал, пластмаси, полімерні матеріали тощо) і не мають подальшого використання за місцем їх утворення.

Утворювач побутових відходів

Фізична або юридична особа, діяльність якої призводить до утворення побутових відходів, або, якщо ці особи невідомі, власник чи орендар території, на якій вони знаходяться.

Утилізація ТПВ

Використання ТПВ як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

Фракція ТПВ

Група матеріалів з однаковими характеристиками або властивостями, наприклад, папір, картон, пластмаса, спалені відходи, скло і метал тощо.

Аеробне компостування

Метод компостування органічних відходів з використанням бактерій, який вимагає наявності кисню. За цим методом, відходи повинні піддаватися дії повітря або шляхом їх перевертання або з допомогою подачі повітря по трубах, що проходять через компостований матеріал.

Анаеробне розкладання

Метод компостування, який не вимагає наявності кисню. Під час компостування за цим методом утворюється метан. Цей метод також відомий під назвою анаеробне компостування.

Біологічна обробка

Обробка фракцій ТПВ, які біологічно розкладаються, в умовах контрольованого процесу і з використанням мікроорганізмів за присутності кисню – компостування чи його відсутності – анаеробне перегнивання.

Внутрішньо-корпусне компостування

Компостування в закритій камері чи барабані при контрольованому внутрішньому середовищі, механічному змішуванні і аерації.

Вторинне паливо

Паливо, що виробляється з ТПВ, які пройшли обробку. Обробка може включати сепарацію перероблюваних та неспалювальних матеріалів, подрібнення, дроблення та гранулювання.

Горючі відходи

Ті відходи, які піддаються спалюванню, включаючи папір, пластмасу, деревину, харчові та садові відходи.

Дворові відходи

Листя, скошена трава, обрізки дерев і інші природні органічні матеріали, які виносяться з дворів і садів.

Дилер відходів

Посередник, який закупає перероблювані матеріали від утворювачів відходів і роз'їзних закупівельників і після сортування та певної обробки реалізує їх оптовим посередникам чи переробним підприємствам.

Дослідження морфологічного складу відходів

Аналіз зразків, взятих з відходопотоку для визначення їх складу.

Енергетична установка, що працює на відходах

Установка, яка для отримання енергії використовує тверді відходи (оброблені чи необроблені). До таких енергетичних установок відносяться сміттєспалювальні установки, які виробляють пару для централізованого тепlopостачання чи промислового використання або виробляють електроенергію, а також установки, що перетворюють полігонний газ в електроенергію.

Компост

Матеріал, що утворюється в результаті компостування. Компост, який також називається гумус, є матеріалом для покращення [кондиціонування] ґрунту, а в деяких випадках використовується в якості добрива.

Компостування

Біологічне розкладання твердих органічних матеріалів бактеріями, грибками і іншими організмами у подібний до ґрунту продукт.

Метан

Газ (CH_4) без запаху, без кольору, вибухонебезпечний. Утворюється внаслідок анаеробного розкладання ТПВ на полігонах.

Модульна сміттєспалювальна установка

Відносно невеликий за розміром збірний агрегат для спалювання твердих відходів.

Моно-полігон

Полігон, призначений лише для одного виду відходів.

Надійний полігон

Об'єкт видалення відходів, призначений для постійного ізолювання відходів від навколишнього середовища. Це передбачає захоронення відходів на полігоні, який має протифільтраційні екрани з глини і/або синтетичного матеріалу, систему збирання фільтрату, систему збирання полігонного газу (у випадках утворення такого газу) і герметичне накриття.

Органічні відходи

Формально – це відходи, які містять вуглець, включаючи папір, пластмасу, деревину, харчові відходи та дворові відходи. На практиці, у сфері поводження з ТПВ цей термін часто використовується у більш об-

меженому розумінні і означає матеріал, який безпосередньо отримується з рослинного чи тваринного джерел і як правило може розкладатися з допомогою мікроорганізмів.

Переносники інфекцій

Організми, які переносять хвороботворні мікроорганізми. На полігонах основними переносниками, що розповсюджують хвороботворні мікроорганізми за межі території полігону, є гризуни, мухи і птахи.

Переробка

Процес збирання, підвищення якості та перетворення матеріалів на сировину для виробництва нових продуктів, які можуть бути чи не бути аналогічними вихідному виробу.

Перероблювані матеріали

Матеріали, які можуть перероблятися у сировину для нових виробів. Загальновідомими прикладами є папір, скло, алюміній, гофрований картон і пластмасові ємності.

Піроліз

Хімічне розкладання речовини теплом при відсутності кисню, в результаті чого утворюються різні вуглеводневі гази, наприклад, синтез-газ та подібні до вуглецю рештки.

Побутові небезпечні відходи

Вироби, що використовуються в житлових приміщеннях, такі як фарби та деякі миючі суміші, що є токсичними для живих організмів та/або довкілля.

Полігонні гази

Гази, що утворюються внаслідок розкладання органічних відходів; в основному це метан, вуглекислий газ і сірководень. Такі гази можуть призвести до вибухів на полігонах.

Сміттєспалювальна установка з шаром флюїдизованого матеріалу

Вид установки для спалювання, в якій топочна решітка замінена стійким до високих температур шаром вапняку чи піску. Підігрівання цього шару та висока швидкість повітря спричиняють кипіння цього шару, внаслідок чого й з'явився термін флюїдизування.

Спалювання

Процес спалювання твердих відходів в контрольованих умовах, з метою зменшення їх ваги і об'єму, а часто й генерування енергії.

Шлак

Негорючі тверді побічні продукти сміттєспалювання або інших процесів горіння.

Навчальне видання

**Петрук Василь Григорович
Васильківський Ігор Володимирович
Іщенко Віталій Анатолійович
Петрук Роман Васильович**

УПРАВЛІННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

Частина четверта

Технології переробки твердих побутових відходів

Навчальний посібник

Редактор О. Скалоцька

Оригінал-макет підготовлено І. Васильківським

Підписано до друку 27.07.2012 р.
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 5.5
Наклад при. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114.
Тел. (0432) 59-87-38
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.