

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

ПІДГОТОВКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та
будівельних матеріалів і виробів»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Ю. Щербина, В. І. Сівецький, О.В. Гондляр; – Електронні текстові дані (1 файл: 18,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 09.12.2021 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 8 від 27.09.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ ПІДГОТОВКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ

Укладачі: *Щербина Валерій Юрійович*, д-р техн. наук, професор,
Сівецький Володимир Іванович, канд. техн. наук, професор,
Гондляр Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор

Відповідальний

редактор

Панов Є М., д-р. техн. наук, професор

Рецензент:

Марчевський В.М., канд. техн. наук, професор кафедри
машин і апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв
КПІ ім. Ігоря Сікорського

В навчальній дисципліні «Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» вивчаються особливості конструктивного оформлення обладнання, його конструювання та розрахунок. Значна увага приділяється опису машин та апаратів, що використовуються в галузі та питанням вдосконалення обладнання з підвищенням їх ефективності. Лекційний курс включає розділи «Підготовка сировинних матеріалів. Класифікація неоднорідних систем» та «Устаткування для змішування та формування».

Даний посібник призначений для закріплення та поглиблення програмного курсу з метою вивчення новітнього устаткування галузі, спеціальних методів проектування для вдосконалення, підвищення ефективності, забезпечення високої якості виконання проектно-конструкторських розробок та реалізації найбільш ефективних проектних рішень. Дисципліна орієнтує студентів на сучасний світовий рівень науково-технічних розробок в галузях застосування обладнання для виробництва полімерних та будівельних матеріалів.

Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування і буде корисним студентам, науковцям, викладачам при вивченні, проектуванні та моделюванні механічних процеси і обладнання для виробництва полімерних та будівельних матеріалів.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ПІДГОТОВКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ.	
КЛАСИФІКАЦІЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ	7
1.1. Розділення гетерогенних систем. Класифікація процесів та апаратів розділення	7
1.1.1. Механічне розділення	11
1.1.2. Гідромеханічне розділення.....	12
1.1.3. Електромагнітне розділення	14
1.1.4. Хімічне розділення.....	15
1.1.5. Масообмінний поділ	16
1.1.6. Біологічне розділення	17
1.1.7. Класифікація процесу розділення	20
1.2. Огляд апаратного оформлення	23
1.2.1. Загальні відомості про сортування матеріалу	23
1.2.2. Машини для механічного сортування.....	25
1.2.3. Фільтраційні пиловловлювачі.....	36
1.2.4. Гравітаційне й інерційне сортування	42
1.2.5. Ротаційні пиловловлювачі.....	46
1.2.6. Машини для гідравлічної класифікації.....	47
1.2.6.1. Центрифуги та сепаратори.....	49
1.2.6.2. Фільтри.....	54
1.2.6.3. Скрубери	58
1.2.7. Електричні сепаратори	73
1.2.8. Фізико-хімічні методи	77
1.2.9. Біологічне розділення (очищення)	81
Контрольні запитання та завдання	86
РОЗДІЛ 2. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ...89	
2.1 Конструкція та основи параметричного розрахунку роторних змішувачів періодичної дії.....	89
2.1.1. Конструктивна схема роторного змішувача Бенбері	89
2.1.2. Поле тисків і швидкостей в робочій камері	91
2.1.3. Визначення енергосилових параметрів.....	93
2.2. Конструкція та основи розрахунку вузлів та деталей роторних змішувачів на міцність. Гумозмішувачі безперервної дії.....	95
2.2.1. Конструкція та розрахунок змішувальної камери	95

2.2.2. Основи конструювання та розрахунку роторів на міцність	97
2.2.3. Гумозмішувачі безперервної дії	99
2.3. Устаткування для складання шин. Конструкції складальних станків, барabanів, механізмів обробки буртів і прикатчиків	101
2.3.1. Конструкція складальних станків.....	102
2.3.2. Складальні барабани	103
2.3.3. Механізм обробки борта заготовки шини	107
2.4. Устаткування для вулканізації гумотехнічних виробів.	108
2.4.1. Автоклав-преси.....	108
2.4.2. Індивідуальні вулканізатори	110
2.4.3. Розрахунок байонетного затвору автоклав-преса.....	113
2.5. Форматори-вулканізатори.....	115
2.6. Основи розрахунку форматорів вулканізаторів.	121
2.6.1. Розрахунок на міцність форматорів-вулканізаторів.....	121
2.6.2. Розрахунок приводу форматора-вулканізатора	123
Контрольні запитання та завдання	126
ЛІТЕРАТУРА.....	128

ВСТУП

Процеси розділення гетерогенних систем складають основу багатьох виробництв хімічної, нафтохімічної, будівельної, харчової та інших галузей промисловості. У загальному випадку ці системи підрозділяють на рідкі і газові гетерогенні системи та сепаруються в устаткуванні що відрізняється великою розмаїтістю. Методи розділення вибирають у залежності від характеру складових частин системи і стану фаз [1, 2, 3] з врахуванням фізичних і хімічних властивостей середовища, а також фази, що знаходиться в дрібнодробленому стані.

Розділення неоднорідних сумішей на їхні компоненти, що використовується в чисельних хімічних виробництвах, зазвичай здійснюється методами заснованими, або на різниці щільності цих компонентів (фаз), або на затримці одного з них (твердої фази) пористою перегородкою, що пропускає лише суцільну фазу (рідина, газ). Перші із цих методів називають осадженням, або відстоюванням, другі - фільтруванням. Також застосовується розділення в електричному полі, використовуючи взаємодію твердих часток або дрібних крапель із електродом. У загальному випадку процеси розділення неоднорідних систем здійснюють в устаткуванні, що відрізняється великою різноманітністю. Для розділення суспензій найбільш широко застосовують фільтри, для емульсій - центрифуги й сепаратори, для грубого розділення суспензій - гідроциклони, для розділення аерозолів - апарати сухого і мокрого пилоочищення та електрофільтри.

Крім того розділення систем можливе з використанням біогеотехнологічних методів, мікробіологічної адсорбції та бактеріального вилуговування, що дозволяє отримати додаткову кількість кольорових металів за рахунок утилізації відходів збагачувальних фабрик, металургійних виробництв, а також переробки так званих забалансових руд, добування корисних копалин з морської води й стоків. Вилуговування куп і відвалів, в основному, зводиться до добування металів з

відходів гірничодобувної промисловості або побічних бідних руд, переробка яких звичайними способами не економічна.

Переробка пластичних мас і гумових сумішей являє собою сукупність різних технологічних процесів, за допомогою яких вихідний полімерний матеріал перетворюється в виріб із заздалегідь заданими експлуатаційними властивостями [4].

При виготовленні профільних полімерних виробів, отриманих безперервним перетворенням розплаву полімерного матеріалу в готовий продукт застосовуються підготовчі методи для поліпшення технологічних властивостей сировини, що переробляється, а також для отримання напівфабрикатів і заготовок. Одним з основних серед підготовчих методів є змішування, яке використовується для отримання суміші з основного полімеру і різних інгредієнтів, котрі істотно поліпшують властивості матеріалу та виробів з нього. З огляду на те, що інгредієнти вводяться в основний полімер в агломерованому вигляді, процес змішування супроводжується одночасним диспергуванням, тобто подрібненням інгредієнтів.

Потрібно відзначити, що незважаючи на удавану конструктивну простоту розглянутих апаратів, та наявність великої кількості експериментальної інформації [5-6] про структуру потоків і закономірностей процесів розділення, що протікають у них, моделювання роботи цих систем залишається однією з головних проблем при проектуванні промислових установок. Дотепер багато питань, зв'язаних з розрахунком промислових апаратів, залишилися невирішеними [7-10]. Чисто експериментальний підхід не вирішує проблему повністю, тому що в цьому випадку відсутня узагальненість результатів досліджень, а теоретичний обумовлений труднощами математичного характеру. Тому дотепер не створено універсальної теоретичної моделі, що давала б можливість точно прогнозувати їхні параметри. Відсутність строго обґрунтованих рекомендацій з раціонального конструювання обмежує показники створюваних промислових апаратів і установок.

РОЗДІЛ 1. ПІДГОТОВКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ. КЛАСИФІКАЦІЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ

1.1. Розділення гетерогенних систем. Класифікація процесів та апаратів розділення

Процеси розділення гетерогенних систем становлять основу багатьох виробництв хімічної, нафтохімічної, харчової, металургійної, гірничорудної, біологічної й іншої галузей промисловості. Виробництво будівельних матеріалів, анілінових й інших барвників, хімічних волокон, сірчаної кислоти, твердих гранульованих добрив, твердого палива, вина, лікарських препаратів, металевих порошків і багатьох інших продуктів не можливе без здійснення процесу розділення гетерогенних систем.

Процеси хімічної обробки сипучих матеріалів вимагають, як правило, однорідного розміру часток. Так як ці матеріали являють собою здебільшого суміші часток або фракцій різних розмірів, виникає необхідність розділення їх на фракції приблизно однакового розміру. Розділення також використовується у процесі здрібнювання твердих матеріалів, оскільки швидке видалення цільової фракції з робочої зони машини подрібнення забезпечує максимальну її продуктивність при мінімальній питомій витраті енергії.

Наприклад, для виробництва будматеріалів потрібно виділяти з гірських порід мінерали, що містять корисні копалини, і робити збагачення. У зернопереробній промисловості необхідно відокремити зерна від стебел, провести їхнє сортування й відокремити оболонки зерен від живильного змісту.

Охорона навколишнього середовища неможлива без очищення стічних вод та розділення аеродисперсних систем. Видобуток і переробка корисних копалин, зокрема золота, вугілля, нафти, поліметалевих руд заснований на поділі гетерогенних систем [14].

Під неоднорідною гетерогенною системою розуміють систему, що складається з різних фаз, наприклад рідини й твердих часток, рідини й газу й т.д. Будь-яка неоднорідна система складається із двох і більше фаз. Одна фаза, дисперсна, або внутрішня, знаходиться в дрібнодисперсному стані; інша фаза, дисперсійна, або зовнішня, являється суцільною, оточує окремі частинки дисперсної фази і представляє собою середовище, у якій розподілені частинки дисперсної фази.

Залежно від фізичного стану фаз розрізняють неоднорідні рідкі й газоподібні системи приведені в табл.1.1.

Неоднорідні рідкі й газоподібні системи

Неоднорідні системи	Дисперсійна (суцільна) фаза	Дисперсна фаза
Суспензія	Рідина	Тверда речовина
Емульсія	Рідина	Рідина
Піна	Рідина	Газ
Пил, дим	Газ	Тверда речовина
Туман	Газ	Рідина

Всяка неоднорідна система характеризується концентрацією дисперсної фази й розмірами її часток.

Всі системи, що складаються з рідкої й твердої фаз, залежно від розмірів часток твердої речовини, можуть бути умовно розділені на чотири групи:

- 1) Грубі суспензії – розмір твердих часток > 100 мкм,
- 2) Тонкі суспензії – розмір твердих часток $0.5-100$ мкм,
- 3) Каламуть – розмір твердих часток $0,1-0,5$ мкм,
- 4) Колоїдний розчин – розмір твердих часток $< 0,1$ мкм.

Можна вважати, що границя між суспензіями і колоїдними розчинами визначається появою броунівського руху твердих часток. З виникненням броунівського руху ці частинки не можуть осаджуватися під дією сили ваги.

Емульсії складаються з рідин, що не змішуються, і можуть розшаровуватися під дією сили ваги. Емульсії мають стійкість лише при дуже незначних розмірах крапель дисперсної фази (менш $0,4-0,5$ мкм), або при додаванні стабілізаторів, наприклад мила. Зі збільшенням концентрації емульсованої речовини в емульсіях можливе злиття фаз: краплі дисперсної фази зливаються одна з другою й утворюють суцільну фазу, в якій розподіляються краплями рідини, що була раніше дисперсійною фазою.

Піни, що представляють собою газопо-рідинні системи, по своїх властивостях близькі до емульсій.

Неоднорідні газові системи утворюються: 1) у результаті механічного розділення часток у газі (при дробленні твердих матеріалів, розпиленні рідин і т.д.); 2) при конденсації парів (газів) з переходом їх у рідкий або твердий стан. У першому випадку утворюють пил, а в другому – тумани або дими. Такі ж системи можуть утворюватися в результаті взаємодії між газами, що супроводжується утворенням твердих або рідких речовин. Пил, дими й тумани являють собою аеродисперсні системи, або аерозолі, і розрізняються розміром зважених часток:

- механічні (пил) – розмір $5-100$ мкм;
- конденсовані (дим, тумани) – розмір $0,3-5$ мкм.

Зважені частинки в газових системах, особливо в конденсованих, можуть у багатьох випадках, з'єднуючись один з іншим, укрупнюватися (агломеруватися).

Вибір методу розділення неоднорідних систем залежить головним чином від розмірів зважених часток. Застосовуються наступні методи розділення неоднорідних систем: 1) осадження, 2) фільтрування, 3) мокрий поділ.

Осадження застосовується головним чином для розділення суспензій і пилів. Воно відбувається під дією сил ваги, сил інерції (у тому числі відцентрових), електростатичних сил або звукових хвиль.

Фільтрування здійснюється під дією сил тиску (розділення суспензій і відділення тонких пилів), або відцентрових сил (розділення суспензій на центрифугах).

Мокрий поділ застосовують головним чином для очищення газів (відділення пилів і туманів), але використовують також при обробці суспензій у комбінації з іншими способами розділення (промивання осадів при відстоюванні та фільтруванні).

Таким чином, принципово ті самі методи застосовні для розділення краплинно-рідинних і газових неоднорідних систем.

Розділення неоднорідних сумішей на їхні компоненти, що використовується в чисельних хімічних виробництвах, здійснюється методами, заснованими або на різниці щільності цих компонентів (фаз), або на затримці одного з них (твердої фази) пористою перегородкою, що пропускає лише суцільну фазу (рідина, газ). Перші із цих методів називають осадженням, або відстоюванням, другі - фільтруванням. Розділення газових сумішей роблять також в електричному полі, використовуючи взаємодію твердих часток або дрібних крапель із електродом. У загальному випадку процеси розділення неоднорідних систем здійснюють в устаткуванні, що відрізняється великою розмаїтістю. Для розділення суспензій найбільш широко застосовують фільтри, для емульсій - центрифуги й сепаратори, для грубого розділення суспензій - гідроциклони, для розділення аерозолів - апарати сухої й мокрої пилоочищення та електрофільтри.

У неоднорідних систем дисперсна фаза досить рівномірно розподілена в суцільному середовищі. При процесі розділення в якійсь частині апарата або машини частинки дисперсного середовища концентруються, внаслідок чого зовнішня фаза частково або повністю звільняється від внутрішньої фази. Це концентрування дисперсної фази може бути досягнуте при відносному переміщенні середовищ. Залежно від того, яка фаза рухається відносно іншої, розрізняють два основних методи розділення: осадження й фільтрацію. У процесі осадження частинки рухаються відносно суцільного середовища. При фільтрації дисперсійне середовище проходить крізь концентровану дисперсну фазу або через спеціально призначене для розділення пористе тіло. Звичайно в «чистому» вигляді ці процеси не відбуваються. Процеси фільтрації, в тій або іншій мірі, супроводжуються й осадженням. Тому визначається переважний характер того або іншого процесу.

Крім цього в хімічній технології відбувається розділення часток матеріалу по величині або інших відмітних ознаках з метою отримання фракцій, або класів підвищеної однорідності. Для цього застосовується:

механічне сортування – розділення часток по крупності за допомогою машин і пристроїв які мають просівні поверхні (сити, решета, колосникові ґрати);

повітряне сортування (сепарація) – розділення часток по крупності й питомій вазі при різній швидкості осадження в повітряному потоці під дією сил ваги й відцентрових сил;

гідравлічне сортування (класифікація) – розділення часток по крупності, питомій вазі й різному змочуванні у воді або іншій рідині;

магнітне сортування (сепарація) – видалення залізних включень і предметів з метою запобігання поломки обробних машин; видалення домішок заліза або залізовмісних мінералів, що забруднюють сировину.

Методи розділення вибирають залежно від характеру складових частин системи й стану фаз (рідкої, твердої або газоподібної). При виборі методу розділення потрібно також урахувати фізичні й хімічні властивості середовища (рідини й газу) такі як в'язкість, щільність, здатність хімічного впливу на інші тіла, а також фази, що знаходиться в дрібноздрібненому стані - розмір часток, їхня щільність, агрегатний стан й інші. Часто для розділення неоднорідних систем може бути застосовано кілька методів. Наприклад, газ від пилу можна очистити шляхом фільтрування його через тканини або в апаратах - циклонах. При цьому потрібно враховувати ряд факторів: мінімальний розмір часток, які вловлюються; температуру, при якій повинен здійснюватися процес очищення (при цьому визначається можливість застосування тканин й яких саме); витрата енергії при різних способах розділення; вартість устаткування, експлуатаційні витрати й багато інших обставин.

Істотну роль у протіканні процесу грає природа поділової гетерогенної системи, тому що в будь-якому процесі розділення на неоднорідну систему виявляється зовнішній вплив. Таким чином, процеси розділення в найбільш загальному випадку можна класифікувати по виду впливу на систему й природі поділової системи.

Виділимо три основних класи впливів на систему: фізичне, хімічне й біологічне.

Гетерогенні системи, що піддають розділення (сепарації/класифікації), можливо підрозділяти на структуровані й неструктуровані (до останнього відносяться вільно дисперсні системи). Дану класифікацію зручно представити у вигляді таблиці (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Загальна класифікація процесів розділення гетерогенних систем

Вид впливу поділової гетерогенної системи	Клас впливу		
	Фізичний	Хімічний	Біологічний
Структурована гетерогенна система	Механічне розділення	Розділення внутрішньо молекулярними силами	Біологічний розділення активним транспортом і засвоєнням речовин організмом
	Електромагнітне розділення	Розділення транспортними реакціями	
	Теплове розділення		
Неструктурована гетерогенна система	Розділення міжмолекулярними силами		

Відносне переміщення фаз може відбуватися при впливі на них якого-небудь силового поля. Для розділення неоднорідних систем у техніці використовуються гравітаційне, відцентрове й електричні поля, а також поле поверхневих сил тиску в рідинах і газах.

Процеси осадження здійснюються в полях **фізичного впливу** від дії механічних сил (гравітаційної й відцентрової), і в електричному полі. При цьому умовою, що забезпечує розділення у полях механічних сил, є різниця між щільністю часток $\rho_{\text{ч}}$ і середовища $\rho_{\text{с}}$, так називана ефективна щільність $\rho_{\text{э}}$:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}.$$

Тільки в цьому випадку силове поле діє на частинки обох фаз однакового розміру з різною інтенсивністю; тому можливо переміщення однієї фази відносно іншої. Для осадження в електричному полі відмінність в щільності фаз не обов'язкова, хоча вона практично завжди має місце (так як цим методом розділяються в основному газові неоднорідні системи).

Фільтрація може здійснюватися при впливі на систему всіх перерахованих сил. Але в техніці використають головним чином сили ваги, тиску й відцентрову сили. При цьому на відміну від процесів осадження для розділення не обов'язкова наявність відмінності в щільності фаз.

Процеси розділення, що протікають при фізичному впливі, діляться на механічні й електромагнітні.

1.1.1. Механічне розділення

Сипкі матеріали, що використовуються в хімічній і суміжній галузях промисловості мають, як правило, полідисперсний склад [20]. У механічних процесах хімічного виробництва ознакою класифікації є в основному розділення часток по їх величині. Необхідна для виробничих цілей крупність матеріалу визначається вимогами технологічного процесу, а для інших випадків - призначенням й умовами його використання. Для виділення із загальної маси сипкого матеріалу певних фракцій використають машини для класифікації.

Під **класифікацією суміші** часток розуміється процес розділення суміші на дві або більше частини з істотним вмістом класифікаційної ознаки. Ознакою класифікації може бути крупність часток, їхня щільність, форма, діелектричні й магнітні властивості та інші показники. У механічних процесах термін «класифікація» відноситься до розділення часток по їх величині.

Процесом **грохочення** називається механічна класифікації часток по крупності їх просівання через колосники або грати, що установлені нерухомо або здійснюючий коливальний рух.

Технологічне завдання процесу класифікації в основному зводиться до розділення вихідного полідисперсного продукту на два класи: дрібний зі вмістом часток які дрібніше граничного розміру, й крупних з вмістом часток розмір яких рівний або більше граничного.

Розрізняють класифікатори безперервної й періодичної дії. При цьому вони діляться на поверхневі, об'ємні й комбіновані.

У поверхневих апаратах розділення відбувається при досягненні часткою деякої контрольної поверхні, наприклад поверхні сита. В об'ємних апаратах розділення часток по крупності реалізується в деякому об'ємі, що називається зоною розділення, за рахунок організації в ній певних силових впливів на частинки. У комбінованих апаратах розділення в об'ємі доповнюється поділом на поверхні, що обмежує зону розділення.

По способі транспортування сипкого середовища уздовж поділяючої поверхні або в об'ємі зони розділення розрізняють механічні, пневматичні й гідравлічні класифікатори.

У механічних класифікаторах, які називаються грохотами, рух матеріалу уздовж поділяючої поверхні відбувається за рахунок переміщення часток середовища по похилій поверхні або періодичних рухів самої поверхні. Грохоти відносяться до апаратів поверхневого типу безперервної дії. У якості класифікуючої робочої поверхні, використовують дротові або гумові сита (струни або окремі литі секції), сталеві листи, які являють собою решета з висвердленими або штампованими отворами, або колосникові ґрати з паралельним або віялоподібним розташуванням колосників.

У пневмокласифікаторах несучим середовищем є газ, у поєднанні з яким частинки можуть утворювати наскрізний газодисперсний потік (прохідні класифікатори), та перебувати в стані близькому до концентрованого (класифікатори із псевдозрідженим шаром) або переходити з концентрованого в наскрізний газодисперсний потік. В окремих конструкціях класифікаторів несуче середовище в цілому може залишатися нерухомим.

Гідравлічні класифікатори побудовані на тих же принципах, що й пневмокласифікатори, але в них як несуче середовище використовується краплинна рідина.

Класифікатори підрозділяються на апарати для двопродуктового (великий і дрібний продукт) і багатодуктового розділення, коли число отримуваних фракцій більше двох.

1.1.2. Гідромеханічне розділення

Очищення промислових газів від твердих і рідких часток здійснюється для зменшення забруднення повітря, вилучення з газів цінних продуктів або видалення шкідливих домішок, які від дальшої обробки газів руйнують апаратуру або порушують технологічний режим. Тверді частинки, що входять до складу газової суміші, мають розмір від 3 до 70 мкм, а зависі, що утворюються внаслідок конденсації парів (нафтові дими, тумани смоли і сірчаної кислоти та ін.), найчастіше складаються з дуже маленьких часток розміром від 0,001 до 1 мкм.

Відрізняють мокрий і сухий методи очищення газових сумішей, які включають осадження під дією сил тяжіння (гравітаційну очистку); осадження під дією інерційних, зокрема, відцентрових сил; фільтрування та осадження під дією електростатичних сил. Для досягнення потрібного ступеня очищення газу іноді застосовують багатоступеневі установки, які складаються з апаратів одного або кількох типів [18].

Очищення газів під дією інерційних і відцентрових сил. Інерційні сепаратори працюють за принципом використання інерційних сил, що виникають при різкій зміні напрямку руху газового потоку, яке супроводжується значним зменшенням його швидкості. Встановлюючи на шляху руху газу різні перегородки або використовуючи колінчасті газоходи, змінюють напрям руху газу на 90° або 180° . При цьому частинки пилу втрачають швидкість і випадають з потоку. Інерційні пиловловлювачі мають дуже просту будову, компактні і не мають рухомих частин, однак у них не можна досягти достатнього ступеня очистки, крім того, створюється великий гідравлічний тиск, перегородки швидко псується і забиваються пилом. Звичайно вони складаються з вертикального циліндричного корпусу з конічним днищем і кришкою. Запилений газ надходить тангенціально з великою швидкістю через патрубок у верхню частину корпусу. В корпусі, рухаючись вниз по спіралі, частинки пилу концентруються в шарах газу, що прилягають до стінок апарата, і переносяться потоком до пилозбірника, де осідають. Очищений газ видаляється через штуцер. Часто для очищення великої кількості газу замість циклона великих розмірів застосовують кілька циклонних елементів значно меншого розміру, які монтуються в одному корпусі. Такі циклони називаються батарейними, або мультициклонами. Циклони будь-якого типу мають просту конструкцію, їх можна використовувати для очищення хімічно активних газів при високих температурах.

Гравітаційне очищення газів. Відстоювання твердих часточок у газовому середовищі підлягає принципово тим самим закономірностям, що і осадження їх під дією сил тяжіння в краплинній рідині. Швидкість відстоювання пропорційна (при всіх інших однакових умовах) різниці між густинами часточок і газу. Проте очищення газів відстоюванням малоефективний процес і тому пилоосаджувальні камери використовують тільки для попереднього грубого очищення газів від крупних часточок.

Мокре очищення газів. Тонкої очистки газів досягають промиванням їх водою або іншими рідинами. Взаємодія газів з рідиною здійснюється в мокрих пиловловлювачах або на поверхні рідинної плівки, яка переміщується по вертикальній чи похилій площині (плівкові, або насадочні, скрубери), на поверхні крапель (порожнисті скрубери, скрубери Вентурі), на поверхні бульбашок газу (барботажи пиловловлювачі). Мокра очистка найефективніша, якщо газ можна зволожувати і охолоджувати, і якщо затримані тверді або рідкі частинки не мають великої цінності. Для підвищення економічності мокрої очистки і вилучення затриманих речовин промивні води разом з шламом направляють у відстійники для освітлення і дальшого використання. Недоліком мокрої очистки є утворення великої кількості стічної води, яка викликає корозію апаратури і повинна далі перероблятися.

Відстоювання. Під час відстоювання неоднорідних систем поступово збільшується концентрація диспергованих часточок в апараті зверху вниз. Над шаром осаду утворюється зона згущеної суспензії, в якій відбувається стиснене осадження часток, що відбувається за рахунок тертя між частинками і їх взаємним стиканням. Внаслідок цього відбувається групове осадження часток різних розмірів. При періодичному процесі відстоювання висота окремих зон

змінюється з часом до моменту повного розшарування неоднорідної системи на осад і освітлену рідину.

З погляду гідродинаміки стиснене осадження аналогічне певному стану завислого (псевдозрідженого) шару твердих часток. При концентрації часток, що наближаються до нуля, швидкість стисненого осадження наближається до максимуму – швидкості вільного осадження.

Відстоювання здійснюється в апаратах – відстійниках або згущувачах, які широко використовуються в промисловості.

Фільтрування. Фільтруванням називають процес розділення суспензій за допомогою пористої перегородки (фільтру), яка пропускає рідину і затримує тверду фазу.

Якщо простір над суспензією сполучається з джерелом стиснутого повітря або простір під фільтрувальною перегородкою – з вакуумом, то процес фільтрування відбувається при постійній різниці тисків, проте швидкість фільтрування зменшується в зв'язку із збільшенням опору шару осаду, товщина якого зростає. Для того щоб швидкість процесу фільтрування була постійною, суспензію подають на фільтр поршневим насосом, але при цьому різниця зростає внаслідок збільшення опору шару осаду. При невеликій концентрації твердої фази

Центрифугування – це процес розділення неоднорідних систем у полі відцентрових сил з використанням суцільних або проникних для рідини перегородок. Процеси центрифугування відбуваються в машинах, які називаються центрифугами. Під дією відцентрових сил суспензія розділяється на осад і рідку фазу, яка називається центри-фугатом. Осад залишається в роторі, а рідка фаза видаляється з нього.

У фільтруючих центрифугах з пористими стінками процес розділення суспензій відбувається за принципом фільтрування, причому замість різниці тисків використовуються відцентрові сили. У відстійних центрифугах з суцільними стінками розділення емульсій і суспензій відбувається за принципом відстоювання, причому дія сили тяжіння замінюється відцентровими силами.

1.1.3. Електромагнітне розділення

При обробці сипких матеріалів у них дуже часто знаходиться значна кількість металевих домішок. Ці домішки найчастіше є сталлю або чавуном. По розмірах вони можуть бути різноманітні: від дрібних крупинок до крупних фракцій і виробів, що потрапляють в оброблювану масу на якій-небудь операції обробки.

Металеві домішки, потрапляючи в машини для дроблення, просівання, різання, а також у транспортери, викликають їх зношення, а іноді приводять до серйозних поломок і зупинки машин. Крім того якщо обломок металу, потрапляючи в машину, він може викликати іскру при ударі, тоді, при наявності в машині дрібнодисперсного пилу, іскра може спричинити вибух і серйозну аварію.

Для видалення з сировини цих недопустимих домішок застосовують **електромагнітні сепаратори**. Принцип дії їх полягає в тому, що матеріал пропускається в безпосередній близькості від сильного магніту, що притягає

домішки. Потім тим або іншим шляхом домішки знімаються з утримуючого їх магніту.

Магнітні сепаратори виділяють із сипкої маси тільки домішки, які мають феромагнітні властивості, тобто головним чином сталеві й чавунні, які становлять основну масу металевих домішок.

Більшість природних мінералів є слабкими парамагнетиками, а деякі слабкими діамагнетиками. В **електромагнітних** сепараторах відбувається відділення часток з відносно більш високою магнітною сприйнятливостю від часток з менш високою. Напруженість застосовуваного магнітного поля й крупність часток визначають межі продуктивності сепараторів, що змінюються від декількох кілограмів до сотень тонн в годину, а розходження в магнітній сприйнятливості поділюваних компонентів визначають межі ефективності розділення.

Класифікація відбувається під дією магнітних сил з однієї сторони й сил ваги або аеродинамічного (гідравлічного) опору з іншої. Рівновага цих сил організують таким чином, щоб частинки з більшою магнітною сприйнятливостю («магнітні») рухалися у бік дії магнітної сили, а з меншої («немагнітні») - у протилежному від неї напрямку. Феромагнітні й парамагнітні частинки перемішаються уздовж силових ліній магнітного поля у бік зростання його напруженості, а діамагнітні - виштовхуються у бік його убавання [1, 2].

Магнітні сепаратори які використовуються в виробництві досить різноманітні по конструкції. Вони діляться на дві основні групи: сепаратори зі статичними магнітами й електромагнітні сепаратори.

1.1.4. Хімічне розділення

Специфіка **хімічних** способів розділення полягає в тому, що при їхньому використанні змінюється склад системи, відбуваються хімічні реакції й можуть утворюватися нові фази. Зараз впроваджуються проекти з використанням електрохімічних процесів для переробки відпрацьованих свій строк складних конструкцій виконаних з різних металів. При цьому метали послідовно переводять у вигляді катіонів у розчини, а потім здійснюють їх селективне електрохімічне осадження.

Є процеси, у яких на систему впливають сили що носять проміжний **фізико-хімічний** характер. Такі процеси можна об'єднати у дві групи: розділення міжмолекулярними силами й тепловий поділ. У порівнянні із чисто фізичними процесами розділення вони в ряді випадків дають можливість отримати більш високий ступень розділення.

Специфіка **фізико-хімічних** методів розділення пов'язана зі зміною характеристик системи, спрямованим на полегшення розділення. Так наприклад, застосовуючи поверхово активні речовини, можна домогтися коагуляції або флокуляції. При цьому, як правило, агрегати часток легше відокремлюються від дисперсійного середовища, чим самі частинки. У ряді випадків може виявитися корисною комбінація впливів різної природи.

Використання біологічного впливу на розділення систем полягає в тому, що наприклад, кристали, утворені енантиомерами - оптичними ізомерами - не можуть бути розділеними ніякими фізичними методами, тому що вони відрізняються тільки напрямком обертання площини поляризації світла. Взагалі такі кристали можна розділити тільки **хімічним** або **біологічним** шляхом (використовуючи або мікроорганізми, що засвоюють один з оптичних ізомерів, або біоманіпулятори). Зараз біоманіпулятори використовують для класифікації алмазних порошків.

У послідовності від **фізичних** до **фізико-хімічних**, **хімічних** і **біологічних** методів розділення збільшується їх селективність, тобто здатність до вибіркового розділення.

При розгляді гетерогенних систем варто виділити мікрогетерогенні (дисперсні) системи й макрогетерогенні. Перші складаються з великої кількості часток і мають значну поверхню розділу фаз, що обумовлює існування специфічних властивостей таких систем, які впливають на процеси розділення. Другі мають зворотні властивості. При цьому макрогетерогенні системи складаються з відносно невеликого числа різних по фізичних властивостях частин.

У свою чергу дисперсні системи можна підрозділяти по агрегатних станах дисперсної фази й дисперсійного середовища на суспензії, емульсії, аерозолі (дими, тумани), піни. Процеси розділення також можемо підрозділити по меті розділення – на очищення рідких і газоподібних середовищ від домішок (наприклад, пиловловлення, відцентрове по світління рідин ж т.п.); класифікацію гетерогенних систем, при якій виділяють класи часток, що розрізняються по своїх розмірах або щільності, і процеси видалення рідин з пористих тіл (наприклад, сушіння, пресування, вакуумування й віджим).

1.1.5. Масообмінний поділ

У хімічній технології велике значення мають процеси масопередачі, в яких один або кілька компонентів переходять з однієї фази в іншу [18]. Цим часто користуються для розділення як гетерогенних, так і гомогенних систем. У промисловості застосовують в основному процеси масопередачі між газовою і рідкою, між газовою і твердою, між твердою і рідкою, а також між двома рідкими фазами.

Процеси масопередачі можна розділити на такі:

абсорбція – поглинання газу рідиною;

екстракція – вилучення речовини, розчиненої в рідині, іншою рідиною, яка практично не змішується з першою;

перегонка – розділення гомогенних рідких сумішей;

адсорбція – поглинання компонента газу, пари або розчину твердим пористим поглиначем, тобто процес розділення, який характеризується переходом речовини з газової або рідкої фази в тверду;

зворотний процес адсорбції і абсорбції – десорбції я (різновидністю адсорбції є іонообмінний процес розділення, який ґрунтується в здатності деяких твердих речовин обмінювати свої іони на іони речовин, що є в розчині);

сушіння – видалення вологи з твердих матеріалів, при цьому волога переходить з твердої фази в газу;

кристалізація – виділення речовини у вигляді твердої фази – кристалів з розчинів або розплавів;

розчинення і екстракція в системі тверде тіло – рідина (розчинення – це перехід твердої фази в рідку, тобто процес зворотний до кристалізації);

вилуговування – вилучення на основі вибіркової розчинності одного або кількох компонентів з твердого матеріалу.

Масопередача – це складний процес, який включає перенесення речовини (маси) в межах однієї фази, перенесення через поверхню розділення фаз і далі її перенесення в межах іншої фази. Масопередача звичайно відбувається через поверхню розділення фаз. Перенесення речовини в межах однієї фази до її поверхні або в зворотному напрямі називається масовіддачею. Швидкість масообмінних процесів обмежується молекулярною дифузією, тому процеси масопередачі називають ще дифузійними процесами.

Для масообмінних процесів кількість перенесеної речовини пропорційна поверхні розділення фаз і рушійній силі. Рушійна сила характеризується ступенем відхилення системи від стану динамічної рівноваги, яка найточніше виражається різницею хімічних потенціалів речовини, що розподіляється. Речовина, що дифундує в межах однієї фази, переміщається від точки з більшою до точки з меншою концентрацією, тому в розрахунках рушійну силу процесів масопередачі виражають різницею концентрацій.

1.1.6. Біологічне розділення

Біологічне розділення використовується в процесі видобутку металів з руд, концентратів, гірських порід і розчинів вод впливом мікроорганізмів або продуктів їхньої життєдіяльності при нормальній тиску й температурі (від 5 до 90°C) [15, 16, 17]. Складовими частинами цього процесу, біогеотехнології металів, є: 1) біогідрометалургія, або бактеріальне вилуговування; 2) біосорбція металів з розчинів, 3) збагачення руд.

Бактеріальне вилуговування

Важливість застосування біогеотехнології металів пов'язана з нестачею доступних природних ресурсів мінеральної сировини й необхідністю розробки порівняно небагатих і важкоперероблюваних родовищ. Біогеотехнологічні методи, мікробіологічна адсорбція й бактеріальне вилуговування, дозволяють отримати додаткову кількість кольорових металів за рахунок утилізації «хвостів» збагачувальних фабрик, шлаків і відходів металургійних виробництв, а також переробки так званих забалансових руд, добування корисних копалин з морської води й стоків. Застосування біологічних методів інтенсифікує процеси видобутку мінеральної сировини, здешевлює їх, при цьому виключає необхідність застосування трудомістких гірських технологій; дозволяє автоматизувати процес. На основі численних досліджень прийнято вважати бактеріальне вилуговування перспективним процесом для впровадження в гірничодобувну промисловість.

Вилуговування куп і відвалів, в основному, зводиться до добування металів з відходів гірничодобувної промисловості або побічних бідних руд, переробка яких звичайними способами не економічна. Такі відвали накопичуються у великій кількостях при великомасштабній відкритій розробці руди й можуть займати величезні площі, досягаючи у висоту кількох сотень метрів.

Всі способи бактеріального вилуговування засновані на стимуляції росту залізо – окисляючих бактерій, здатних окисляти двовалентне залізо й сірку. Ці методи досить економічні й чисті в екологічному плані. Вони відрізняються достатньою простотою й здатні до самопідтримування завдяки утворенню агента-розчинника металів у вигляді розчину Fe^{3+} . Всі отримані продукти реакції перебувають у розчинах, які легко можна нейтралізувати. Шкідливі побічні газоподібні продукти відсутні, а процес не залежить від масштабів його проведення.

Вилуджуюча рідина за допомогою насосів подається наверх купи руди, розпорошується по її поверхні й потім, самопливом стікаючи вниз, фільтрується через неї. Збагачені металом розчини, що стікають із відвалів і куп, направляються в спеціальні ставки й водойми для збору й добування металу. Добування проводять методом простого осадження або електролізом, а також більше складними методами. Відпрацьовані вилужені розчини, що містять в основному розчинене залізо, регенеруються в окисних ставках і знову подаються у відвали.

До труднощів реалізації біологічних методів відноситься необхідність підтримки активної мікробної культури в строго контрольованих і заданих умовах, низькі в порівнянні з хімічними процесами швидкості реакцій, взаємозв'язок процесів вилуговування зі швидкостями росту мікроорганізмів.

Біосорбція металів з розчинів

Жорсткість законів по охороні навколишнього середовища й вимоги до якості води роблять необхідним удосконалення існуючих і розробку нових, більше ефективних методів очищення води від металів. Біологічні методи в останні роки знаходять все більш широке застосування для добування металів із промислових, а також побутових стічних вод. Ці методи, на відміну від дорогих фізико-хімічних, характеризуються достатньою простотою й ефективністю. Звичайно для цих цілей забруднені металами води збирають у відстійниках або ставках зі слабким плином, де відбувається розвиток мікроорганізмів і водоростей. Ці організми накопичують розчинені метали внутрішньоклітинно або, виділяючи специфічні продукти обміну, переводять їх у нерозчинну форму й викликають осадження. Багато мікроорганізмів здатні накопичувати метали в великій кількості. Мікроорганізми, крім включення в цитоплазму, здатні також сорбувати метали на поверхні клітинних стінок, зв'язувати метаболітами в нерозчинні форми, а також переводити їх в летучу форму. Селекція в цьому напрямку й застосування нових генноінженерних методів дозволяють отримати форми, що активно акумулюють метали й на їхній основі створювати системи біоочистки. Ідея використання мікроорганізмів для добування металів з розчинів, крім величезного екологічного значення, важлива й як спосіб отримання економічно важливих металів.

Основними процесами добування металів з розчинів за участю мікроорганізмів є: біосорбція, осадження металів у вигляді сульфідів, відновлення шестивалентного хрому.

За допомогою біосорбції навіть із розведених розчинів можливо 100% добування свинцю, ртуті, міді, нікелю, хрому, урану й 90% золота, срібла, платини, селен. Після концентрування металів мікроорганізмами на наступній стадії варто вилучити метали з мікробної біомаси. Для цього існують різні способи - як недеструктивні, так і засновані на екстракції шляхом руйнування (наприклад, пірометалургічна обробка біомаси або застосування кислот і лугів).

При добуванні металів з розчинів на основі осадження сульфідів сульфаторедуруючі мікроорганізми виділяють сірководень, що практично повністю зв'язує розчинені метали, викликаючи їхнє осадження.

Для відновлення шестивалентного хрому в розчинах застосовуються бактерії, здатні в анаеробних умовах відновлювати шестивалентний хром, що знаходиться в побутових стічних водах, до тривалентного, котрий далі осаджується у вигляді $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

Збагачення руд

До перспективних напрямків біогеотехнології металів відноситься напрямок, орієнтований на збагачення руд і концентратів. Досить ефективним для цього являється застосування сульфаторедуруючих бактерій, за допомогою яких можливо розроблювати принципово нові процеси й істотно поліпшити існуючі.

При проведенні процесів флотації окислених мінералів свинцю й сурми застосування сульфаторедуруючих бактерій підвищує на 6-8% видобуток мінералів у результаті сульфідизації окислів. У процесах флотації церуссита (PbCO_3) добування свинцю зростає на 20-25%. Застосування сульфаторедууючих бактерій для десорбції ксантогената з поверхні деяких мінералів після флотації дозволяє селективно розділити деякі мінерали (CuFe_2 й Mo_2 , Pb й Zn).

Таким чином, біологічні методи активно доповнюють і частково дозволяють замінити традиційні методи гірничодобувної галузі. Багато питань біогеотехнології в цей час успішно вирішені. Це отримання міді, нікелю, кобальту, марганцю, миш'яку й ряду інших металів. Мідь й уран одержують у більших масштабах у процесах купчастого й підземного вилуговування. З їхньою допомогою вдається переробляти багато концентратів й отримувати цинк, мідь, олово, срібло, золото й інші. Розробляються й знаходять все більш широке застосування процеси біосорбції металів з розчинів і стічних вод; намічені підходи й починають застосовуватися біологічні методи в процесах збагачення руд і концентратів. Застосування біотехнологічних методів дозволяє збільшувати сировинні ресурси, забезпечує комплексне добування металів, не вимагає складної гірської техніки; процеси легко піддаються регулюванню й автоматизації й дозволяють вирішувати багато природоохоронних завдань.

Однак для кожного біотехнологічного процесу повинна бути розроблена унікальна схема, а за самим процесом потрібно постійно спостерігати й ретельно контролювати. Для більшості практичних біотехнологічних процесів такими схемами є ферментори або біореактори, які забезпечують необхідні фізичні умови,

що сприяють найкращій взаємодії каталізатора із середовищем і матеріалом. Біореактори варіюють від простих посудин до досить складних систем з різним рівнем комп'ютерного оснащення.

1.1.7. Класифікація процесу розділення

Існує багато різних конструкцій машин й апаратів для розділення неоднорідних систем. Тому класифікація їх утруднена так як класифікаційні ознаки часто переплітаються між собою. Внаслідок цього той самий апарат по тим або іншим ознакам можна відносити до різних груп.

Щоб класифікувати апарати розділення будемо виходити з того що в хімічній технології основні процеси традиційно розділяють по їхній природі на п'ять класів: 1) гідромеханічні; 2) теплові; 3) масообмінні; 4) механічні (механотехнологічні); 5) хімічні [6].

У кожному із цих класів об'єднані хіміко-технологічні процеси, що характеризуються законами, які відносяться до даної галузі науки. Якщо процес носить ознаки двох класів (наприклад, масообміну й термодинаміки), то приналежність визначається його цілеспрямованістю. Наприклад, сушіння – одночасно масообмінний і тепловий процес, однак ціль його полягає в дифузійному видаленні вологи, тому сушіння відносять до класу масообмінних процесів.

Класифікація розділювальних процесів відносно природи основних процесів хімічній технології приведена на Рис. 1.1.

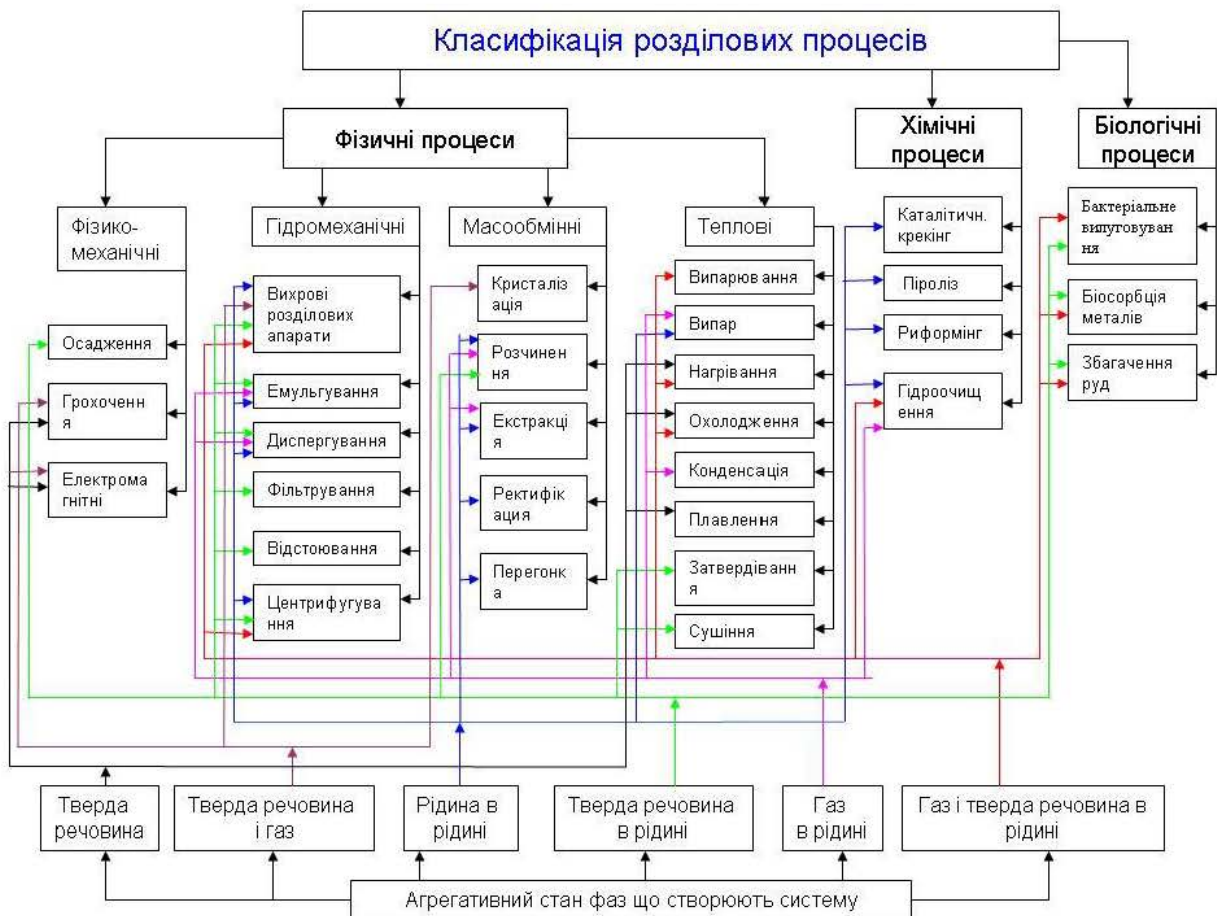


Рис. 1.1. Класифікація процесів розділення неоднорідних систем

Устаткування для розділення неоднорідних систем можемо розділити на два класи: фільтруючі й осадкові машини й апарати. В залежності від використовуваних сил ці класи підрозділяються на групи наступним чином.

Фільтруючі машини й апарати підрозділяються на власно фільтри – апарати, у яких використовуються поверхневі сили тиску (створювані стовпом рідини, насосом або компресором), і центрифуги – машини, де фільтрування здійснюється під дією відцентрової сили.

Осадкові апарати й машини підрозділяються на три основні групи залежно від застосовуваних сил: гравітаційні й відцентрово осаджувальні й електроосаджувальні.

Відцентрово осаджувальні залежно від принципу дії відцентрового поля можна підрозділити на дві групи:

а) циклони – апарати, у яких відцентрове поле виникає внаслідок обертання неоднорідної системи відносно нерухомих циліндричних поверхонь;

б) центрифуги – машини, де відцентрові сили виникають при обертанні неоднорідної системи разом з робочим органом – ротором, усередині якого знаходиться система що підлягає розділенню.

В залежності від характеру неоднорідної системи циклони можемо підрозділити на дві підгрупи: аероциклони - для розділення газових неоднорідних систем і гідроциклони для розділення суспензії.

Фільтруючі апарати зустрічаються різних конструкцій:

а) з нерухомою поверхнею – фільтри із зернистим шаром, листові мішечні фільтри та особливе місце в групі займають камерні й рамні;

б) з рухливою поверхнею фільтрування – барабанні, дискові, стрічкові фільтри й плани-фільтри.

Процеси розділення можна також підрозділити по цілям переслідуваним при їхньому здійсненні на очищення рідких і газоподібних середовищ від домішок (наприклад, пиловловлення, відцентрове посвітління рідин ж т.п.); класифікацію гетерогенних систем, при якій виділяють класи часток, що розрізняються по своїх розмірах або щільності, і процеси видалення рідин з пористих тіл.(наприклад, сушіння, пресування, вакуумування й віджим).

Процеси розділення, що протікають при фізичному впливі, спочатку діляться на механічні й електромагнітні.

Є процеси, у яких на систему вплив сили, що носять проміжний фізико-хімічний характер. Такі процеси можна об'єднати у дві великі групи: розділення міжмолекулярними силами й теплове розділення. У порівнянні із чисто фізичними процесами розділення вони в ряді випадків дають можливість отримати більш високий ступінь розділення.

Через їхнє велике значення, доцільно доповнити загальну класифікацію її ієрархічною структурою, що деталізує, фізико-хімічні методи розділення.

У даній схемі, ураховується, що при тепловому розділенні можливий процес із фазовим переходом рідина – тверде тіло й тверде тіло–газ, рідина–газ.

Подібні схеми можна скласти й для інших підрозділів загальної класифікації.

Застосовувані на практиці процеси розділення, об'єднані в розглянуті вище групи, можна розташувати в загальній класифікації так, як це показано в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Класифікація процесів розділення

Спосіб розділення	Фізичний	Фізико-хімічний	Хімічний	Біологічний
Вид поділюваної системи				
Неструктуровані гетерогенні системи й вільно дисперсні системи	Інерційне розділення (центрофугування, віброкласифікація та інші)	Електродифузія, магнітодифузія Дифузійне і термодифузійне розділення		Розділення засвоєнням речовин організмами
	Седиментація, відмулювання, гідромеханічна хроматографія	Розділення за рахунок змочування	Розділення за допомогою хімічних реакцій	Розділення активним транспортом біологічних мембран
	ситове розділення (просівання),	Флотація Агдезійне розділення		Розділення біоманіпуляторами
	Фільтрація й ультрафільтрація	Розділення за допомогою коагулянтів і флокулянтів		
Структуровані гетерогенні системи	Розділення у рідинах великої щільності Віджим (пресування) Магнітна сепарація	Розділення розчиненням часток у дисперсній фазі. Сушіння Фотоефект	Електрохімічний спосіб розділення металевих структурованих гетерогенних систем	Розділення біоманіпуляторами, що руйнують структуру системи

Специфіка хімічних способів поділу полягає в тому, що при їхньому використанні міняється склад системи, відбувається хімічні реакції й можуть утворюватися нові фази. Так у цей час є проекти використання електрохімічних процесів для переробки складних конструкцій виконаних з різних металів, що відпрацювали свій термін. При цьому метали послідовно переводять у вигляді катіонів у розчини, а потім здійснюють їх селективне електрохімічне осадження.

У послідовності від фізичних до фізико-хімічних, хімічних і біологічних методів поділу збільшується їх селективність, тобто здатність до вибірного поділу.

Наприклад, кристали, утворені енатіомерами - оптичними ізомерами - не можна розділити ніякими фізичними методами, тому що вони відрізняються тільки

напрямком обертання площини поляризації світла. Взагалі такі кристали можна розділити тільки хімічним або біологічним шляхом (використовуючи або мікроорганізми, що засвоюють один з оптичних ізомерів, або біоманіпулятори). Зараз біоманіпулятори використовують для класифікації алмазних порошків. Через високі можливості біоманіпуляторів, доцільно створювати кібернетичні маніпулятори для спеціальних цілей поділу гетерогенних систем.

Специфіка фізико-хімічних методів поділу пов'язана зі зміною характеристик системи, направленим на полегшення розділення. Так наприклад, застосовуючи поверхово активні речовини, можна домогтися коагуляції або флокуляції. При цьому, як правило, агрегати часток легше відокремлюються від дисперсійного середовища чим самі частинки. У ряді випадків може виявитися корисною комбінація дії різної природи.

1.2. Огляд апаратного оформлення

1.2.1. Загальні відомості про сортування матеріалу

Сортуванням називають розділення часток матеріалу по крупності або інших відмітних ознаках з метою отримання фракцій або класів підвищеної однорідності.

Наприклад, суміш часток і фракцій матеріалу розмірами приблизно до 100мм є досить неоднорідною, а після просівання на трьох ситах її можна розділити на чотири фракції, у кожній з яких частинки в основній своїй масі будуть відрізнятися один від другого не більше ніж на 25мм, тобто в кожній фракції матеріал буде більш однорідним по крупності, що часто є необхідним для виробництва.

Механічне сортування – розділення часток по крупності за допомогою машин і пристроїв, що мають просіюючі **поверхнями**, (сита, решета, колосникові грати); **повітряне** сортування (сепарація) - розділення часток по крупності й питомій вазі при різній швидкості осадження в повітряному потоці під дією сил ваги й відцентрових сил; **гідралічне** сортування (класифікація) - розділення часток по крупності, питомій вазі й різній змочуваності у воді або іншій рідині; **магнітне** сортування (сепарація) - видалення залізних включень і предметів з метою запобігання поломки обробних машин; видалення домішок заліза або залізовмісних мінералів, що забруднюють сировину.

Машини механічного сортування класифікують по наступних ознаках: по типу просіюючої поверхні-колосникові, штамповані, плетені; по характері руху поверхні, що просіває, - нерухомі, хитні, вібуючі, оберткові; за формою поверхні, що просіває, і її положенню в просторі - плоскі й вигнуті, горизонтальні й похилі.

Залежно від природи сил, використовуваних у пиловловлюючих апаратах для відділення часток пилу від газового потоку, їх підрозділяють на чотири основні групи пилоосаджувальні камери й циклони, апарати мокрого очищення газів, пористі фільтри, електричні фільтри.

Під ефективним уловлюванням розуміють уловлювання з ефективністю більше 95%.

У всіх галузях промисловості розроблено й експлуатуються значна кількість пиловловлювачів. Число їх конструкцій становить тисячі. В монографії є

можливість розглянути лише найпоширеніші, характерні й перспективні. Чіткої границі по застосуванню апаратів провести не можливо. Наприклад, циклони широко застосовуються, як у системах вентиляції, так й у технологічних установках. У той же час деякі апарати переважно служать для технологічного очищення (пиловловлювачі Вентурі, електрофільтри та інші).

Особливе місце в питанні розділення гетерогенних систем посідають вихрові розділювальні апарати. Вони знайшли ширше застосування в хімічній, нафтопереробній, мікробіологічній, харчовій промисловості, а також в очисних установках.

В цих апаратах суспензії, рідини, газопилова суміш в основному розділяються за рахунок сили тяжіння, відцентрової сили та фільтруванням. Високі показники розділювальні можуть бути досягнуті при використанні відстійного, фільтрувального й іншого обладнання, але найбільш ефективними є машини і апарати відцентрового принципу дії: циклони, сепаратори і гідроциклони. Не дивлячись на те, що в деяких з них показники розділення нижчі, ніж в центрифугах та електрофільтрах вони мають ряд якісних переваг: відсутність рухомих частин, простота конструкції, не висока вартість, зручність в експлуатації, висока продуктивність, мале споживання енергії.

Класифікація вихрових розділювальних апаратів відносно апаратного забезпечення приведена на Рис. 1.2.



Рис. 1.2. Класифікація вихрових розділювальних апаратів

Відомості про вихрові розділювальні апарати приведені в наступних розділах.

1.2.2. Машини для механічного сортування

Машинами для механічного сортування матеріалу є грохоти. Поверхні, що просівають матеріал, конструктивно виконують у вигляді колосникових решіток (велике просівання від 200 до 500мм), штампованих решіт (середнє просівання від 50 до 200мм) і плетених сит (дрібне просівання від 1 до 50мм і тонке просівання від 0,04 до 1мм) [20].

Тонке просівання на грохотах не ефективно, тому його застосовують лише для проціджування рідких мас або просівання порівняно невеликих кількостей сухого матеріалу й звичайно заміняють повітряною сепарацією. Просівання часток розмірами 0,04-0,1мм застосовують для ситового аналізу. Отвори між колосниками щільні, форма штампованих отворів звичайно кругла, рідше - прямокутна або квадратна, плетених - квадратна.

Колосникові грохоти найбільш міцні. Вони дозволяють за допомогою перебирання змінювати розмір отворів, але не забезпечують при просіванні однорідності просіяного матеріалу. Штамповані решета (Рис. 1.3, а) являють собою лист металу з отворами. Товщина листа не перевищує 0,625 діаметра отвору, тому що інакше пуансон при штампуванні зламаються, тому штамповані поверхні із дрібними отворами швидко зношуються. При штампуванні отримують отвір злегка конічними, що сприяє проходженню матеріалу, та прискорює процес просівання. Дротові сита (Рис. 1.3,б) дешевше штампованих, тому що їх виготовляють машинним плетивом, вони мають більшим «живим» перетин (відношення площі отворів до площі поверхні, що просіває, складає – для плетених 51-85%, штампованих 25-50%), але вони швидше забиваються, зсув дротів може викликати зміна розміру отворів. Відношення діаметра дротів до розміру отвору в плетених сит дорівнює $2/3$.

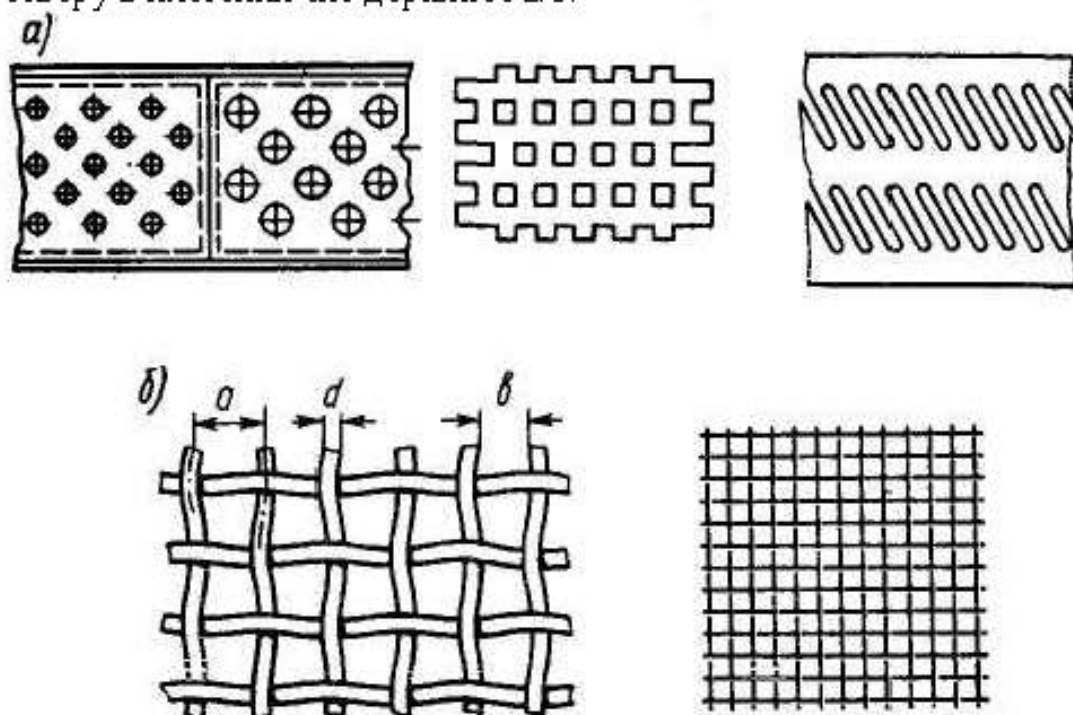


Рис. 1.3. Решітки грохоту

Колосникові грохоти бувають рухомі та нерухомі.

Нерухомі колосникові грохоти встановлюють над бункерами й живильниками дробарок для відділення фракцій, які перевищують допустимі розміри. Матеріал на них надходить із саморозвантажних вагонів й автомобілів, а просувається по решітці при нахилі колосників під кутом ($45...50^\circ$), що перевищує кут природного укосу матеріалу. Грохот складається з опорної рами й колосникових ґрат, які кріпляться на стрижнях або поперечних балках з паралельних колосників, розділених втулками або прокладками, розміри яких визначають величину щілиновидних отворів. Гарними колосниками є перевернені рейки або смуги трапецієподібного перетину, що звужуються донизу. У прямокутних, а тим більше в круглих стрижнів матеріал часто заклинюється, тому вони менш зручні.

Рухливі колосникові грохоти з хитними колосниками використовують як живильники для рівномірної подачі крупнокускового матеріалу на дроблення з одночасним видаленням фракцій, менших по розмірі розвантажувальної щілини дробарки. Продуктивність колосникових від 25 до 300т/год при зазорі між колосниками від 20 до 100мм і потужності двигуна в найбільших зразків до 18кВт.

Плоскі хитні грохоти забезпечують інтенсивне просівання матеріалу й переміщення його по просівній поверхні, завдяки тому, що конструкція привода, опор або положення грохоту забезпечують переміщення матеріалу разом з поверхнею, при її русі в одному напрямку (сили тертя більше сил інерції) і відставання його від цієї поверхні, при русі її в протилежному напрямку (сили інерції більше сил тертя). Плоскі хитні грохоти підрозділяють на похилі із симетричним хитанням у площині грохоту, горизонтальні із симетричним хитанням під кутом до площини грохоту, розташованого на похилих стійках, і горизонтальні з асиметричним хитанням у площині грохоту.

Для руху матеріалу по похилому грохоті (Рис. 1.4,а) необхідно, щоб швидкість поверхні, що просіває, в обох напрямках викликала такі ж сили інерції P у шматках матеріалу, які при русі від точки А до точки В будуть менше сил тертя F і горизонтальної складової сили ваги $G1$, а при русі від В до А разом з горизонтальною складовою перевищували сили тертя. У такому випадку матеріал просувається по грохоті й просівається навіть при невеликих кутах нахилу ($10...12^\circ$ для тихохідних грохотів й $3...5^\circ$ для швидкохідних зі струшуючою дією ексцентрикового привода). Продуктивність таких грохотів залежить від кута нахилу поверхні, що просіває, і може регулюватися зміною кута.

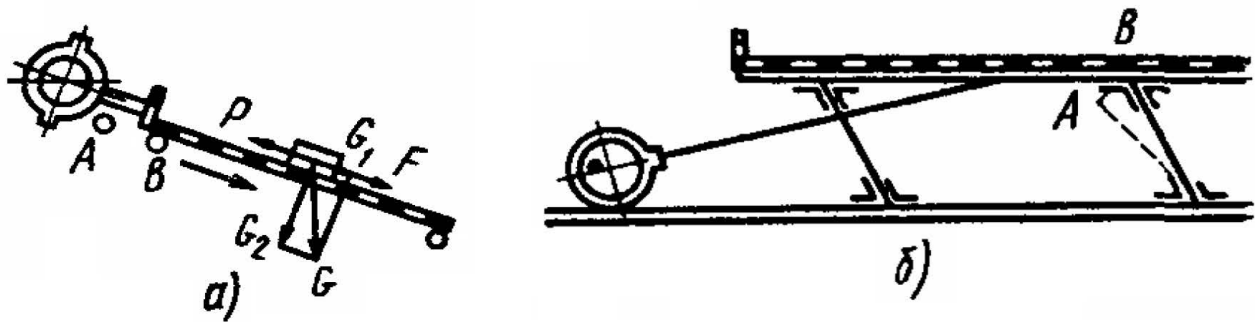


Рис. 1.4. Рух матеріалу

Горизонтальні грохоти на похилих пружних стійках або підвісках (Рис. 1.4,б), так само як і похилі, мають ексцентриковий або кривошипний привід, що забезпечує симетричні коливання по дузі АВ. Просівна поверхня залишаючись горизонтальною, струшує матеріал, підкидає його під кутом до поверхні, завдяки чому відбувається його просування й просівання. Прискорення поверхні, перевищує прискорення сили ваги. Грохот простий по конструкції, забезпечує високий коефіцієнт ККД просівання, але його коливання передаються на фундаменти.

Вібраційні грохоти забезпечують коливання часток матеріалу, що просіває, що знижує сили тертя між частками, підвищує їхню рухливість і сприяє інтенсивному просіванню з високим коефіцієнтом ефективності (до 90%). Частота коливань поверхні, досить велика - від 800 до 3000 у хвилину при амплітуді від 25 до 0,5мм.

Вібраційний ексцентриковий грохот складається з опорної рами, віброуючої рами з ситами й приводним ексцентриковим валом, що опирається на підшипники, укріплені на опорній рамі. На ексцентрик надіта друга пара підшипників з корпусами, закріпленими на косинках віброрами, з'єднаної з опорною рамою пружинами. При обертанні ексцентрикового вала коливання передаються віброрамі й матеріал інтенсивно просівається.

Принцип дії **інерційного вібраційного грохота** показаний на схемі (Рис. 1.5. ,а). Рама 5 з поверхнею, що просіває, 2 опирається на фундаментну плиту 7 за допомогою пружин 6. На рамі в підшипниках 4 від привода обертається вал 1 з нерівноваженими вантажами 3. Відцентрові сили викликають кругові коливання грохоту в площині, перпендикулярної валу 1. Вібрація передається матеріалу, що сприяє проходженню дрібних часток. Для просування матеріалу по поверхні, що просіває, їй надають похиле положення або застосовують вібратори зі спрямованими коливаннями. Інерційний вібраційний грохот зі спрямованими коливаннями. (Рис. 1.5. ,б) складається з опорної рами 1, на яку за допомогою пластинчастих ресор 3 й 5 і спіральних пружин 4 опирається віброрама 2 із двома паралельними ситами й вібратором 6.

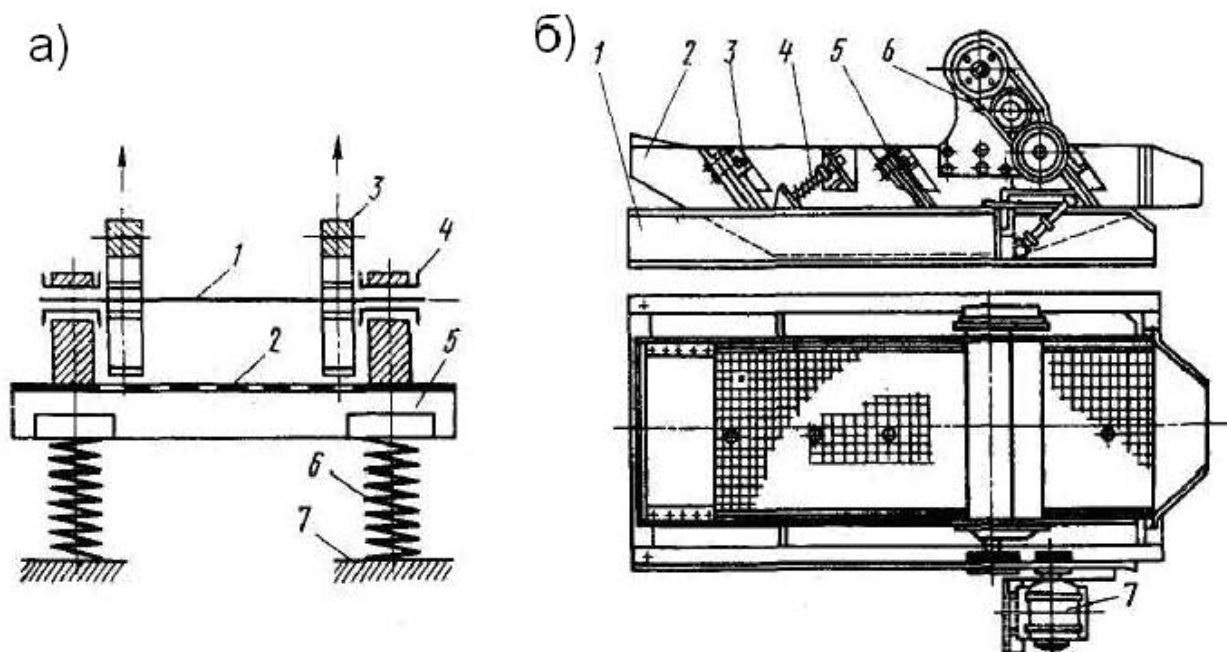


Рис. 1.5. Вібраційний грохот

1 – вал; 2 – поверхня що просіває; 3 – вантажі; 4 – підшипники; 5 – рама;
6 – пружини; 7 – фундаментна плита

Провідний вал вібратора обертається від електродвигуна 7 потужністю 5,2 кВт через клиноремінну передачу. Частота коливань 740 у хвилину, амплітуда до 20мм. Сита шириною 1м і довжиною 1,5м мають отвори розміром: верхнє сито 32мм і нижнє 7мм. Для запобігання сит від швидкого зношування вони опираються на підтримуючі сита з великими отворами (85 й 40мм) і товстими дротами. Продуктивність грохоту до 40 м³/год.

Продуктивність грохотів залежить від багатьох факторів - вологості матеріалу, крупності фракцій, їхні форми й шорсткості, від процентного вмісту часток нижнього класу у вихідному матеріалі, кута нахилу, площі поверхні, що просіває, і розміру отворів, характеру й інтенсивності руху просіваючої поверхні, рівномірності подачі матеріалу на грохот і т.п.

Матеріал у **барабаних грохотах** просівається й просувається при обертанні барабана, який виконує функцію просівання і його поверхня являє собою бічні поверхні циліндра, усіченого конуса або усіченої піраміди. Циліндричні барабанні грохоти звичайно встановлюють похило.

Перевагами барабаних грохотів є простота конструкції й плавне повільне обертання, без вібрацій і струсів, що дозволяє встановлювати їх на міжповерхових перекриттях і на бункерах. До недоліків відносяться громіздкість і порівняно низький коефіцієнт ефективності, особливо при дрібнім просіванні. Незважаючи на недоліки, барабанні грохоти застосовують для багаторазового просівання й розділення на кілька фракцій гравію й щебенів з одночасним промиванням, а також для багаторазового просівання за схемою від дрібного до великого для порошкоподібних керамічного мас, кварцу, польового шпату, шамоту.

Циліндричний мийно-сортувальний грохот (Рис. 1.6.) являє собою барабан, що опирається на похилу раму 12 й обертовий від електродвигуна 10 через муфту 5, редуктор 8 і пари циліндричних шестірень. Барабан по довжині складається із трьох частин: циліндра 2 з листової сталі для промивання матеріалу, решета 4 з отворами діаметром 25мм і решета 3 з отворами діаметром 50мм. Решето 4 знаходиться в концентрично розташованому решеті 3, що має отвори діаметром 6мм.

Циліндричні решета змонтовані на каркасі з поздовжніх косинців 6 й 11, прикріплених з однієї сторони до кільця 14, яким барабан опирається на ролики 13, а із протилежної сторони об'єднаних торцевою плитою 7. Плита опирається центральною цапфою на підшипник і несе на цапфі приводну шестірню.

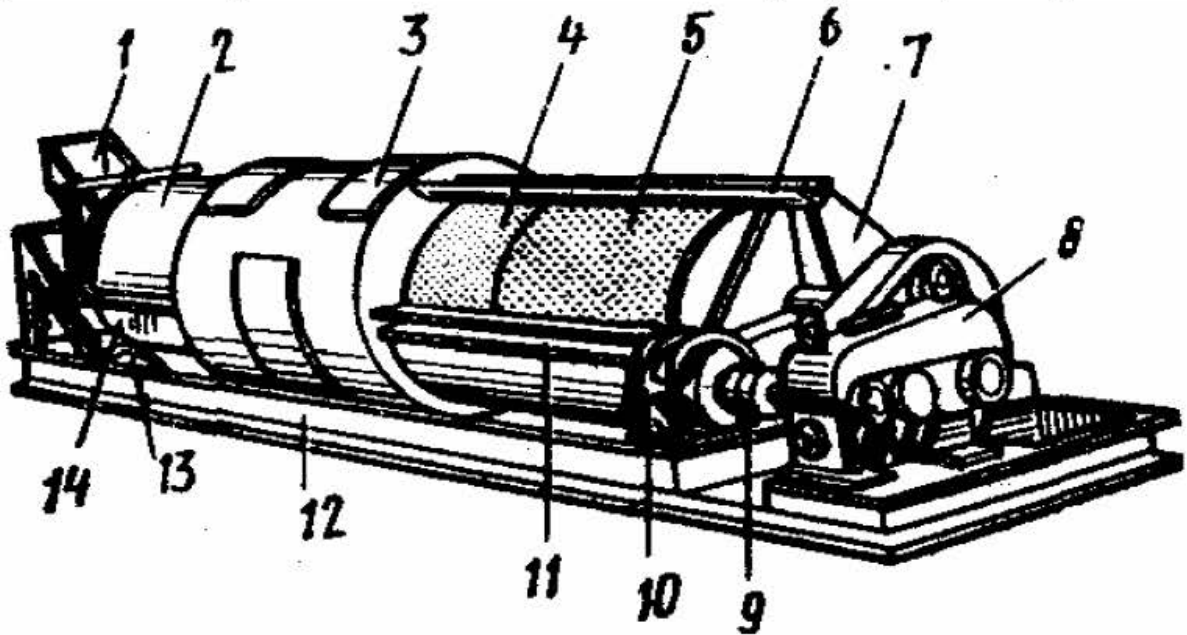


Рис. 1.6. Циліндричний грохот

1 – лоток; 2 – циліндр; 3,4 – решета; 5 – муфта; 6,11 – косинці; 7 – плита;
8 – редуктор; 9 – вал; 10 – електродвигун; 12 – рама; 13 – ролики; 14 – кільце.

Промивний циліндр розділений по довжині трьома кільцями на чотири камери з поздовжніми лопастями, що сприяє промиванню матеріалу, який завантажується в барабан по лотку 1. Воду в циліндр подають по трубі, розташованій над віссю барабана. Труба проходить також у перше решето й розприскує в ньому воду через 80 отворів, що сприяє промиванню матеріалу й очищенню отворів решіт. Глина, мул й інші пилуваті домішки відносяться водою, що переливається через кільця промивного циліндра, а матеріал, просуваючись по решетах, розділяється на фракції - менш 6мм, від 6 до 25мм, від 25 до 50мм і більше 50мм, що особливо важливо для отримання збагаченого високоякісного заповнювача для бетону у виробництві відповідальних залізобетонних виробів.

Аналогічну конструкцію мають циліндричні грохоти, призначені для сухого сортування. Вони не мають мийної частини, завдяки чому подовжується перше решето.

Багатогранні барабанні грохоти (бурати) відрізняються від розглянутих тем, що поверхні, що просівають, плоскі, вмонтовані в рамки, які кріпляться до каркаса, що з'єднаний із приводним валом спицями. Така конструкція полегшує заміну зношених сит. Вал розташовується похило, якщо барабан призматичний, або горизонтально, якщо він виконаний у вигляді усіченої піраміди. Вал опирається на підшипники й обертається від привода. Для багаторазового просівання рамки по довжині барабана мають сита з отворами, розмір яких зростає по напрямку руху матеріалу. Під кожною секцією розміщується спеціальний відсік прийомного бункера. У зв'язку із сильним пилоутворенням грохоту барабан закривають щільним кожухом.

Продуктивність барабанних грохотів зростає при збільшенні кута нахилу й товщини слою матеріалу на поверхні, що просіває, однак це веде до різкого зниження ефективності просівання, тобто до зниження коефіцієнта ефективності.

Кут нахилу осі циліндричних грохотів приймають рівним $4...7^\circ$, а товщину шару матеріалу – у межах подвійної величини поперечника фракцій матеріалу, що просіває. При збільшенні діаметра барабана продуктивність зростає без зниження коефіцієнта ефективності, а збільшення довжини трохи підвищує коефіцієнт без зниження продуктивності.

Вібросита. Очищення бурового розчину від шламу за допомогою вібраційних сит є механічним процесом, у якому відбувається відділення часток певного розміру за допомогою пристрою, що просіває [14].

Головними факторами, що визначають глибину очищення й пропускну здатність вібросита, є розмір отворів сітки й поверхня, що просіває. Основними елементами вібросита (Рис. 1.7.) наступні: основа 1, піддон для збору очищеного розчину 7, приймач із розподільником потоку 2, вібруюча рама 5 із сіткою 4, вібратор 3, амортизатори 6. Вібруючі рами розташовують як у горизонтальній, так й у похилій площині, а їхній рух може бути поступально-зворотним по прямій, еліпсоподібним, круговим і комбінованим.

Оптимальне співвідношення між довжиною й шириною пристроїв, що просівають, становить 2:1, а розміри сітки не повинні перевищувати наступних: довжина 2,6м, ширина 1,3м. Найбільшу продуктивність вібросито має в тому випадку, коли шлам складається з піску, найменшу - коли шлам представлений грузлими глинами. Залежно від типу й дисперсного складу шламу продуктивність вібросита може істотно змінюватися. Ефективність очищення зростає в міру збільшення часу знаходження часток на сітці. Цього можна досягти збільшенням довжини сітки, зниженням швидкості потоку, зменшенням кута нахилу сітки, зміною напрямку переміщення часток, зменшенням амплітуди коливань сітки, одночасним використанням двох послідовних або паралельних сіток

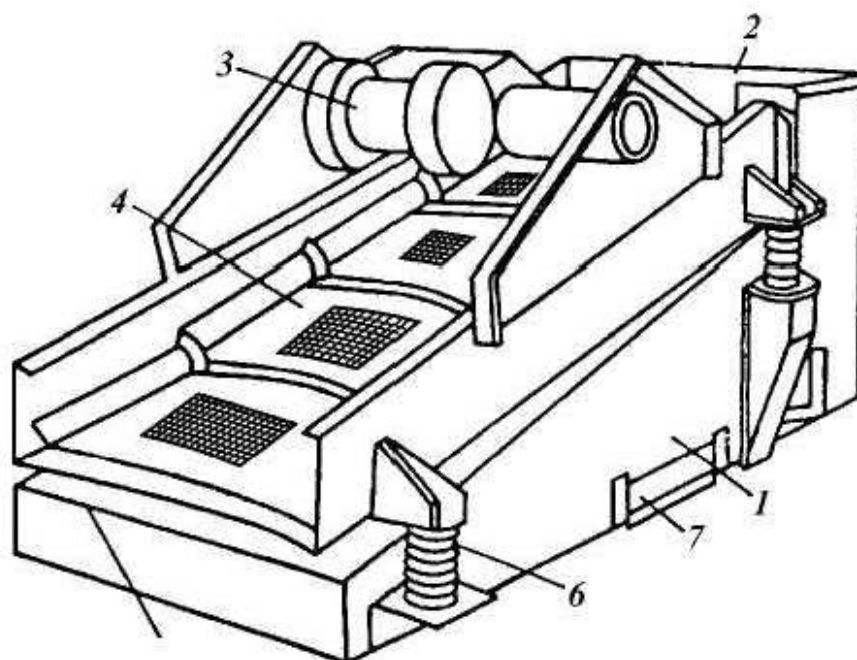


Рис. 1.7. Схема вібросита

1 – основа; 2 – приймач; 3 – вібратор ; 4 – сітка; 5 – рама; 6 – амортизатори ;
7 – піддон.

Ефективність роботи вібросита (пропускна здатність, глибина й ступінь очищення) залежить насамперед від типу й робочого стану вібруючої сітки. Всі сітки для очищення бурового розчину виготовляють, як правило, у вигляді касет з бічним обрамленням. Вібросито ефективно очищає важких шламових розчинів. У практиці широко використовуються одноярусні здвоєні вібросита СВ-2 і СВ-2Б, і одноярусні двосіткові вібросита ВР-1. Вібраційне сито ВР-1 більш ефективно, особливо при очищенні обважнених шламових розчинів. Воно складається (Рис. 1.8.) зі станини 1 для кріплення вібросита на блоці очищення і вібруючої рами 2, призначеної для безпосереднього очищення розчину шляхом проціджування його через змінні вібруючі сітки й скидання шламу у відвал.

Станина являє собою просторову конструкцію, виконану із профільного прокату. Полоз-сани з'єднані між собою двома трубами 3 і листом-піддоном. На полозах устанавлюється прийомна ємність 4 для розчину що надходить. У верхній частині прийомної ємності змонтовані поворотні розподільники потоку 5, за допомогою яких забезпечується рівномірна подача розчину на сітку. Розподільники можуть фіксуватися під будь-яким кутом до потоку. Для подачі розчину, при необхідності минаючи сітку, прийомна ємність має клиновий шибер 6, ступінь відкриття якого регулюється й фіксується ланцюгом. З боків полоз-саней є отвори, що дозволяють випускати очищений розчин. Отвори закриваються плоскими шиберами 7. На полозах устанавлені чотири тумби 8 для монтажу вібруючої рами. Зв'язок між станиною й вібруючою рамою здійснюється за допомогою чотирьох кручених циліндричних пружин 9.

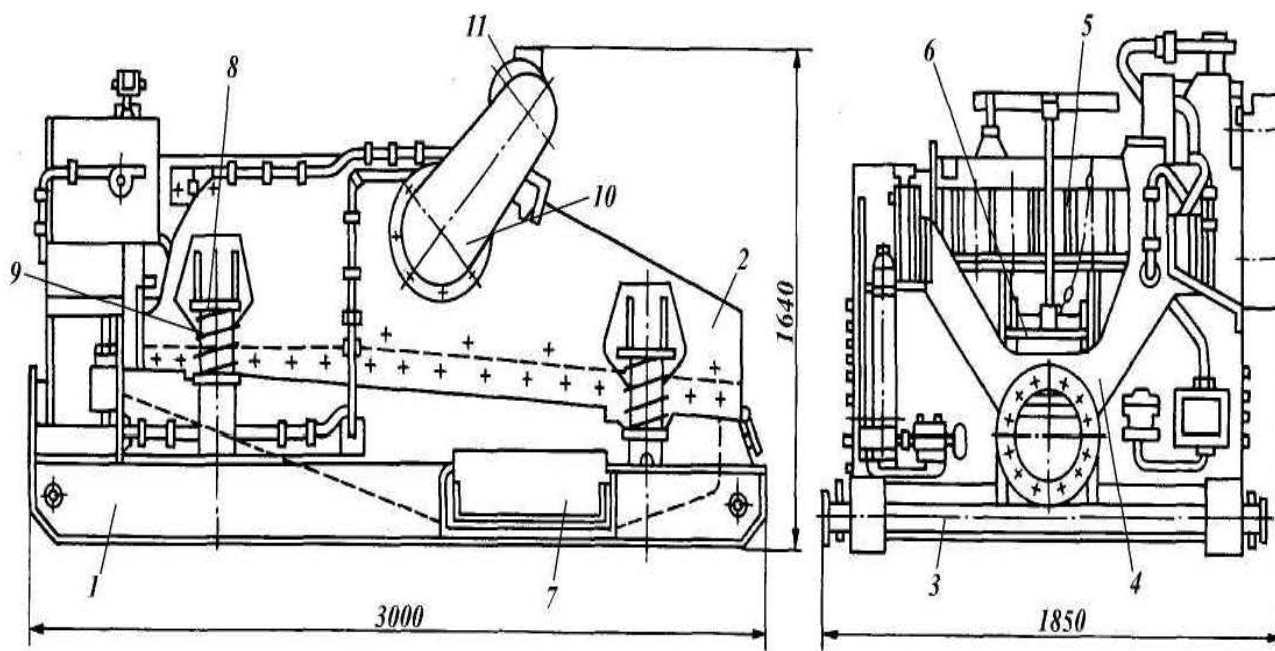


Рис. 1.8. Вібраційне сито СВ-1

1 – станина; 2 – рама; 3 – труби; 4 – ємність; 5 – розподільники; 6,7 – шибери;
8 – тумби; 9 – пружини; 10 – вібратора; 11 – електродвигун.

Під козирком прийомної ємності розташована ручна станція для періодичного змащення підшипників вібратора. Вібруюча рама по конструкції являє собою закріплену між боковинами основу для кріплення сітки. Крім основи сітки боковини скріплюються стяжною трубою, корпусом вібратора й рамою привода. У корпусі вібратора 10 розміщений вал, на обох кінцях якого встановлені дисбаланси, що створюють необхідну амплітуду коливань. На рамі привода встановлений електродвигун 11, що забезпечує потрібну частоту коливань, а на протилежному кінці розташовані вантажі, що зрівноважують привод. Рух від двигуна до вібратора передається двома клиновими ременями.

Вібросито ВР-1 оснащується двома забитими в касети сітками. Перша сітка встановлюється горизонтально, а друга – з нахилом близько 5° . Поперечний натяг кожної сітки здійснюється подпружиненими болтами із зусиллям до 50кН. Траєкторія коливань сіток еліптична. Найбільша подвійна амплітуда 8мм, частота коливань до 1040 в 1 хв. Робоча поверхня сітки $2,7\text{м}^2$.

Вібросито ВР-1 здатне пропустити через сітку з осередком $0,16 \times 0,16\text{мм}$ 40л/сек води й не менш 10л/сек шламового розчину. При використанні сітки $0,9 \times 0,9\text{мм}$ пропускна здатність вібросита перевищує 100л/сек. Маса вібросита 1800кг, довжина 3м, ширина 1,85м, висота 1,64м.

Відстійники

Відстоювання проводять в апаратах, які називаються відстійниками [7]. Відстійники для згущення суспензій називають згущувачами, а для класифікації твердих часток на фракції - класифікаторами.

Розрізняють відстійники безперервної, напівбезперервної й періодичної дії. У перших всі процеси протікають безупинно, в останніх - періодично; у відстійниках напівбезперервної дії подача поділованої суміші й вивід очищеної

суцільної фази проводяться безупинно, а видалення згущеної дисперсної фази (осаду, шламу й т.п.) - періодично.

Періодично діючі відстійники для суспензії звичайно являють собою басейни без пристроїв, що перемішують. Відстійник заповнюють суспензією, а через певний час, необхідне для осадження твердих часток, шар прочищеної рідини зливають через штуцера, розташовані вище рівня осаду. Після цього осад, що представляє собою текучу рідку шлам-шлам-маса-шлам, вивантажують вручну через верх апарата або видаляють через нижній штуцер за допомогою спускового крана.

Широко поширені відстійники безперервної дії із гребковою мішалкою (Рис. 1.9). Вони являють собою циліндричний резервуар 1 з конічним днищем 2. У резервуарі встановлена мішалка 3, постачена гребками, які безупинно переміщують осад до центрального розвантажувального отвору й одночасно злегка збовтують осад, сприяючи його зневоднюванню. Частота обертання мішалки незначна ($0,00025-0,0083 \text{ с}^{-1}$), тому процес осадження не порушується. Суспензія безупинно надходить по трубі в середині резервуара. Прочищена рідина переливається в кільцевий жолоб 4 і відводиться через штуцер. Осад (шлам), що представляє собою згущену суспензію, відводиться через штуцер у конічному днищі за допомогою діафрагмового насоса. Вал мішалки приводиться в обертання від електродвигуна через редуктор.

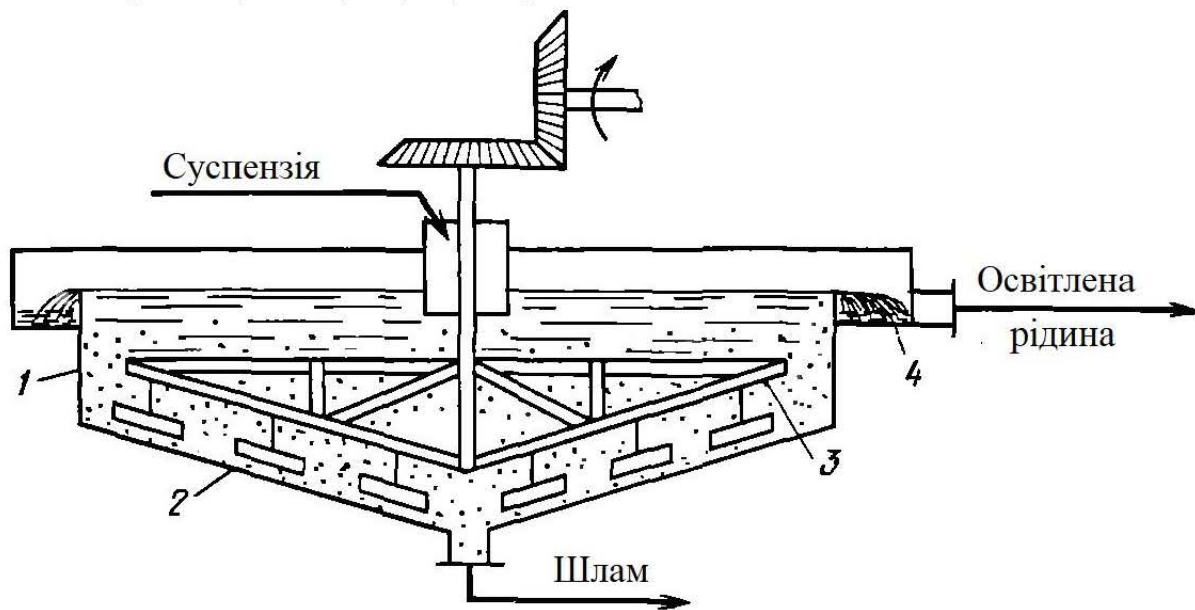


Рис. 1.9. Відстійник безперервної дії із гребковою мішалкою:
1 – корпус; 2-днище; 3-гребкова мішалка; 4-кільцевий жолоб

Відстійники із гребковою мішалкою забезпечують однорідність осаду, дозволяють зневоднити його до концентрації твердої фази 35-55%; робота таких відстійників повністю автоматизована. До недоліків цих апаратів варто віднести їхню громіздкість.

Діаметр нормалізованих апаратів - від 1,8 до 30м; в окремих випадках застосовують відстійники діаметром до 100м. Для зменшення площі, займаної відстійниками, застосовують багатоярусні апарати, що представляють собою

кілька відстійників, поставлених один на одного й маючих загальний вал для гребкових мішалок. Багаторушність істотно ускладнює конструкцію апарата.

Нескладні по конструкції й мають велику поверхню відстійники безперервної дії з конічними полками (Рис. 1.10). Суспензія що входить в апарат розподіляється по каналах між конічними полками, на поверхні яких осаджуються тверді частинки. Осад сповзає по похилих полицях до стінок корпуса й потім переміщується в нижню частину апарата, звідки відводиться. Освітлена рідина надходить у центральну трубу й виводиться з верхньої частини апарата.

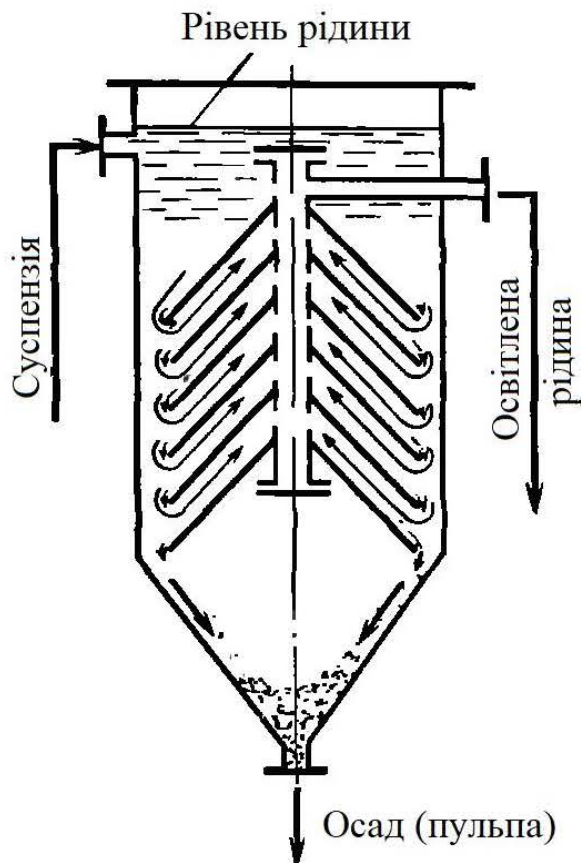


Рис. 1.10. Відстійник безперервної дії з конічними полками

Крім великої поверхні осадження до достоїнств відстійників цього типу відносяться відсутність частин, що рухаються, і простота обслуговування. Однак вологість шламу в них більше, ніж у відстійниках із гребковою мішалкою.

На Рис. 1.11 показано відстійник безперервної дії для розділення емульсій. Він являє собою горизонтальний резервуар з перфорованою перегородкою 2, що запобігає збурюванню рідини у відстійнику струменем емульсії, що надходить в апарат. Поперечний переріз відстійника вибирають таким, щоб швидкість руху рідини в корпусі 1 апарата не перевищувала декількох міліметрів у секунду й режим течії був ламінарним, що не допускає змішання фаз і поліпшує процес відстоювання. Розширені легка й важка фази виводяться із протилежної сторони відстійника. Трубопровід для виводу важкої фази з'єднаний з атмосферою для запобігання засифонування.

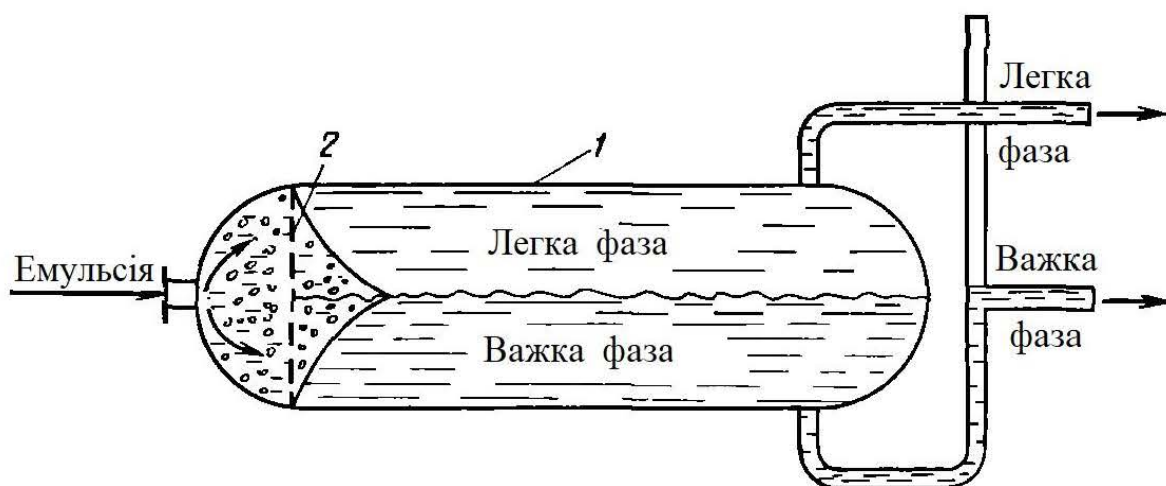


Рис. 1.11. Відстійник безперервної дії для розділення емульсій:
1-корпус; 2-перфорована перегородка

Очищення газів від пилу під дією сил ваги проходить у пилоосаджувальних камерах (Рис. 1.12). Запилений газ надходить у корпус камери 1, у якому встановлені горизонтальні полки 2. Відстань між полками становить 100-300мм. Газ проходить у каналах між полками, при цьому на поверхні останніх осаджується пил. Пройшовши полки, газ обгинає вертикальну відбивну перегородку 3 і відводиться з камери. Основне призначення перегородки 3 – забезпечити рівномірний розподіл газу між полками; крім того, при обгинанні газом перегородки з нього під дією сил інерції відводиться частина пилу. Осілий на полках пил періодично відводиться за допомогою шкребків через люки 4 або змивається водою.

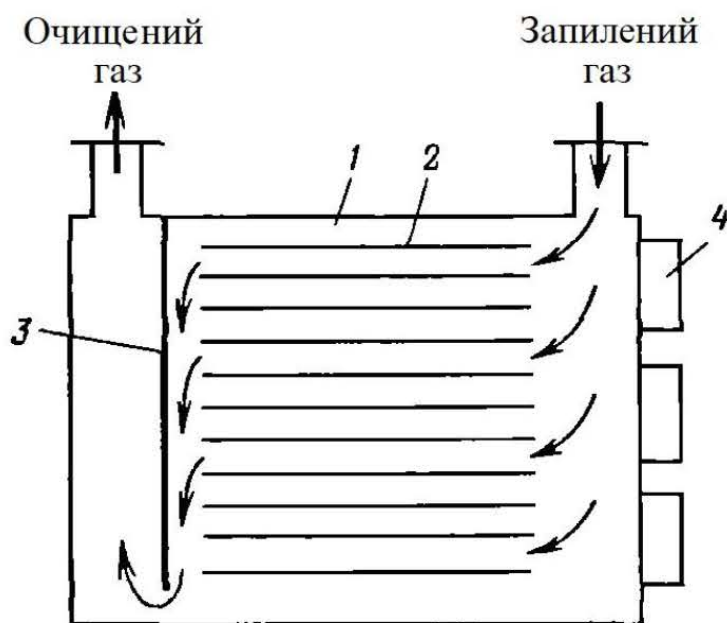


Рис. 1.12. Пилоосаджувальна камера:
1 - корпус; 2 - полки; 3 - відбивна перегородка; 4 - люки для видалення пилу

Хоча поверхня осадження при великій кількості полиць може бути досить велика, ступінь очищення газу від пилу в цих апаратах звичайно не перевищує 30-40%, причому частинки розміром 5 мкм і менше взагалі не відокремлюються від газу. Тому пилоосаджувальні камери використовують для попереднього грубого очищення дуже запиленних газів, що містять частинки розміром не менш декількох десятків мікрметрів.

1.2.3. Фільтраційні пиловловлювачі

У фільтраційних пиловловлювачах очищення повітря (газу) від пилу відбувається при проходженні запиленого потоку через шар пористого матеріалу. Як фільтруючий шар використовують тканини, кокс, гравій та інші. [7, 10, 14].

Процес фільтрації заснований на багатьох фізичних явищах (ефект зачеплення, у тому числі ситовий ефект, - аерозольні частинки затримуються в порах і каналах, що мають менший перетин, ніж розміри часток; дія сил інерції - при зміні напрямку руху запиленого потоку частинки відхиляються від цього напрямку й осаджуються; броунівський рух - значною мірою визначає переміщення високодисперсних субмікронних часток; дія гравітаційних сил, електростатичних сил - аерозольні частинки й матеріал фільтра можуть мати електричні заряди або бути нейтральними).

У міру нагромадження у фільтруючому шарі затриманих часток режим фільтрації змінюється. Для підтримки його в необхідних межах роблять регенерацію фільтра, що полягає в періодичному або систематичному видаленні затриманих у фільтруючому шарі часток.

Більшість фільтрів має високу ефективність очищення. Фільтри застосовують як при високій, так і при низькій температурі очисного середовища, при різній концентрації в повітрі зважених часток.

Відповідним підбором фільтрувальних матеріалів і режиму очищення можна досягти необхідної ефективності очищення у фільтрі практично у всіх необхідних випадках.

У багатьох конструкціях фільтраційних пиловловлювачів режим роботи фільтра, зокрема, режим регенерації, підтримується автоматично.

Маючи багатьма позитивними якостями, що фільтруючі пристрої в той же час не позбавлені **недоліків**: вартість очищення у фільтрах вище, ніж у більшості інших пиловловлювачів, зокрема, у циклонах. Це пояснюється більшою конструктивною складністю фільтрів у порівнянні з іншими апаратами, більшою витратою електроенергії. Багато конструкцій фільтраційних пиловловлювачів більш складні в експлуатації й вимагають кваліфікованого обслуговування.

Фільтраційні пиловловлювачі залежно від матеріалу фільтруючого шару підрозділяються на волокнисті, тканинні, ворсисті.

Волокнисті фільтри. У волокнистих фільтрах фільтруючий шар утворений відносно рівномірно розподіленими тонкими волокнами фільтруючих матеріалів. Ці фільтри призначені для вловлювання часток дрібнодисперсної фази й особливо дрібнодисперсного пилу при його концентрації в повітрі (газі), що очищається межах 0,5–5 мг/м³.

Волокнисті фільтри можуть бути підрозділені на тонковолокнисті, глибокі в грубоволокнисті фільтри.

Тонковолокнисті фільтри призначені для вловлювання високодисперсного пилу й інших аерозольних часток розміром 0,05- 0,1мкм із ефективністю не менш 99%.

Тканинні фільтри. Широко поширені **тканинні рукавні фільтри.**

Рукавні фільтри застосовуються для очищення великої кількості повітря (газів) зі значною концентрацією пилу. Фільтруючими елементами в цих апаратах є рукави зі спеціальної фільтрувальної тканини.

Рукавні фільтри забезпечують тонке очищення повітря від пилових часток, що мають розмір менш 1мкм. Наряду із циклонами рукавні фільтри є одним з основних видів пилоуловлюючого устаткування й широко застосовуються на підприємствах чорної й кольорової металургії, хімічної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, харчової промисловості, в енергетичних установках й інше.

Використаються усмоктувальні й нагнітальні **рукавні фільтри.**

Усмоктувальні фільтри встановлюються до вентилятора, тобто на його усмоктувальній лінії. Нагнітальні рукавні фільтри встановлюються на нагнітальній лінії. Повітря, очищений у рукавах нагнітальних фільтрів, надходить безпосередньо в приміщення, де встановлені фільтри. **Недоліком** нагнітальних фільтрів, через якого не може бути рекомендовано їхнє застосування, є надходження повітря після фільтрів у приміщення. При наявності щілин у рукавах відбувається вибивання пилу в приміщення. Запилене повітря проходить через вентилятор, що викликає більш швидке зношування вентилятора. Неприпустимо переміщення повітря, що містить пожежо- і вибухонебезпечний пил.

Фільтрувальні тканини. Ефективність очищення повітря (газів) у рукавних пилоуловлювачах в основному залежить від властивостей фільтрувальної тканини, з якої виготовлені рукави апарата, а також від того, якою мірою ці властивості відповідають властивостям очисного середовища, і зважених у ній часток.

При проходженні запиленого повітря (газу) через тканину пилові частинки затримуються між нитками й ворсом. Сітка утвориться нитками основи й утоку й додатково переплітається ворсинками. Наявність ворсу підвищує ефективність фільтрації.

Фільтрувальні тканини повинні мати ряд позитивних властивостей: забезпечувати ефективне очищення, допускати достатнє повітряне навантаження, мати необхідну пилоємкість, бути здатним до регенерації, високу довговічність, стійкість до стирання механічних впливів, низку гігроскопічність та інші. До тканини можуть бути пред'явлені додаткові вимоги, обумовлені властивостями очисного середовища: стійкість до певних хімічних речовин і високої температури.

Фільтр Г4-БФМ зображений на Рис. 1.13. Металева шафа фільтра розділена перегородками на секції з фільтруючою поверхнею кожної 15м². Фільтри цього типу мають дві, три, чотири й шість секцій. У кожній секції розташовано 18 рукавів з фільтрувальної тканини (3х6 рядів). Рукави підвішені до рами струшуючого пристрою.

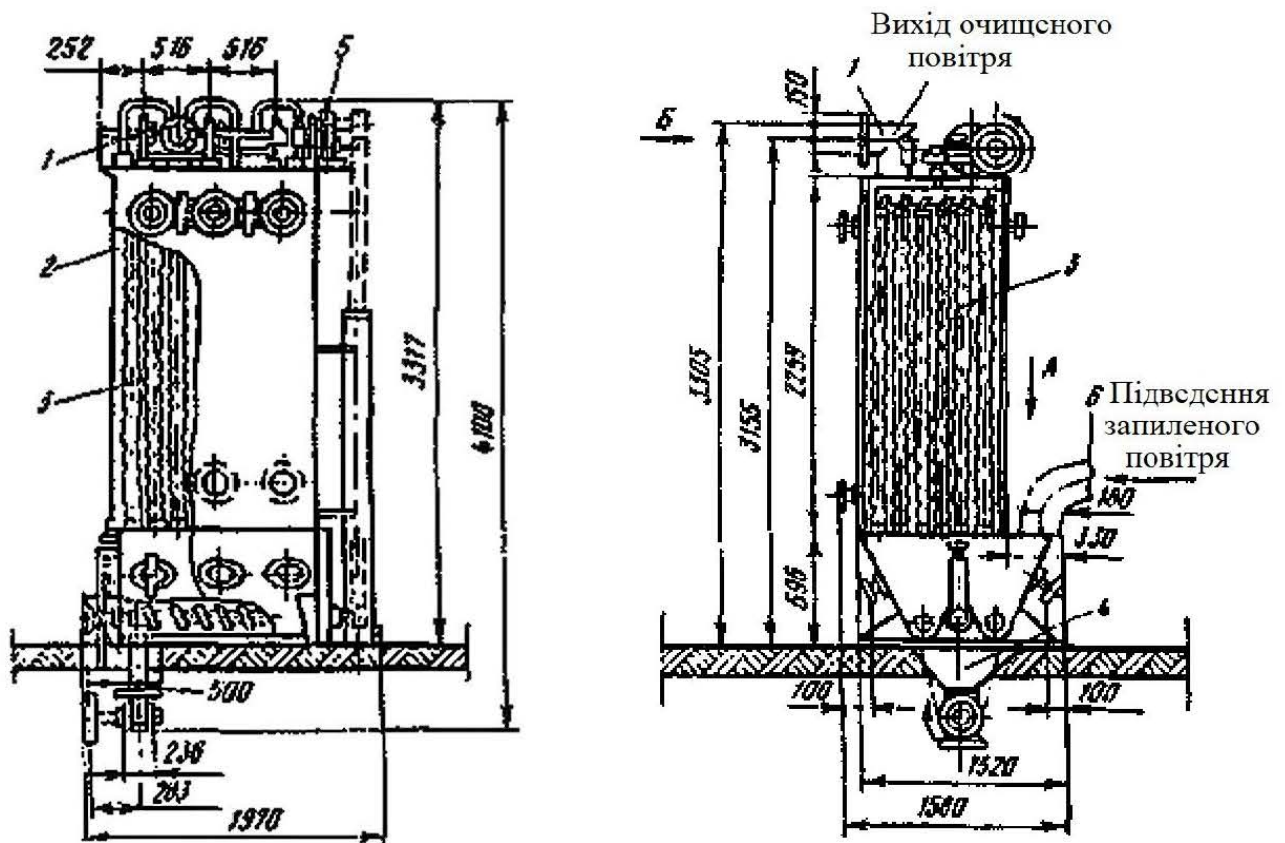


Рис. 1.13. Рукавний фільтр усмоктувального типу ФВ (Г4-1БФМ):

- 1 - клапанні коробки для виходу повітря; 2 - шафа металевий;
 3 - рукава; 4 - збірник пилу; 5 - електродвигун; 6 - вхідний патрубок

У фільтрі передбачена регенерація рукавів через 3,5хв тривалістю 30 с. Регенерація здійснюється струшуванням і зворотною продувкою й виробляється посекційно.

Під час регенерації за допомогою важільно-кулачкового механізму закривається клапан, установлений на виході очищеного повітря, і відкривається клапан на вході продувального повітря зовні. Зовнішнє повітря надходить у регенеруєму секцію й проходить тканину в напрямку, зворотному робочому напрямку. При цьому шар пилу, що осів на внутрішній поверхні тканини, осідає. Одночасно за допомогою важільно-кулачкового механізму відбувається струшування рукавів. У результаті продувки й струшування пил, що осів на рукавах, падає в бункер, з якого відводиться шнеком. Після цього регенеруєму секція включається в роботу й починається регенерація наступної секції й т.д.

При імпульсній продувці (Рис. 1.14) струмінь стисненого повітря, що виходить із сопла розподільної труби, захоплює невелику кількість очищеного газу (повітря) і надходить у рукав. Під впливом надлишкового тиску рукав роздувається, відбувається руйнування шару осілого пилу і його випадання в бункер. Тривалість імпульсу 0,2с, тиск стисненого повітря 500-600кПа. Витрата стисненого повітря становить 0,1-0,2% від кількості очищеного газу (повітря).

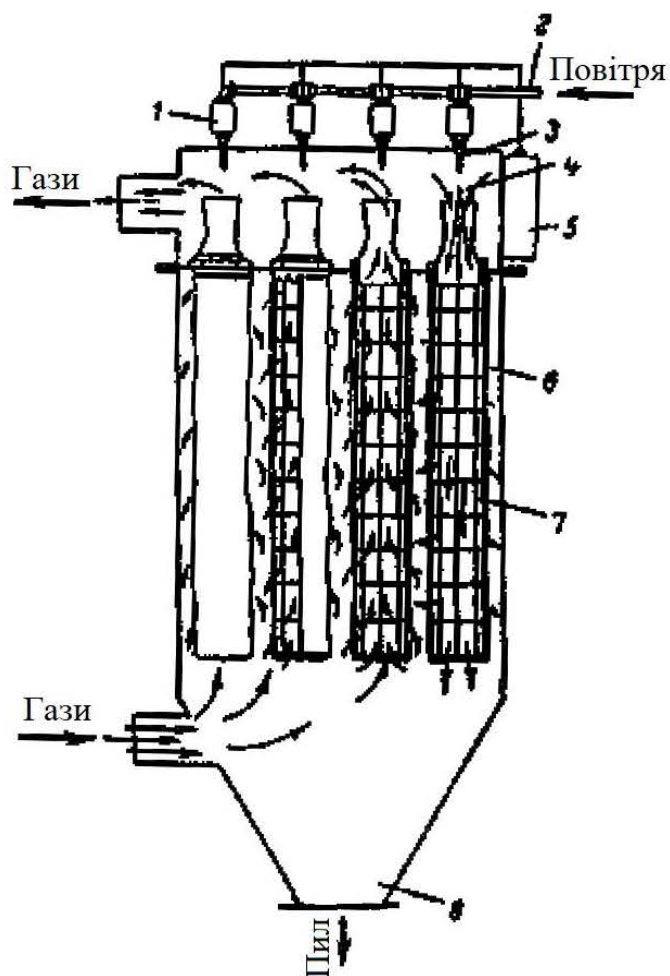


Рис. 1.14. Каркасний рукавний фільтр із імпульсною продувкою:

- 1 - соленоїдний клапан; 2 - труба для уведення стисненого повітря; 3 - сопло;
 4 - струмінь стисненого повітря; 5 - прилад автоматичного керування генерацією;
 6 - рукав; 7 - каркас; 8 - бункер.

Основного недоліку тонковолокнистих фільтрів (короткий термін служби фільтруючого шару через відсутність регенерації) позбавлені глибокі фільтри. Вони розраховані на термін служби 10-20 років. Це досягається завдяки наявності декількох фільтруючих шарів загальною висотою 0,3-2,0м. Діаметр волокон 8-19 мкм. Перший шар фільтра на шляху руху очисного середовища, складається із грубих волокон, останній шар - з тонких. Фільтр застосовується в системах стерилізації повітря у виробництві антибіотиків, вітамінів й інших біо- і медичних препаратів. Фільтр періодично стерилізують гострою парою, потім просушують сухим повітрям.

Грубоволокнисті фільтри. Ці фільтри називають також попередніми фільтрами, тому що їх встановлюють перед тонковолокнистими фільтрами для попереднього очищення повітря (газів). Завдяки цьому знижується вартість очищення, оскільки вартість грубоволокнистих фільтрів майже в 10 разів нижче тонковолокнистих, їх легше замінити або регенерувати. Фільтрувальний матеріал попередніх фільтрів складається із суміші волокон діаметром від 1 до 20мкм. Фільтр марки ФГ показаний на Рис. 1.15.

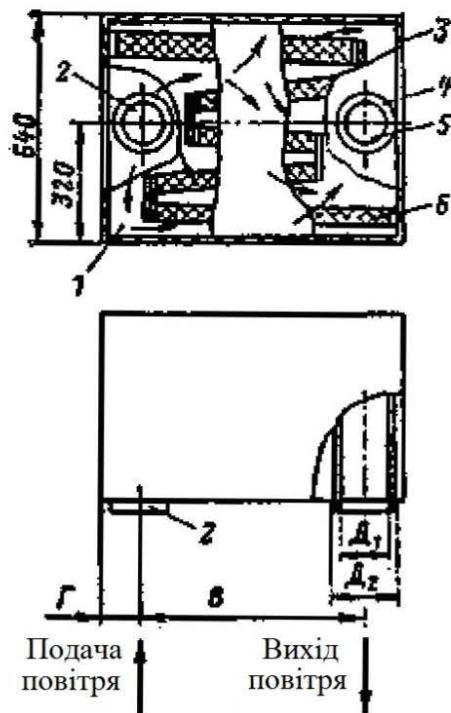


Рис. 1.15. Фільтр грубого очищення ФГ:

1 - форкамера; 2 - вхідний отвір; 3 - корпус; 4 - вихідний отвір; 5 - ущільнювальне кільце; 6 - фільтруючий елемент

Фільтри-тумановловлювачі. Багато технологічних процесів супроводжуються утворенням туманів. Так, наприклад утворення туману відбувається при випарі масел, виробництві й концентруванні різних кислот, виробництві хлору та інші. Рідкі частинки в тумані мають розмір менше 10мкм.

Для вловлювання часток тумана застосовують волокнисті фільтри-тумановловлювачі різних конструкцій, для яких характерний безперервний вивід уловленої рідини.

Застосовують в основному два типи фільтрів-тумановловлювачів: низькошвидкісні й високошвидкісні.

Низькошвидкісні фільтри мають грубі та тонкі волокна в певній пропорції. Одна з конструкцій низькошвидкісного фільтра наведена на Рис. 1.16,а. В елементі фільтра співвісно розташовані дві дротяні сітки, простір між якими заповнений волокнами. Трубка в нижній частині корпусу апарата обладнана гідрозатвором, через який уловлена рідина надходить у корпус апарата.

Високошвидкісні тумановловлювачі. Збільшення швидкості фільтрації приводить до зменшення розмірів волокнистих фільтрів. Високошвидкісні фільтри випускає фірма «Монсанто». Фільтр складається із плоских елементів (Рис. 1.16,б). Вони встановлені в каркасі, під яким розташований піддон, куди стікає вловлена рідина. Фільтруючим шаром є голкопробивні матеріали – повсті. По хімічній стійкості найбільш універсальна поліпропіленова повсть. Товщина слою – 3-12мм, діаметр волокон 20-75мм. Опір фільтра 500 Па, ефективність уловлювання часток

більше 3мм близько 100%.

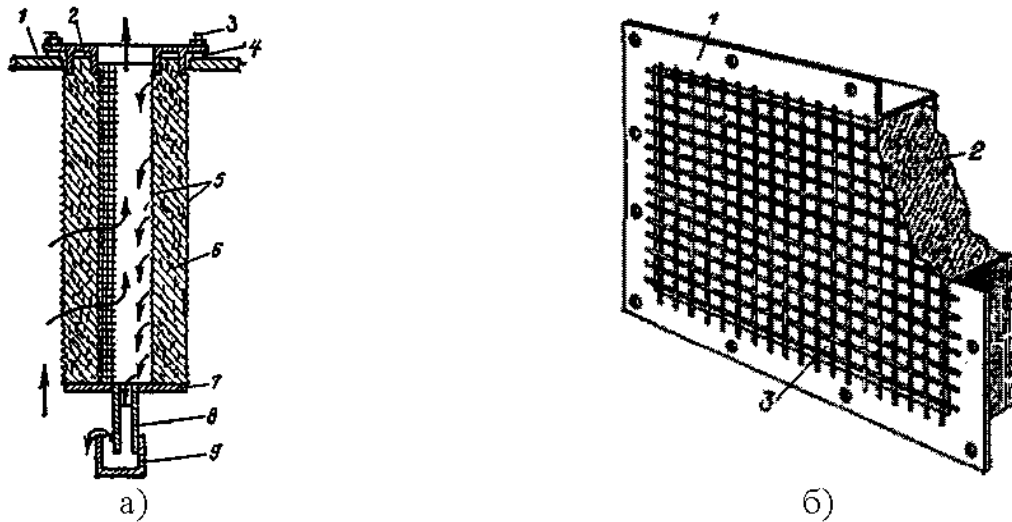


Рис. 1.16. Фільтри-тумановловлювачі

а) Циліндричний фільтруючий
низькошвидкісний елемент:
1 - опорна трубчаста перегородка;
2 - ущільнюючий патрубко-фланець;
3 - шпилька; 4 - прокладка;
5 - сітки; 6 - скловолокнистий шар;
7 - дно; 8 - трубка гідрозатвора;
9 - склянка

б). Елемент високошвидкісного фільтра:
1 - короб із фланцем;
2 - скловолокно;
3 - сітка

Зернисті фільтри. Фільтруючий шар у цих фільтрах утворений зернами сферичної або іншої форми. Можуть використатися при високих температурах – до 500–800°C, в умовах впливу агресивного середовища. Зернисті фільтри поширені значно менше, ніж тканинні фільтри. Розрізняють насипні зернисті фільтри, у яких елементи фільтруючого шару не зв'язані жорстко один з одним, і тверді зернисті фільтри, у яких ці елементи міцно зв'язані між собою шляхом спікання, пресування, склеювання й утворять міцну нерухому систему.

Зернисті тверді фільтри керамічні, металокерамічні й інші, мають значну стійкість до високої температури, корозії, механічних навантажень. Їхній недолік – висока вартість, великий гідравлічний опір, труднощі регенерації.

У насадці насипних фільтрів використовують пісок, гравій, шлаки, дроблені гірські породи, кокс, крихту гуми, пластмас, графіту й інші матеріали залежно від необхідної стійкості до впливу температури та хімічних речовин.

Зернистий фільтр може бути єдиним щаблем в установці або першим щаблем перед більше ефективним фільтром, наприклад з матеріалами ФП.

Регенерація здійснюється шляхом розпушування шару вручну або механічно, промиванням водою, заміною шару.

На Рис. 1.17 показано зернистий гравійний фільтр для вловлювання пилу з наявністю абразивних часток й агресивних газів від дробарок, грохотів, сушарок, млинів, що транспортують пристроїв підприємство з виробництва цементу, вапна, гіпсу, фосфорних добрив. Питоме навантаження на фільтр – 17– 50 м³/(м²-г), опір

фільтра – у межах 0,5–1,5кПа. Ефективність очищення - до 99,8 %.

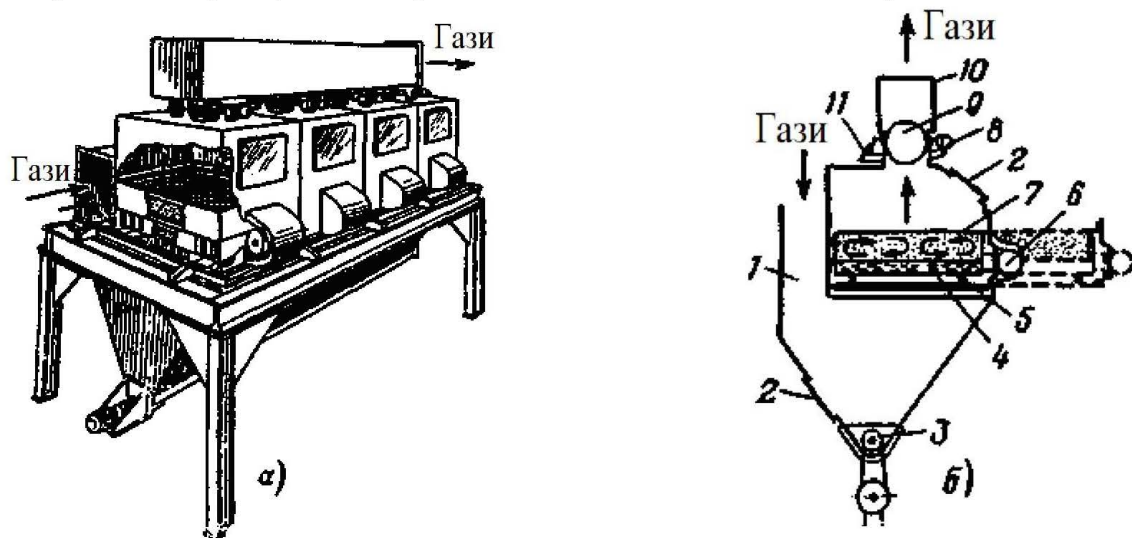


Рис. 1.17. Чотирихкамерний гравійний фільтр Лурги з вібраційною регенерацією: а - загальний вид фільтра; б - розріз фільтра.

1 - вхідний патрубок; 2 - люк; 3 - шнек; 4 - шар стружки; 5 - пружина; 6 - вібратор; 7 - шар гравію; 8 - електродвигун; 9 - заслінка для очищеного газу; 10 - патрубок для очищених газів; 11 - клапан продувного повітря

1.2.4. Гравітаційне й інерційне сортування

Природними рушійними силами процесу осадження пилових часток у потоці є сили ваги й дифузії. Ці сили, однак, є недостатніми для самостійного очищення газів. Хоча вловлювання найбільш крупних часток іноді й здійснюють за допомогою природного осадження в гравітаційному полі, у більшості апаратів сучасної пилоочисної техніки використовують більше інтенсивне силове поле, створюване штучно.

Так, для пилловловлення широко застосовують інерційні сили, що проявляються при зміні напрямку й швидкості пилогазового потоку, а також сили електричного притягання попередньо заряджених часток до осадкового електрода.

Знаходить застосування в пилловловленні й процес коагуляції, у результаті якого відбувається утворення укрупнених агрегатів, що складаються з декількох часток пилу. Цей процес інтенсифікують за допомогою інерційних, електричних або термічних сил. У пилловловлюючих пристроях основний процес осадження часток часто супроводжується побічними небажаними процесами. Так, наприклад, уже осаджені частинки можуть знову захоплюватися газовим потоком, а агрегати часток, що утворилися в процесі коагуляції, руйнуватися й т.д.

Для зменшення вторинних процесів, що заважають пилловловленню, вживають спеціальних заходів - змочують осадові поверхні, знижують швидкість газу, підвищують електропровідність часток, уводять у газ рідину для збільшення міцності агрегатів часток та інше.

Щоб виділити пилоподібні частинки з газів, здійснюють фільтрування газів через пористі перегородки. У цьому випадку використовують інерційний, електричний або дифузійний механізм осадження часток. Вибір механізму осадження залежить від розмірів пилових часток, швидкості газового потоку й інших факторів.

Пилоосадкові камери є найпростішими пиловловлювачами. Вони відносяться до групи гравітаційного встаткування, у яку входять два види - порожнинне й поличне.

Частка, внесена в камеру потоком повітря, перебуває під дією двох сил: сили інерції, під впливом якої вона прагне переміщатися горизонтально, і сили ваги, під дією якої вона осаджується на дно камери (Рис. 1.18). При потраплянні в камеру швидкість пилового потоку різко падає, внаслідок чого, частинки, що перебувають у зваженому стані, осаджуються під дією сили ваги.

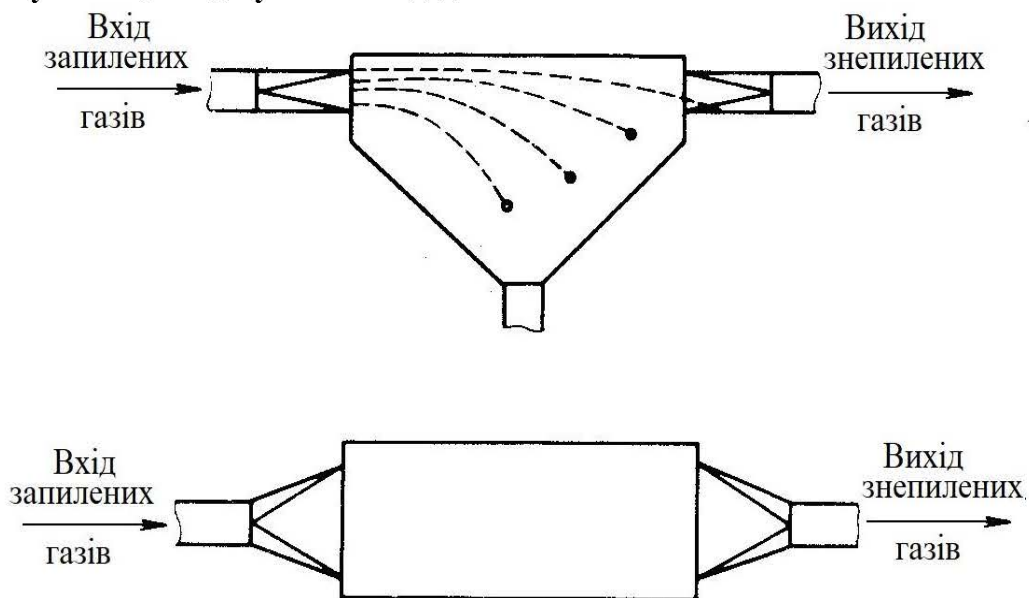


Рис. 1.18. Пилоосадна камера

В інерційних пиловловлювачах пиловий потік піддається різкій зміні напрямку, внаслідок чого частинки стикаються з поверхнями осадження, зменшують швидкість, випадають із газового потоку й через розвантажувальні колектори видаляються з пиловловлювача.

Для збільшення ефекту осадження за рахунок використання сил інерції застосовуються камери, до стелі яких підвішені ланцюги, стрижні.

Для нормальної роботи пилоосадкової камери необхідно, щоб повітря рівномірно рухалося через камеру. Для цього при вході в камеру встановлюють сітки, ґрати й інші пристрої для вирівнювання потоку повітря. Максимальна швидкість руху повітря через пилоосадкову камеру звичайно не перевищує 3 м/с.

Перевагою пилоосадкової камери є простота пристрою, нескладність експлуатації, довговічність. Пилоосадкові камери можуть бути виготовлені із цегли, бетону й інших неметалічних матеріалів, стійких до корозії. Втрати тиску в пилоосадкових камерах звичайно не перевищують 20–150 Па. У той же час пилоосадкові камери мають істотні недоліки, через які застосування цього виду пиловловлювачів значно скоротилося. У пилоосадковій камері, навіть удосконаленої конструкції, можна здійснити осадження тільки найбільш крупних фракцій пилу переважно зі значною щільністю. Дрібні фракції виносяться з камери повітряним потоком. Пилові камери займають багато місця. Ступінь очищення повітря в

пилоосадових камерах не перевищує 50-60%. Цей пристрій може застосовуватися лише для попереднього очищення повітря від пилу великої дисперсності зі значною щільністю. Для осадження вибухово – і пожежонебезпечного пилу використання пилоосадових камер не допускається.

Дія інерційного пиловловлювача заснована на тім, що при зміні напрямку руху потоку запиленого повітря (газу) частинки пилу під дією сил інерції відхиляються від лінії току й сепаруються з потоку. До інерційних пиловловлювачів відноситься ряд відомих апаратів: пиловіддільник ИП, жалюзійний пиловловлювач ВТИ та інші, а також найпростіші інерційні пиловловлювачі (пиловий мішок, пиловловлювач на прямій ділянці газоходу, екранний пиловловлювач та інші).

Інерційні пиловловлювача вловлюють великий пил - розміром 20-30мкм і більше, їхня ефективність звичайно становить 60-95%. Значення залежить від багатьох факторів: дисперсності пилу й інших його властивостей, швидкості потоку, конструкції апарата й інших. Із цієї причини інерційні апарати застосовують звичайно на першому етапі очищення з наступним беспиленням газу (повітря) у більше ефективних апаратах. Перевагою всіх інерційних пиловловлювачів є простота і невисока вартість апарата.

Інерційний пиловловлювач являє собою конус, утворений конічними кільцями поступово зменшуваного діаметра (Рис. 1.19). Повітря, що очищається, входить у конус має швидкість 18м/с і рухається до основи конуса.

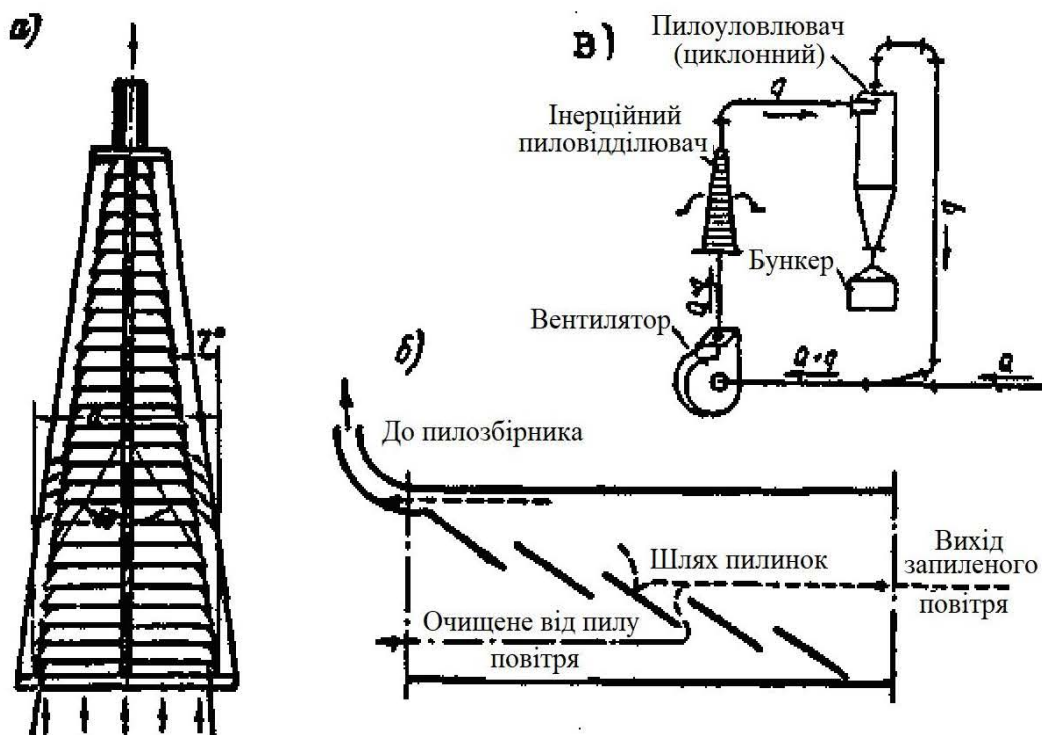


Рис. 1.19. Інерційний пиловіддільник:

а - загальний вид; б - принцип дії;

в - схема установки інерційного пиловіддільника із циклоном

По ходу руху повітря виходить через щілини між кільцями, а пилові частинки під дією сил інерції, продовжуючи рух у прямолінійному напрямку,

ударяються об стінки й відкидаються в масу потоку. У міру руху потоку концентрація пилу в ньому зростає. Біля вершини конуса в пилоповітряній суміші залишається лише 5-10% повітря, з того що надійшло в апарат. Вийшовши з апарата, пилоповітряна суміш направляється в циклон. Пил відокремлюється від повітря й надходить у бункер, а обезпилене повітря повертається до вентилятора.

Таким чином, повітря піддається двоступінчастому очищенню, загальна ефективність якої складає 90 %.

При вловлюванні піскоструминного пилу ефективність, знаходиться в межах 92,5-95,9%.

Перевагою є компактність і простота пристрою. Апарат може застосовуватися як перший щабель при очищенні повітря від великодисперсного пилу. Найбільш простий з пиловловлювачів цього типу, так званий **ПИЛОВИЙ МІШОК**, показаний на Рис. 1.20.

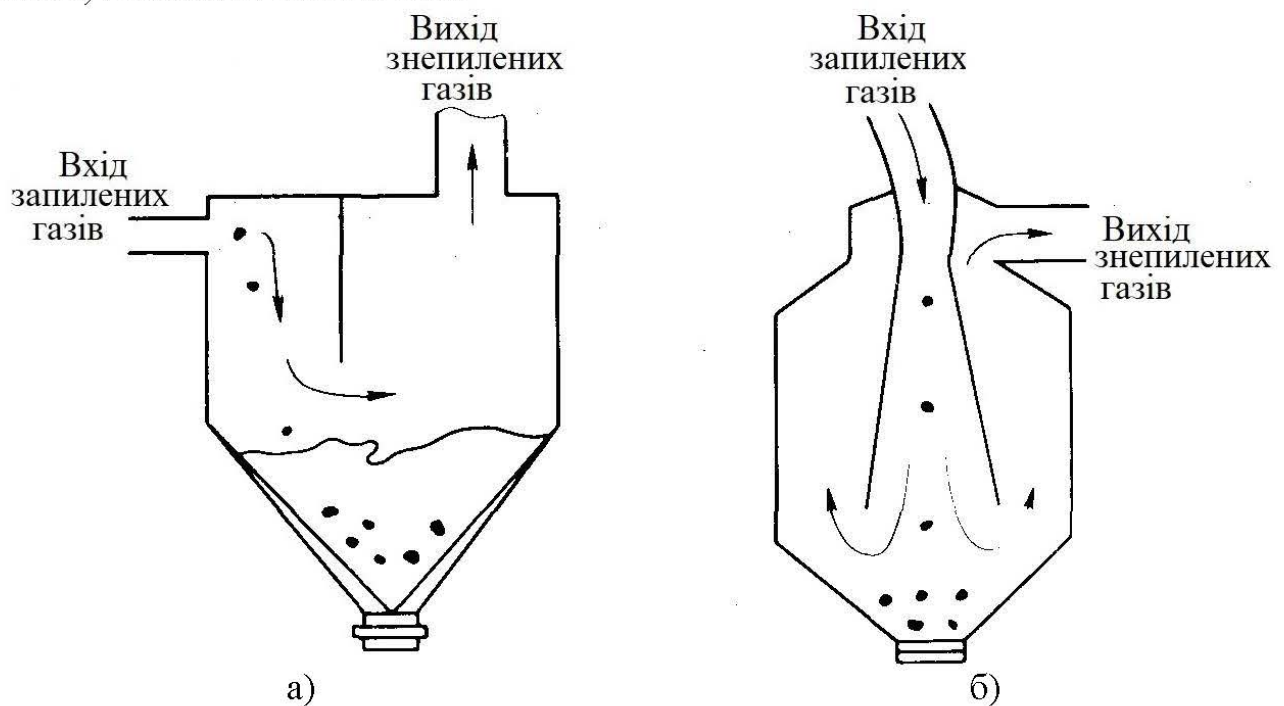


Рис. 1.20. Інерційні пиловловлювачі

а - з бічним підведенням потоку; б - із центральним підведенням запиленого потоку.

Апарати з відбивними перегородками часто використовуються для очищення газів різних нагрівальних установок й обертових печей, а також при видаленні кислотних конденсатів і т.д.

Сепарація пилу відбувається при повороті потоку на 180° і наступному його підйомі до вихідного патрубку. Швидкість потоку у вхідному патрубку 10м/с, у циліндричній частині корпусу 1м/с. Ефективність очищення газів з пиловими частками більше 30 мкм знаходиться в межах 65-80%. Гідравлічний опір - 150-390Па. Пилкові мішки доцільно застосовувати для попереднього очищення газів з високою концентрацією пилу - кілька сотень грамів на 1м.

Інерційний пиловловлювач, розташований на прямій ділянці газоходу діаметром більше 2м. Застосовується для вловлювання великого пилу, що

осаджується внаслідок відхилення потоку від прямолінійного руху (Рис. 1.21).

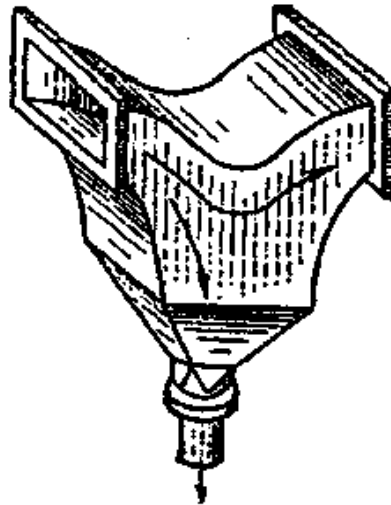


Рис. 1.21. Інерційний пиловловлювач на прямій ділянці газоходу

1.2.5. Ротаційні пиловловлювачі

У ротаційних пиловловлювачах, які використовуються для очищення газів (повітря) від пилу, принцип дії оснований на використанні відцентрових сил і сил Коріоліса, що виникають при обертанні робочого колеса апарата.

Характерною особливістю ротаційних пиловловлювачів є те, що в одному апараті сполучені збудник (вентилятор) і пиловловлювач. Завдяки цьому апарат більш компактний, чим установка, що складається з вентилятора й пиловловлюючого пристрою. Ротаційний пиловловлювач споживає менше електроенергії, чим вентилятор і пиловловлювач разом. Ротаційні пиловловлювачі діляться на дві основні групи залежно від місця підведення запиленого потоку до апарата. Більша частина ротаційних пиловловлювачів відноситься до групи, де запилений потік надходить у центральну частину колеса, що обертається в кожусі (тип D), показаний на Рис. 1.22. Пилкові частинки під дією відцентрових сил і сил Коріоліса відкидаються на периферію диска і звідти надходять у пилозбірник.

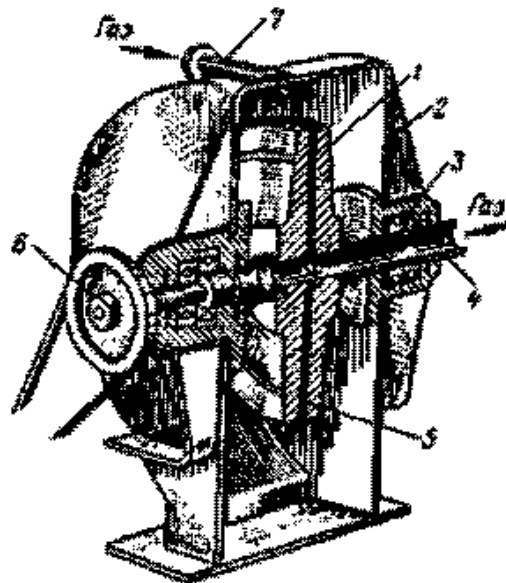


Рис. 1.22. Ротаційний пиловловлювач типу D:

1 - ротор; 2 - корпус; 3 - опора; 4 - порожній вал, 5 - радіальний канал, 6 - шків; 7 - патрубок

Існує також друга група пиловловлювачів – відцентровий роторний пиловловлювач показаний на (Рис.1.23). Частинки, які вловлюються, переміщуються в напрямку, зворотному руху газів. В цьому випадку повітря, що очищається, надходить в обертовий барабан через отвори на бічній поверхні. У прикордонному шарі швидкість обертання пилогазового потоку досягає окружної швидкості обертання барабана. Внаслідок цього частинки пилу переборюють аеродинамічний опір і сепаруються.

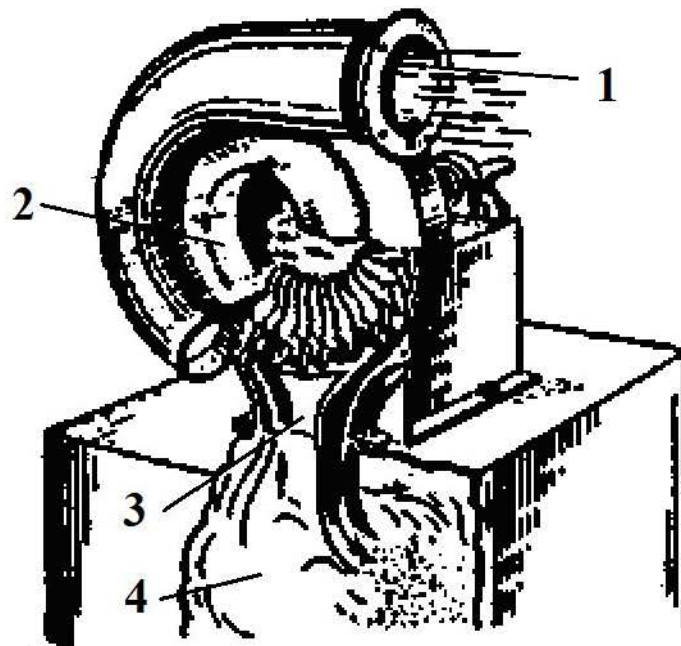


Рис.1.23. Відцентровий ротаційний пиловловлювач:
1 - вихід; 2 - вхід; 3 - підсмоктувач повітря; 4 - пилозбірник

Застосовуються також апарати ротаційного типу, у яких для підвищення ефективності очищення запылений потік стикається з водяною поверхнею, віддаючи воді частину пилу.

Ротаційні пиловловлювачі служать для очищення повітря (газів) від пилу що не злипається або слабо злипається при значній концентрації в потоці. Ефективність очищення від пилу із частками розміром 8-12мкм становить 83%, 20 мкм - до 97%.

1.2.6. Машини для гідравлічної класифікації

При роботі млинів мокрого типу в замкнутому циклі здрібнений матеріал розділяють по крупності в класифікаторах, для того щоб недостатньо здрібнений матеріал повернути в млин і домолоти. Широко застосовують гідравлічні класифікатори також при сортуванні гравію на заводах для промивання й класифікації піску на великий, дрібний і дуже дрібний і для посвітління відпрацьованої води. Принцип дії класифікаторів заснований на різній швидкості осадження часток, що відрізняються розміром або питомою вагою у водному середовищі. Ця швидкість залежить від співвідношення сили ваги й сили опору середовища. При їхній рівновазі швидкість осадження стає постійною. При цьому

необхідно враховувати, що маса частинки в рідині менше ніж величина маси рідини діючої на об'єм частинки. Сили ваги, що діють на частинки, можуть доповнюватися силами інерції. Сили опору складаються із сил тертя, викликаних в'язкістю рідини, і сил тиску, що залежать від сил інерції рідини. Сили тертя переважають при осадженні дрібних часток розміром менш 0,1мм, сили тиску – при осадженні крупних часток (до 2мм). На швидкість осадження крім розміру часток і питомої ваги впливають й інші фактори – концентрація часток у рідині, змочуваність матеріалу часток, температура води й наявність у ній розчинних солей.

У процесі очищення стічних вод утворюються осади, обсяг яких становить від 0,5 до 1% об'єму стічних вод для станцій спільного очищення побутових і виробничих стічних вод і від 10 до 30% для локальних очисних споруджень. Умовно осади можна розділити на три основні категорії - мінеральні осади, органічні осади й надлишкові активні мули. Основні завдання сучасної технології обробки складаються в зменшенні їхнього об'єму й у наступному перетворенні в нешкідливий продукт, що не викликає забруднення навколишнього середовища.

В осадах знаходяться з'єднання кремнію, алюмінію, заліза, оксиду кальцію, магнію, калію, натрію, нікелю, хрому й інших елементів. Хімічний склад осадів дуже впливає на їхню водовіддачу. З'єднання заліза, алюмінію, хрому, міді, а також кислоти, луги й деякі інші речовини, що втримуються у виробничих стічних водах, сприяють інтенсифікації процесу зневоднювання осадів і знижують витрати хімічних реагентів на їхню коагуляцію перед зневоднюванням. Масла, жири, азотні з'єднання, волокнисті речовини, навпаки є несприятливими компонентами. Оточуючи частинки осаду, вони порушують процеси ущільнення й коагуляції, а також збільшують вміст органічних речовин в осаді, що позначається на погіршенні його водовіддачі.

Механічне зневоднювання осадів промислових стоків може проводитись екстенсивними й інтенсивними методами. Екстенсивні методи здійснюються в різного роду ущільнювачах, інтенсивне зневоднювання й згущення виробляється за допомогою фільтрування, центрифугування, гідро–циклонування та інших.

Фільтрування являє собою процес відділення твердих речовин від рідини, за рахунок різниці тисків над фільтруючим середовищем і під нею. Для зневоднювання осадів і шламів звичайно використовують вакуум-фільтри й фільтр-преси. Фільтруючим середовищем на фільтрах є фільтрувальна тканина й шар осаду, що прилипає до тканини й утворює у процесі фільтрування додатковий фільтруючий допоміжний шар, що й забезпечує затримку дрібних часток суспензії. У міру збільшення шару роль фільтруючої перегородки (тканини) зводиться лише до підтримки фільтруючого шару. Збільшення товщини шару забезпечує поліпшення якості фільтрату, але в той же час у результаті збільшення опору проходженню води через пори й капіляри кека зменшується швидкість фільтрації.

Фільтруємість суспензій характеризується питомим опором осаду. У цьому випадку під осадом мається на увазі шар кека, що відкладається на фільтрувальній перегородці при фільтруванні суспензій. Питомим опором осаду називається опір одиниці маси твердої фази, що відкладається на одиниці площі фільтра при фільтруванні під постійним тиском суспензії, в'язкість рідкої фази якої дорівнює

одиниці.

У мокрих пиловловлювачах очищення газів (повітря) від пилу відбувається в основному в результаті контакту запиленого потоку з роздробленою рідиною (краплинне вловлювання) і з плівкою рідини (плівкове вловлювання). Відбувається також осадження пилу, на який діють електростатичні сили.

Порівняння мокрого очищення із сухий показує, що мокре очищення має меншу вартість і, як правило, є більш ефективним, ніж сухе. Більшість мокрих пиловловлювачів може застосовуватися для вловлювання самих дрібних часток, навіть менш 1мкм.

Мокрі пиловловлювачі по ефективності й інших показниках не поступаються рукавним фільтрам й електрофільтрам, а по ряду показників перевершують їх (можливість очищення газів з високою температурою й підвищеною вологістю, безпека при вловлюванні пожежо- і вибухонебезпечних пилів).

Разом з тим мокре пиловловлення має недоліки, і область його застосування в ряді випадків обмежена.

Для роботи мокрих пиловловлювачів необхідно мати водні ресурси, у ряді випадків значні. Доводиться споруджувати відстійники, необхідно видаляти шлам і таке інше.

Мокре вловлювання застосовується не для всіх видів пилу. Ряд пилів при контакті з водою змінюють свої властивості й не можуть бути використаними для корисних цілей.

Основними видами мокрих пиловловлювачів є:

- порожні промивачі (порожні скрубери й інші);
- насадочні скрубери;
- барботажні й пінні апарати;
- апарати ударно-інерційної дії (ротоклони);
- апарати відцентрової дії;
- швидкісні апарати (типу Вентурі).

1.2.6.1. Центрифуги та сепаратори

Центрифугами називаються машини, у яких рідкі неоднорідні системи розділяються у відцентровому полі, що виникає в роторі – барабані. За принципом розділення центрифуги підрозділяються на два класи: фільтруючі й осадові (Рис. 1.24).

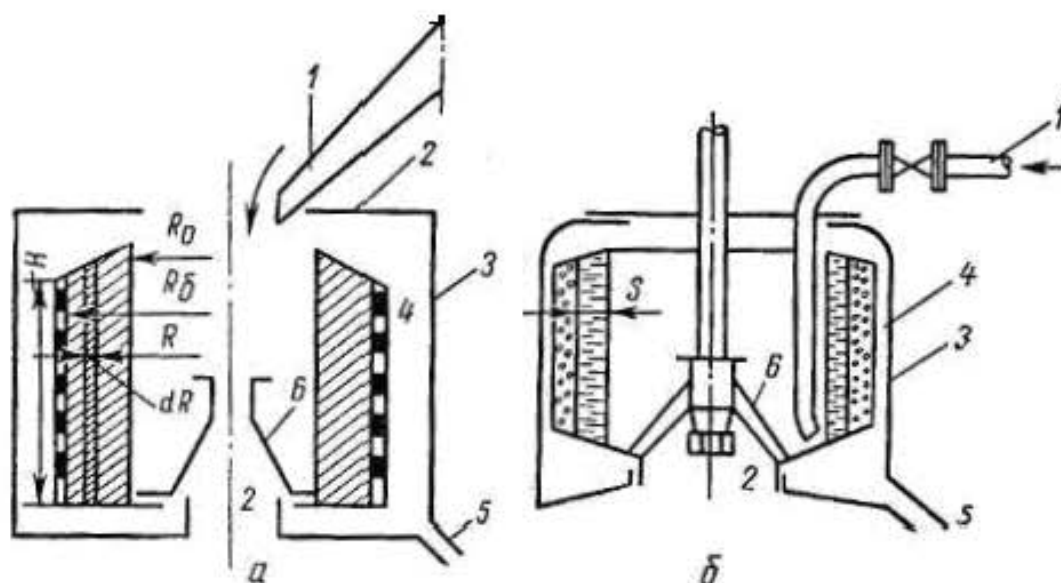


Рис. 1.24. Схеми центрифуг

a – фільтруюча; *б* – осадова; 1 – підведення суспензії; 2 – розвантажувальний отвір; 3 – кожух; 4 – барабан; 5 – відвід фугата; 6 – конус

Під центрифугуванням розуміють поділ неоднорідних фаз за допомогою відцентрових сил. Воно здійснюється в апаратах, які називаються центрифугами.

Центрифугування суспензій і шламів виконується двома методами. У першому випадку центрифугування виконується в роторах, що мають суцільну стінку, у другому – перфоровану. Центрифугування в перфорованих роторах є процесом, окремі елементи якого подібні з фільтрацією й пресуванням шламів.

Процеси центрифугування в суцільних роторах підрозділяються на центрифугальне освітління й осадове центрифугування. Осадове центрифугування є процесом розділення суспензій, що містять значну кількість твердої фази.

За принципом дії центрифуги діляться на осадові й фільтруючі, періодичної і безперервної дії.

Для зневоднювання промислових і побутових осадів стічних вод переважно використовуються вертикальні осадкові центрифуги періодичної дії й горизонтальні осадкові центрифуги безперервної дії зі шнековим вивантаженням осаду. Принциповий пристрій осадкові центрифуги з вертикальним ротором показано на Рис. 1.25.

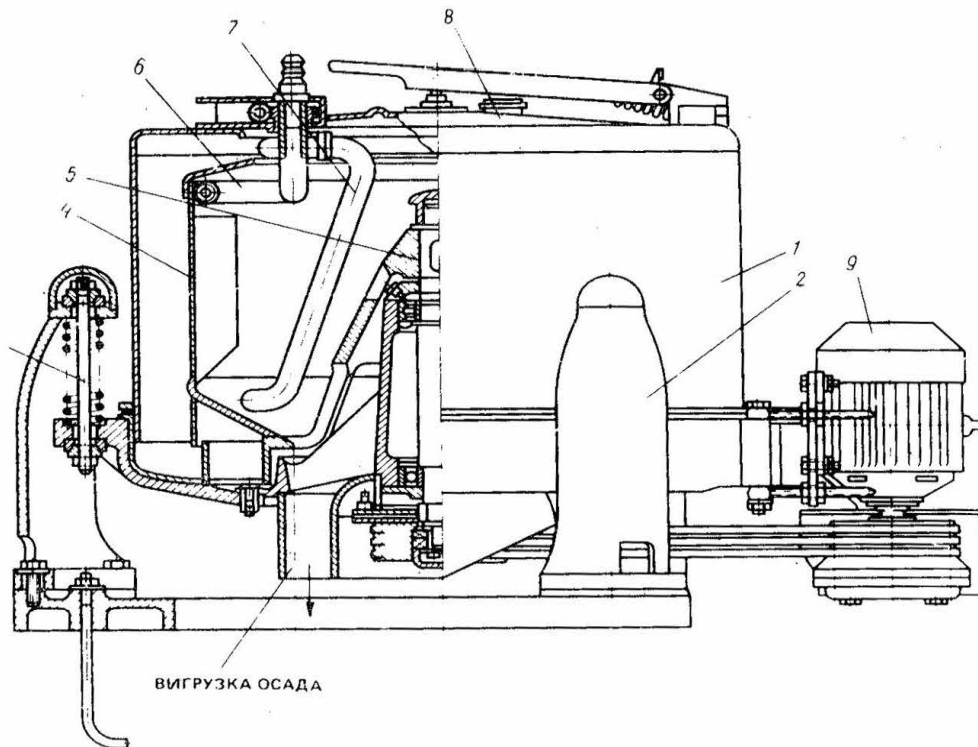


Рис. 1.25. Осадова центрифуга

1 - корпус; 2 - опірні колони; 3 – пружина; 4 - ротор; 5 - вал; 6 - патрубок що підводить; 7 - патрубок для відводу фугата; 8 - кришка; 9 - електропривод

Корпус центрифуги 1 опирається на литі колони 2 за допомогою пружинної підвіски 3. Усередині корпуса розташований ротор 4, виконаний у виді барабана із суцільними стінками, обпертого в підшипниках на валу 5. Подача суспензії в ротор здійснюється через патрубок 6, відвід фугата – через патрубок 7. У процесі роботи центрифуга закрита кришкою 8, з запобіжним пристроєм. Ротор приводиться в обертання від електропривода 9. Осад, що відклався на стінках ротора під дією відцентрових сил, після зупинки центрифуги сповзає вниз і видаляється через кільцеву щілину в нижній частині ротора.

Для зневоднювання осадів стічних вод найбільш доцільними є безперервно діючі горизонтальні центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду типу ОГШ. Принциповий пристрій центрифуги такого типу показано на Рис. 1.26.

Осад, що збезводнює, подається по трубі 1 порожнього шнека 2 і через отвір 3 надходить у прийомну камеру ротора 4. Більші й важкі частинки осаду під дією відцентрової сили віджимаються до внутрішньої поверхні ротора, переміщуються шнеком і вивантажуються через вікна 8 у трубу-бункер 7. Фугат через зливальні отвори 5 потрапляє в зливальну трубу 6. Регулюючи відстань між зовнішніми краями зливальних отворів 5, які називають "діаметром зливу", можна змінювати якість фугата й збезводненого осаду.

Шнек і ротор центрифуги приводяться в обертання від електродвигуна через клиноремінну передачу. Шнек обертається в ту ж сторону що й ротор, трохи відстаючи від нього, за рахунок чого й відбувається відносно переміщення осаду по стінках ротора до розвантажувального бункера 7.

Осадів шнекові центрифуги вітчизняного виробництва марки ОГШ серійно випускаються Сумським машинобудівним заводом.

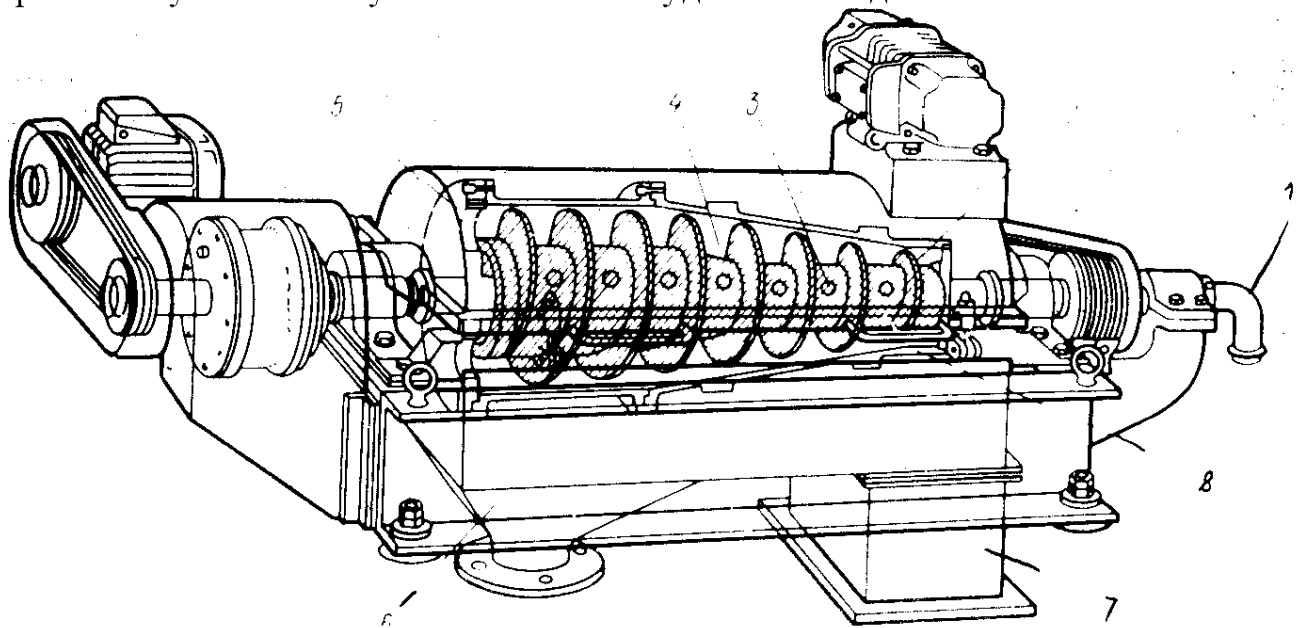


Рис. 1.26. Центрифуга шнекового типу

1 - труба подачі осада; 2 - порожній шнек; 3 - прохідні отвори; 4 - ротор;
5 - зливальні отвори 6 - зливальна труба; 7 - розвантажувальний бункер

Недоліком шнекових осадкових центрифуг є абразивне зношування поверхонь шнека в результаті різниці частоти обертання шнека в роторі, що особливо проявляється при зневоднюванні високомінералізованих осадів промислових стічних вод. Однак зараз є конструкції центрифуг зі зносостійкими роторами, що досягається зміцненням крайок шнека, що стикаються з абразивним осадом, спеціальними змінними насадками із твердих сплавів металокерамічних матеріалів.

Серед апаратів для відцентрового розділення різних рідких відходів широке поширення отримали **рідинні сепаратори**, що працюють за принципом тонкошарового центрифугування (сепарування). У нафтовій промисловості вони застосовуються, наприклад, для очищення водонафтових пасткових емульсій, відділення механічних домішок із масел, очищення глинистого розчину, застосовуваного при буравленні нафтових свердловин, очищення стічних вод нафтопереробних заводів, відділення кислого гудрону від світлих дистилатів та інших.

У хімічній промисловості їх використовують для очищення стічних фенольних вод, добування селеномістких осадів у виробництві сірчаної кислоти, регенерації каталізаторів та інших.

У металообробній промисловості сепаратори застосовують для очищення охолодних рідин шліфувальних верстатів, регенерації мастил верстатів, очищення промивного гасу й бензину. Їх використовують також в автотракторній, суднобудівній, металургійній, гірничорудній й іншій галузях промисловості. Основи процесів тонкошарового центрифугування полягають у наступному. У

швидкообертний барабан (Рис. 1.27) безперервним потоком подається рідка неоднорідна суміш. Протікаючи по міжтарілочних просторах у тонкому шарі, під дією доцентрового прискорення вона розділяється на фракції. Якщо центрифугуванню піддається емульсія (Рис. 1.27,а), то обидві фракції після сепарації безперервним потоком виводяться з барабана у відповідні прийомні ємності.

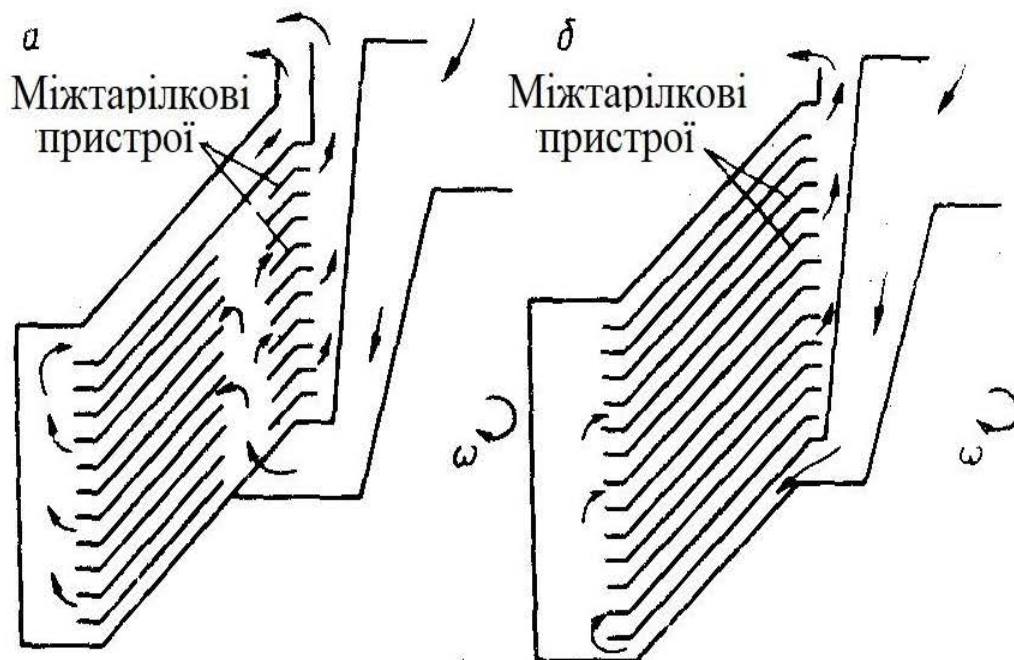


Рис. 1.27. Схема барабана-сепаратора

- а - барабан розділення рідких сумішей (дисперсна фаза більш легка ніж частинки);
- б - барабан для розділення рідких сумішей (дисперсна фаза більш важка ніж частинки)

У випадку розділення суспензії (Рис. 1.27,б) одна фракція, наприклад, маюча більше легке дисперсійне середовище, виводиться з барабана безупинно, а друга - дисперсійна фаза, що складається з більше важких твердих часток, накопичується в барабані й розвантажується періодично. Безперервний вивід твердої фази здійснюється на соплових сепараторах, у яких тверді частинки видаляються з периферії барабана у вигляді концентрованої суспензії.

Конструкції сучасних сепараторів можна розділити на три основні групи: безперервно-циклічної дії з ручним вивантаженням осаду з барабана; безперервно-циклічної дії з періодичним відцентровим вивантаженням осаду з барабана; рідинні сепаратори безперервної дії.

На Рис. 1.28 показано варіант барабана-сепаратора з вивантаженням фракції через сопла, установлені на периферії барабана. Приводний механізм може бути як із гвинтовою парою, так і за допомогою ременів. Барабан складається з корпусу із соплами, кришки, тарілотримача й комплекту тарілок. У випадках, коли важка фракція виводиться через сопла й знову повертається в барабан (циркуляція для максимального її згущення) або ж у барабан, до його периферії

подається промивна рідина, у конструкцію барабана вводиться додатково розділова тарілка або трубки.

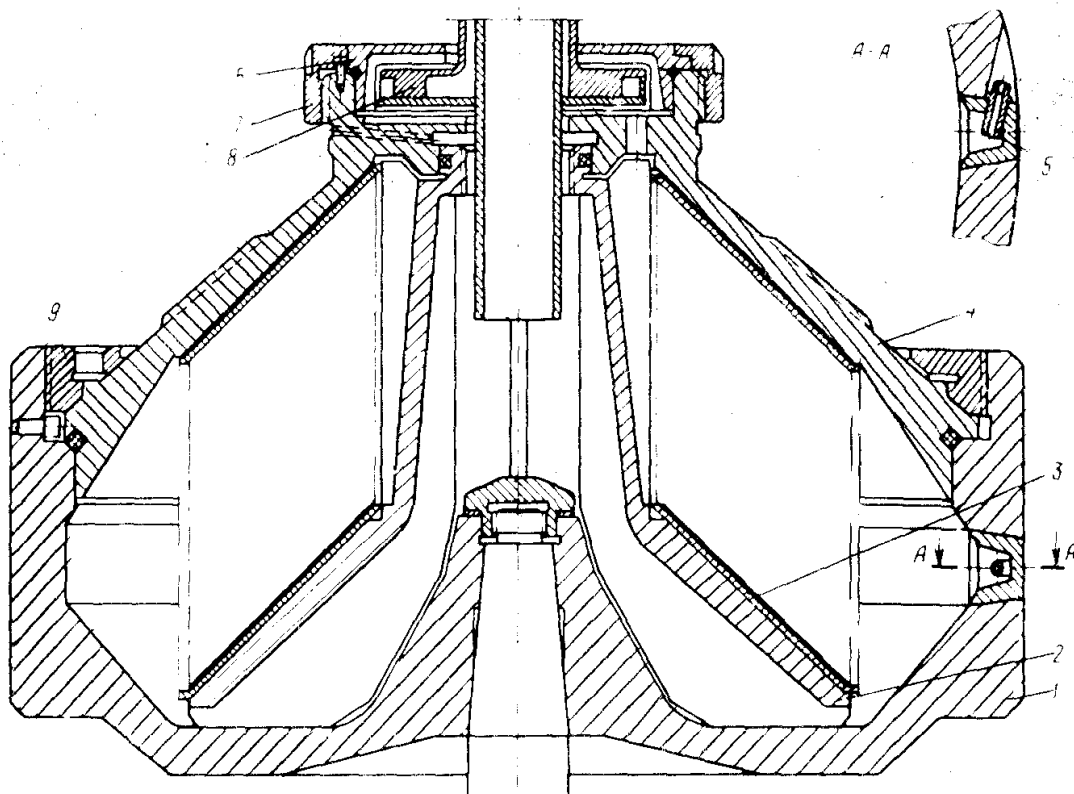


Рис. 1.28. Барабан-сепаратор з вивантаженням фракції через сопла, установлені на периферії основи барабана

1 - основа; 2 - тарілотримач; 3 - тарілки; 4 - кришка; 5 - сопло; 6 - кришка;
7,9 - затяжні кільця; 8 - напірний диск

У практиці згущення й зневоднювання осадів з очисних споруджень малих і середніх промислових і транспортних підприємств найбільше поширення отримали **гідроциклони**, які застосовуються, як правило, у комбінації з розташованими нижче бункерами-ущільнювачами осаду. По конструктивних особливостях всі гідроциклони можна розбити на наступні групи: а) **конічні гідроциклони**; б) **циліндричні гідроциклони**; в) **турбоциклони (центриклони)**. Так як вони займають особливе місце в процесі розділення гетерогенних систем, то будуть розглянуті окремо в наступних розділах.

1.2.6.2. Фільтри

Серед фільтруючих апаратів найпоширенішими є барабанні вакуум-фільтри. Вони випускаються у варіантах без фільтруючого полотна що сходить і з цим полотном.

Вакуум-фільтр із полотном, що сходить (Рис. 1.29) складається з горизонтально розташованого циліндричного порожнього барабана 9, частково (на 35-40%) зануреного в корито 8 з суспензією яка піддається фільтруванню. Розділений усередині на ізольовані секції барабан обертається на валу, один кінець якого з'єднаний з електроприводом, а інший має розподільну головку 10.

Призначення останньої полягає в почерговому повідомленні окремих секцій барабана з вакуумною й напірною лініями. При обертанні барабана частина його поверхні занурена в суспензію, яка знаходиться в кориті 8. Фільтрат під дією вакууму проходить через фільтрувальну тканину секції барабана й виводиться назовні, кек, затриманий на фільтрувальній стрічці, підсушується за допомогою вакууму й обдувається стисненим повітрям.

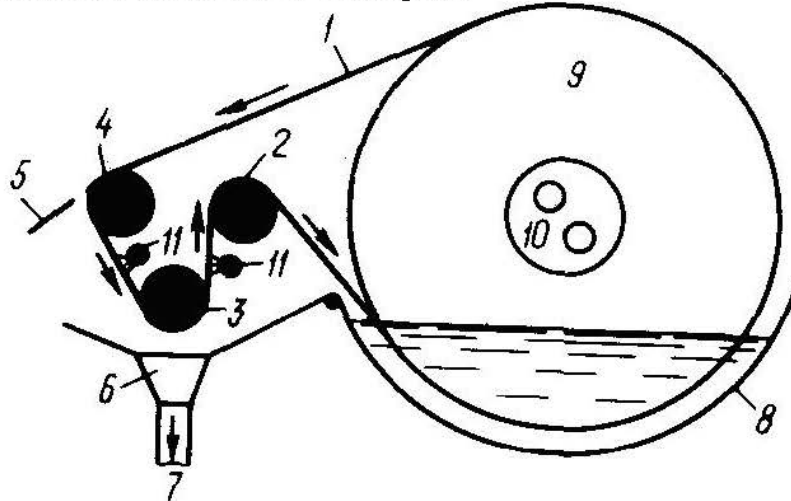


Рис. 1.29. Схема вакуум-фільтра з безперервною регенерацією фільтрувальної тканини

1 – тканина фільтру; 2 - зворотний ролик; 3 - натяжний ролик; 4 - розвантажувальний ролик; 5 - ніж; 6 - ринна промивної води; 7 - відвід промивної води; 8 - корито фільтра; 9 - барабан фільтра; 10 - розподільна головка; 11 - трубки

Перевагами цих фільтрів є не тільки гарна регенерація тканини, але й можливість відокремлювати досить тонкі шари осаду (1-3мм), що дозволяє збільшити частоту обертання барабана й за рахунок цього підвищити продуктивність установки в 1,2-2 рази в порівнянні зі звичайними барабанними фільтрами.

Крім барабанних, у техніці зневоднювання осадів промислових стічних вод застосовуються **дискові й стрічкові вакуум-фільтри**. Фільтрувальні елементи дискових фільтрів виконані у вигляді набору вертикальних дисків, обтягнутих по обидва боки фільтрувальною тканиною. Диски кріпляться на горизонтально обертовому валу, усередині якого розташовані колектори, що відводять. Секторні ячейки дисків приєднані до колекторів. Число дисків у фільтрі досягає 12, а загальна поверхня фільтрування залежно від типорозміру вимірюється від 9 до 102м. Найбільше поширення дискові фільтри отримали при обробці осадів стічних вод підприємств чорної металургії й вугільної промисловості.

Стрічкові вакуум-фільтри застосовують переважно для зневоднювання швидко розшаровуючихся осадів з неоднорідною крупністю часток, таких як окалини, осади газочистки доменного й конвертерного газів та інших.

Стрічковий вакуум-фільтр (Рис. 1.30) складається з нескінченної гумовотканинної стрічки б, натягнутої на двох барабанах 3, і фільтрувального стола 5. Посередині стола по всій його довжині є щілинний отвір, що з'єднаний з розташованою нижче вакуумною камерою. Робоча поверхня стрічки має поперечні

й поздовжні наскрізні прорізи 9. На стрічку 6 укладають фільтрувальну тканину 1 і закріплюють у пазах гумовим шнуром 11. Верхня, робоча галузь стрічки, викладена на фільтрувальному столі так, що її поздовжні прорізи збігаються із щілинним отвором стола 9. Фільтрат, що утвориться в процесі зневоднювання, відводиться із внутрішньої сторони тканини по поперечних пазах стрічки й через поздовжній отвір надходить у вакуумну камеру й збірний колектор. Краї верхньої робочої частини стрічки загинаються догори напрямними 10, так що стрічка приймає форму ринви або корита.

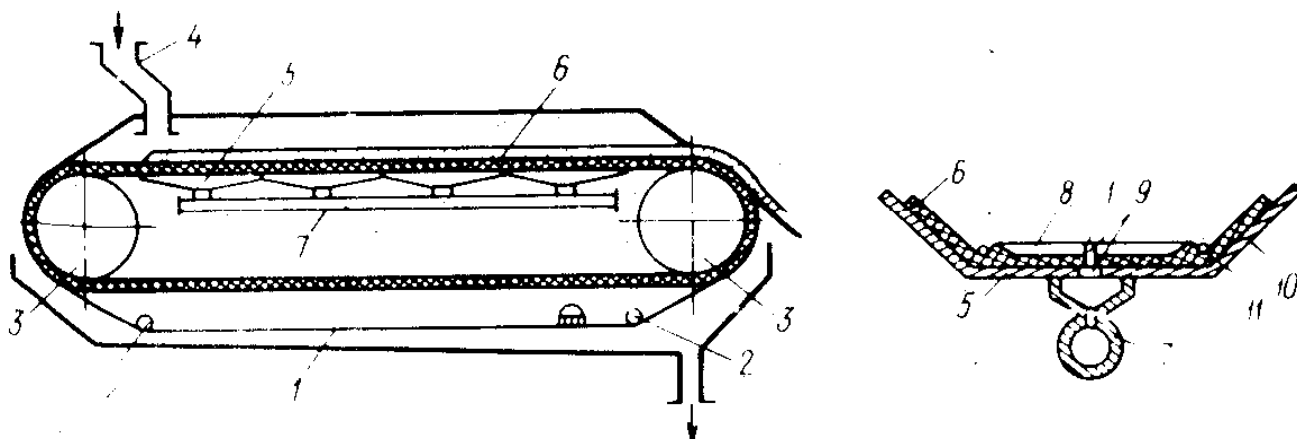


Рис. 1.30. Стрічковий вакуум-фільтр

- 1 - фільтрувальна тканина; 2 - напрямні для фільтрувальної тканини; 3 - барабани;
 4 - лоток подачі осаду; 5 - фільтрувальний стіл; 6 - прогумована стрічка;
 7 - збірний колектор; 8 - поперечна ринва; 9 - поздовжній проріз;
 10 - напрямні для стрічки; 11 - гумовий шнур

Перевагою стрічкового вакуум-фільтра є те, що напрямком руху потоку при фільтруванні збігається з напрямком дії сили ваги. При фільтруванні суспензії що швидко осаджується, спочатку осаджуються грубі частинки, і створюється шар з великими кристалами, через який іде подальше фільтрування. Це створює оптимальні умови для процесу й підвищує його швидкість. До недоліків стрічкових вакуум-фільтрів варто віднести їх порівняно великі габарити.

Іншим розповсюдженим устаткуванням для зневоднювання осадів є **фільтр-прес**. Для цих цілей найбільше широко застосовують рамні й камерні фільтр-преси, апарати типу ФПАКМ і стрічкові фільтр-преси. Із всіх відомих механічних зневоднювальних пристроїв фільтр-преси дають осад з найнижчою вологістю. Продуктивність їх трохи нижче, ніж у вакуум-фільтрів при однакових умовах кондиціонування.

Рамні й камерні фільтр-преси є найбільш старими й широко відомими апаратами періодичної дії, які, завдяки введенню систем автоматизації, удосконаленню конструкції, застосуванню нових фільтрувальних тканин і конструкційних матеріалів, збільшенню площі поверхні й фільтрації (у деяких варіантах до 1000м²), отримали в цей час широке поширення для зневоднювання осадів міських і промислових стічних вод.

Звичайний фільтр-прес із вертикальними рамами складається із плит, що чергуються, і рам однакових розмірів, що опираються бічними ручками на дві

паралельні напрямні. Між дотичними поверхнями плит і рам є фільтрувальні перегородки які виконані з тканини.

Рами й плити можуть виконуватися із пластмаси, поліпропілену, полівініліденфторида або металу: сірого чавуну, сталі, легованої сталі або алюмінієвого сплаву. Ущільнення рам і плит здійснюється кромками фільтрувальних перегородок. Рами й плити в процесі фільтрації зрушуються в одне ціле за допомогою запірної плити до нерухомої плити. По закінченні фільтрації рами автоматично розсовуються, кек падає вниз і транспортується від фільтра.

Фільтр-прес ФПАКМ (Рис. 1.31) складається з горизонтально розташованих фільтруючих плит 1, які пересуваються нагору й униз уздовж плоских стяжок 2. При опусканні плит між ними утвориться зазор в 45мм. Пересування й стиск фільтруючих плит здійснюють натискною плитою 13 й електромеханічним затискачем 12. Закриття й розкриття фільтр-преса займає 50-70 с.

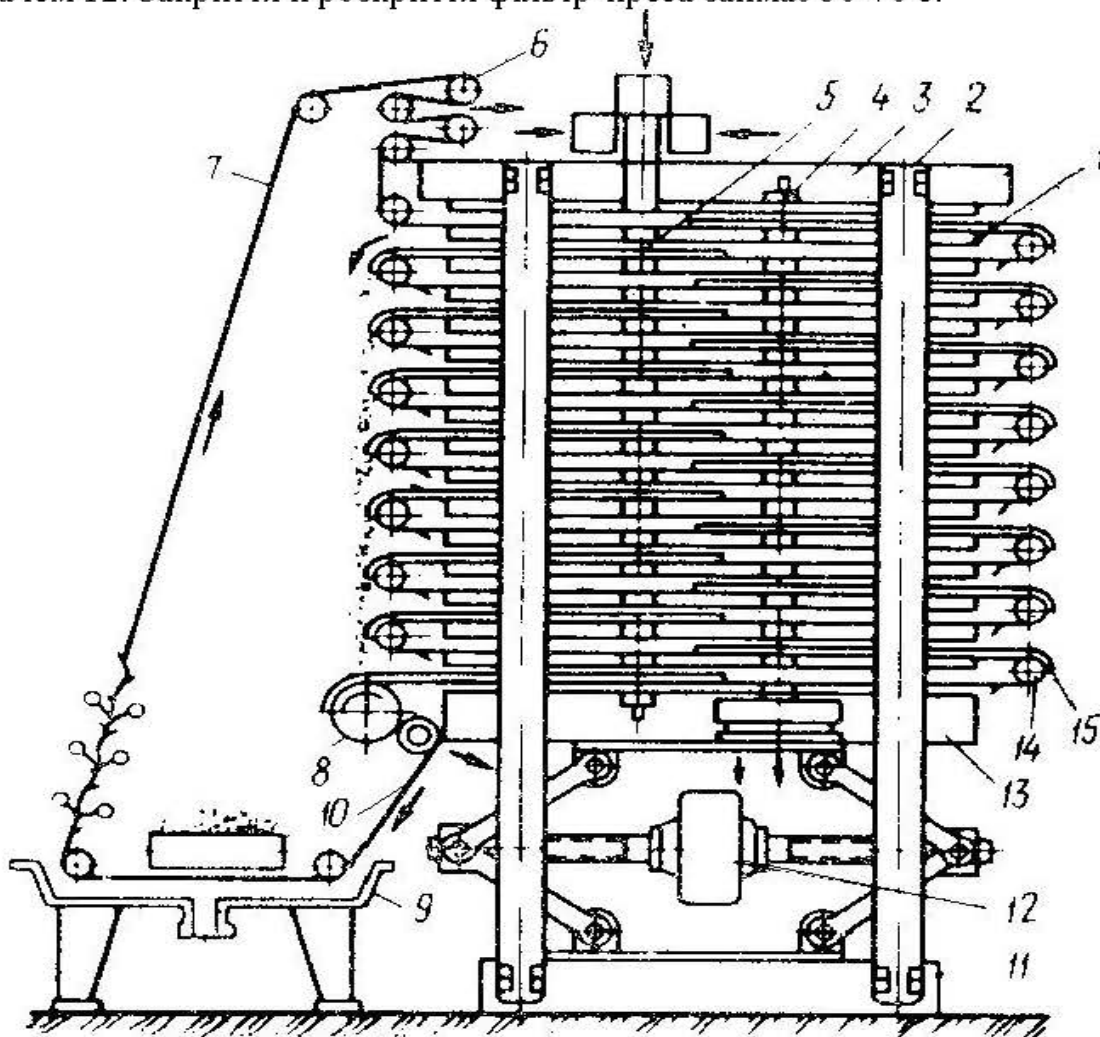


Рис. 1.31. Схема фільтр-преса

- 1 - фільтруючі плити; 2 - стяжка; 3 - верхня упорна плита; 4 - колектор відводу;
 5 - колектор подачі; 6 - натяжний пристрій; 7 - фільтрувальна тканина;
 8 - привод тканини; 9 - камера регенерації; 10 - тічка; 11 - нижня опорна плита;
 12 - електромеханічний затискач; 13 - натискна плита; 14 - ролики; 15 - ніж для знімання осаду

Фільтрувальна тканина у вигляді нескінченної стрічки зигзаговидно протягнута

між фільтруючими плитами й приводиться в рух приводом 8, установленим біля нагисної плити 13. У нижній частині фільтра тканина проходить через камеру регенерації 9. Відвід фільтра здійснюється через колектор 4.

По закінченні всіх технологічних операцій плити опускаються, створюється зазор для виходу осаду, що і виноситься з міжплитного простору при пересуванні тканини. Осад знімається із двох сторін фільтр-преса ножами 15 у тічку 10. Під час вивантаження осаду автоматично включається подача води в камеру регенерації 9, де тканина промивається й очищається шкребками або щітками.

Вібраційні фільтри застосовують для зневоднювання промислових суспензій. Вони відрізняються простотою конструкції, малою енергоємністю й не вимагають допоміжного устаткування. Основна перевага цих фільтрів полягає в можливості зневоднювання деяких категорій осадів без кондиціонування. Поздовжні, поперечні або комбіновані коливання фільтруючої перегородки інтенсифікують процес видалення рідини із суспензії.

До недоліків вібраційних фільтрів відносять порівняно високу вологість збезводнених осадів і значні втрати твердої фази з фільтратом. Зараз вібраційні фільтри застосовують в основному в хімічній, харчовій і збагачувальній промисловості. Досвід їхнього застосування в практиці обробки осадів стічних вод поки невеликий.

Вібраційні фільтри діляться на напірні й безнапірні. Напірні застосовують для очищення рідин від механічних домішок і згущення суспензій. Використання напірних вібраційних фільтрів у практиці згущення осадів стічних вод обмежено.

1.2.6.3. Скрубери

Скрубери – мокрі пиловловлювачі з корпусом у вигляді вертикальної колони, порожні або з насадкою. Через скрубери проходить запылений потік, і в апарат вводиться рідина.

У порожньому скрубери (Рис. 1.32) швидкість пилогазового потоку звичайно знаходиться в межах 0,8-1,2 м/с, так як більша швидкість може викликати винесення крапель. У результаті контакту пилових часток з падаючими краплями пил осаджується на краплях.

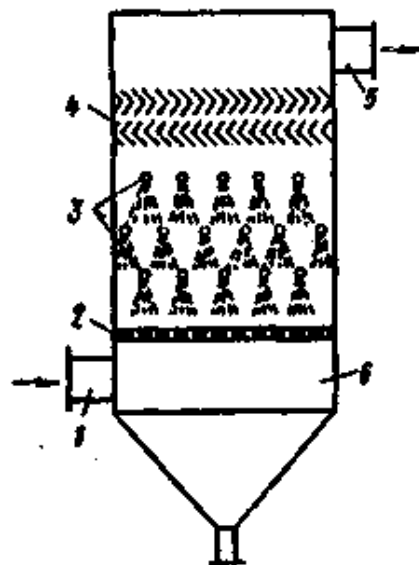


Рис. 1.32. Схема порожнього скрубера:

- 1 - вхідний патрубок, 2 - газорозподільні ґрати, 3 - форсунки,
4 - краплевлловлювач, 5 - вихідний патрубок, 6 - бункер

Для розпилення води застосовують форсунки різних типів, наприклад, евольвентні (Рис. 1.33), типу ВТИ. Діаметр зони зрошення однієї форсунки приймають у межах 500мм. Із цих умов визначають число форсунок, які потрібно установлювати в скрубєрі.

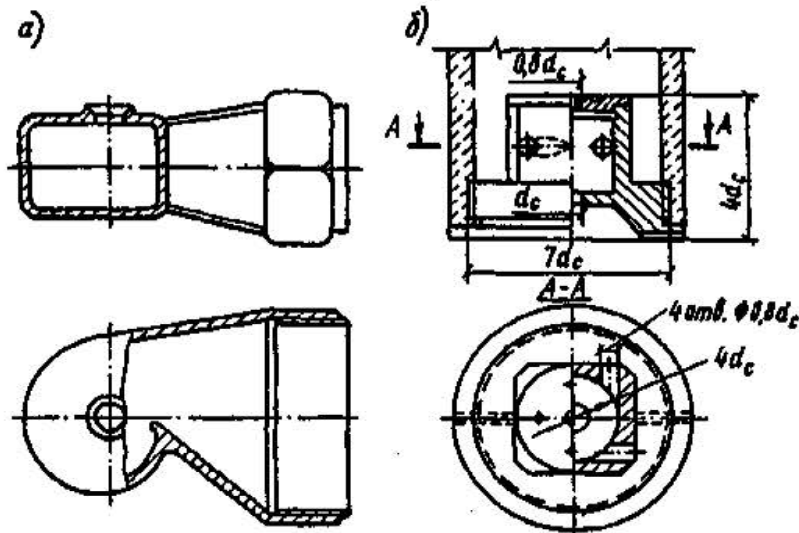


Рис. 1.33. Схема форсунок:
а - евольвентна форсунка; б - форсунка типу ВТИ

Ефективність очищення в скрубєрі залежить від дисперсності пилу, розміру крапель, швидкості їхнього падіння, витрати рідини, швидкості пилогазового потоку. У порожньому скрубєрі питома витрата рідини знаходиться в межах 2-2,5 л/м³, гідравлічний опір 220- 250 Па.

Порожні скрубєри використовують для очищення газів у металургійному, ливарному виробництві, наприклад, для очищення газів з вагранок.

У тих випадках, коли очищення газу супроводжується його охолодженням, пил розчиняється у воді, застосовують насадочні скрубєри (Рис. 1.34,а).

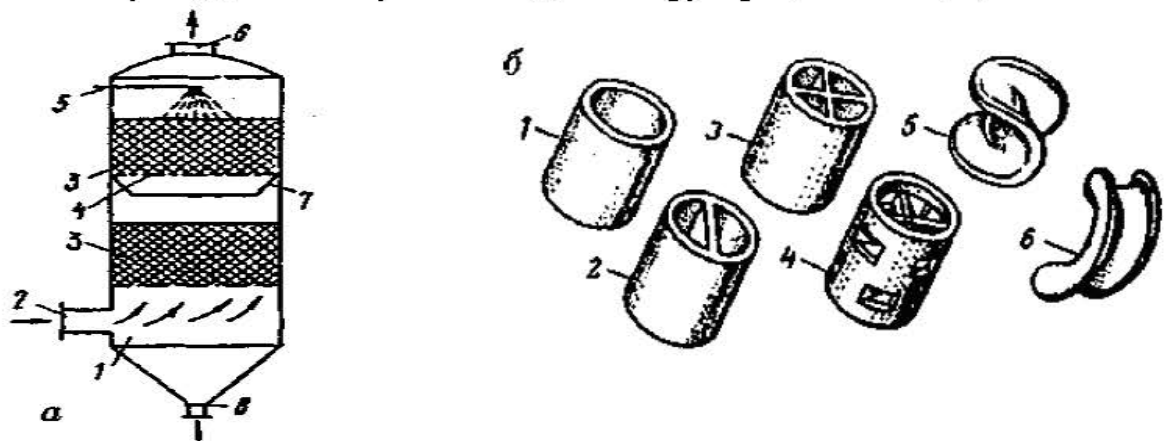


Рис. 1.34. Схема насадочного скрубєра:

- а - насадочний скрубєр: 1 - корпус скрубєра; 2 - вхідний патрубок; 3 - насадка; 4 - ґрати для насадки; 5 - трубопровід для подачі рідини; 6 - вихідний
- б - типи насадок: 1 - кільця Рашиґа; 2 - кільця з перегородкою; 3 - кільця із хрестоподібною перегородкою; 4 - кільця Палля;

патрубок; 7 - напрямний конус для рідини; 8 - штуцер для виводу шламу

5 - сідла Инталокс.

Насадочні скрубери відрізняються від пустотілих тим, що усередині його корпусу знаходиться насадка з різних матеріалів (коксу, кварцу), керамічних або порцелянових кілець різних розмірів (Рис. 1.34,б.), дерев'яних рейок інших. Завдяки наявності насадки збільшується поверхня контакту газу, що очищається, з рідиною. Скрубер з насадкою може бути віднесений до апаратів плівкового типу, оскільки очищення здійснюється в основному при контакті запиленого потоку із плівкою на поверхні насадки.

У скруберах з насадкою вловлюється близько 70% часток розміром 2-5мкм, та 90 % з розміром більше 5мкм.

Зараз також застосовують скрубери з насадкою з порожніх куль із поліетилену, полістиролу, скла. Кулі під дією газового потоку постійно коливаються. Виникаюча пульсація швидкостей газового потоку, зміна відстані між частками приводить до інтенсивного осадження часток пилу; у скрубери такого типу ефективність уловлювання досягає 99% для часток більше 2 мкм (Рис. 1.35).

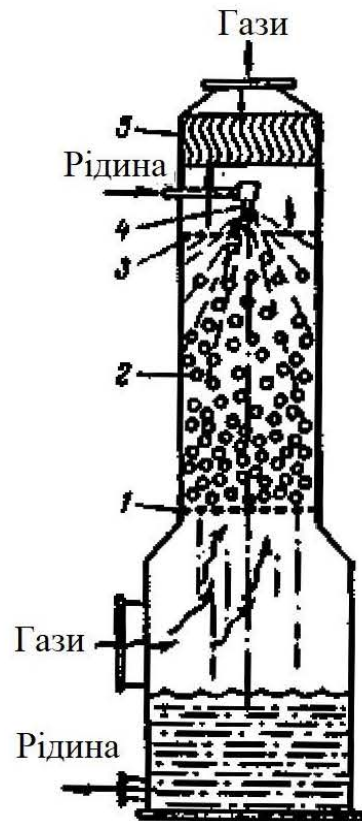


Рис. 1.35 Схема скрубера з насадкою з порожніх куль:
1 - опорна тарілка; 2 - кульова насадка; 3 - відбивна тарілка; 4 - зрошувач;
5 – уловлювач бриз.

Недолік скруберів є забивання насадки погано розчинним пилом.

Більше надійні в експлуатації відцентрові скрубери й близькі їм по конструкції циклони з водяною плівкою ЦВП.

Промивні вежі відомих конструкцій можуть заповнюватися кільцями Рашига, Лессинга, скловолокном або іншими матеріалами насадки. Більш сучасний й

удосконалений тип подібного пристрою являє собою установка із плаваючою насадкою, у якій зрошуваний шар, пересічний газовим потоком знизу нагору, складається з декількох рядів пластмасових кульок. Ця насадка знаходиться в постійному русі під дією стікаючих потоків води й газу, що піднімається, що сприяє збільшенню контакту порошин з водяною плівкою, а також виносу змоченого пилу в бункер, з якого вона відліяється у вигляді шламу Рис. 1.36).

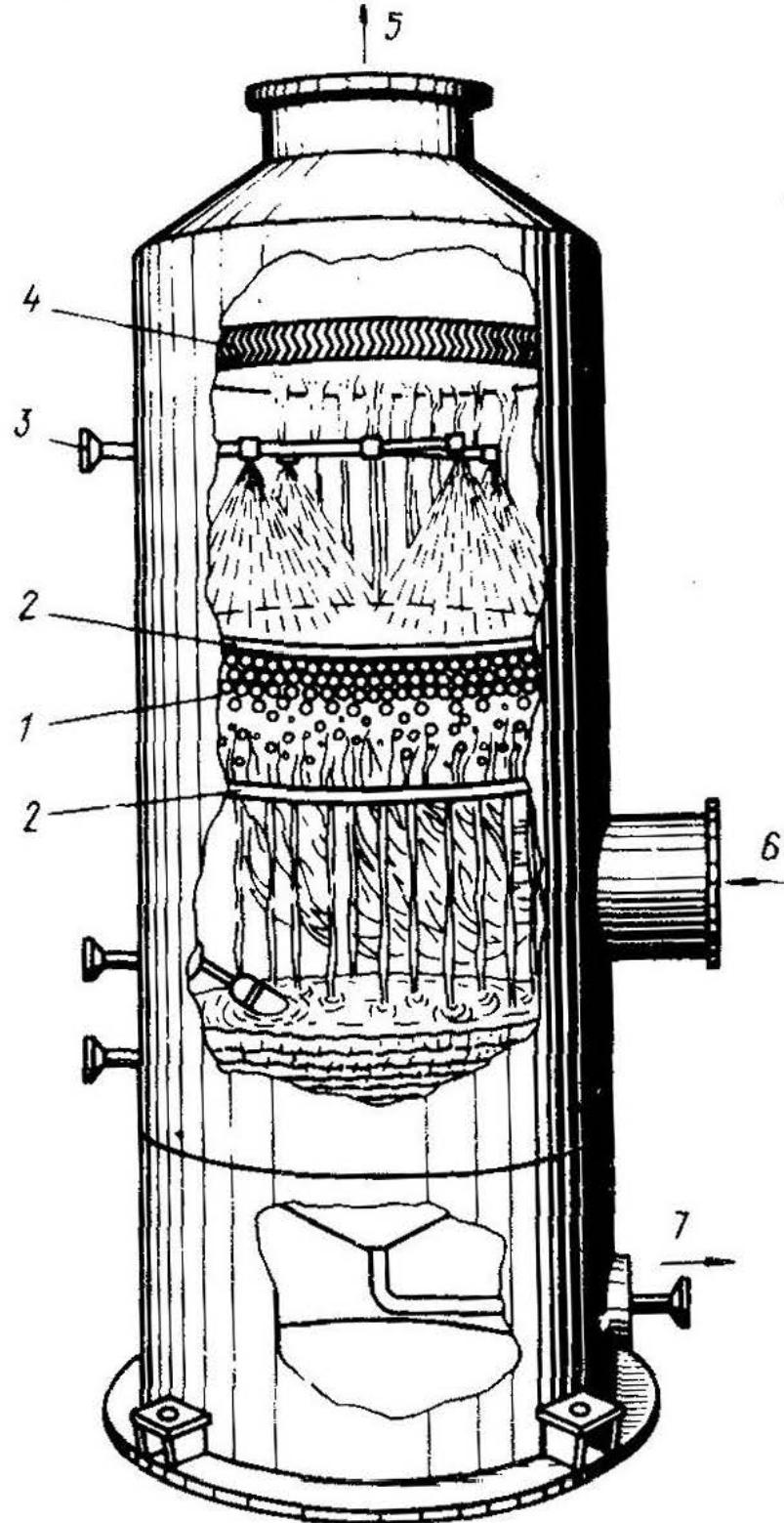


Рис. 1.36. Скрубер із плаваючою насадкою
 1 - пластмасові кульки; 2 - перегородка; 3 - штуцер для подачі води;

4 - бризковідбивач; 5 - вихід очищеного газу; 6 - вхід запиленого газу;
7 - відвід шламу

У ряді пиловловлювачів інших конструкцій розпилення води є єдиним засобом захоплення часток або їхнього укрупнення з метою ефективного вловлювання в наступному етапі, на якому можуть бути використані циклон або осадова камера. Вода розпорошується механічним шляхом за допомогою стисненого повітря або зрошувачів різних конструкцій. В безпилюючих установках типу Вентурі запилений газ очищається розпиленою водою, що нагнітається у вузьку частину труби Вентурі. Високі швидкості газу в цій частині труби сприяють тонкому здрібнюванню води, дрібні краплини якої рухаються зі швидкостями, дуже близькими до швидкості пилових часточок. Це забезпечує високий ефект захоплення й змочування часточок пилу. У барботажних і пінних пиловловлювачах відбувається інтенсивна віддача тепла від газів до рідини. Звичайно досить шару рідини висотою близько 10см, щоб газ остудився майже до її температури. Тому барботери й пінні апарати використовують не тільки для вловлювання пилу, але й для охолодження газів.

У комбінованих пиловловлювачах пил вловлюється за допомогою зрошення поверхні, розпилення води, інерції, центрифугування та інших процесів.

У конденсаційних пиловловлювачах при швидкому зниженні тиску газу, насиченого водою і маючи тонкі частинки летючого пилу, частина водяної пари конденсується на них, так як вони є ядрами конденсації. Ці частинки можуть бути легко відділені від газу одним з найпростіших апаратів, наприклад, циклоном.

У пиловловлювачах з пористим шаром і фільтри з тканини газовий потік проходить через пористий шар різної щільності й товщини, у якому затримується основна частина пилу. Пористий шар або насадка фільтрів може складатися з ряду послідовно розташованих елементів спеціального профілю, бути виконаної з матеріалів мінерального походження (коксу, піску, гравію) або ж з кілець Рашига й інших елементів, виготовлених з металу або пластмас. Пористий шар може мати також і волокнисту будову та виготовлятися з паперу, натуральної й синтетичної повсті або тканин різної щільності. У промислові пиловловлювачах часто застосовуються фільтри з тканини або рукавні фільтри. Установки звичайно мають форму обтягнутого тканиною барабана, матер'яних мішків або кишень, що працюють паралельно. Ці пиловловлювачі мають високу ефективність, особливо якщо пористий шар досить щільний і товстий.

Звичайними методами регенерації тканини рукавних фільтрів є механічне струшування з одночасною зворотною продувкою. Швидкості фільтрації для тканин з вовни й синтетичних волокон становлять $0,24-0,35 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$ для мішечних фільтрів з рукавами великого розміру й $0,7-1$ в окремих рукавах фільтрів.

Скрубери Вентурі. Найпростішими апаратами для мокрої очистки і охолодження газів є порожнисті скрубери прямокутного або круглого перетину [18]. Запилений газ рухається через скрубери знизу вгору і зрошується водою, яка розбризкується форсунками. Скрубер заповнюється хордовою або кільцевою насадкою, кусковим коксом або кварцем. Ступінь очищення газів у порожнистих скруберах досягає 60—75%, а з насадкою — 75—85%.

Для інтенсифікації процесу мокрої очистки здійснюють у полі відцентрових сил у циклонах, стінки яких безперервно змочуються збігаючою плівкою води, або у відцентрових скруберах.

У відцентрових скруберах запилений газ надходить у циліндричний корпус, стінки якого зрошуються водою, що тонкою плівкою збігає по його внутрішній поверхні. Часточки пилу під дією відцентрової сили відкидаються до стінок скрубера, змочуються і виносяться разом з водою. Ступінь очищення у відцентрових скруберах досягає більш як 95%. Ці пилевловлювачі мають просту будову і низький гідравлічний опір.

У скруберах Вентурі вловлюються до 99% забруднень у вигляді високодисперсних часточок, наприклад продуктів сублимації або туману M_2SO_4 . Скрубери Вентурі (Рис. 1.37) — це струминні турбулентні газопромивачі. Запилений газ через конфузор 1 труби Вентурі потрапляє в горловину 2, де його швидкість досягає 60—150 м/с. Через отвір 3 під тиском у горловину подається вода. Стикаючись з газовим потоком, вона розпилюється на найдрібніші краплинки, які поглинають частинки пилу і внаслідок цього укрупнюються. Ці краплини, проходячи через дифузор 4, де швидкість набагато зменшується, потрапляють у циклонний сепаратор 5. У циклоні під дією відцентрової сили вони відділяються від газу і разом із шламом видаляються у відстійник 6, де вода відстоюється від шламу і знову подається насосом 7 у скрубер.

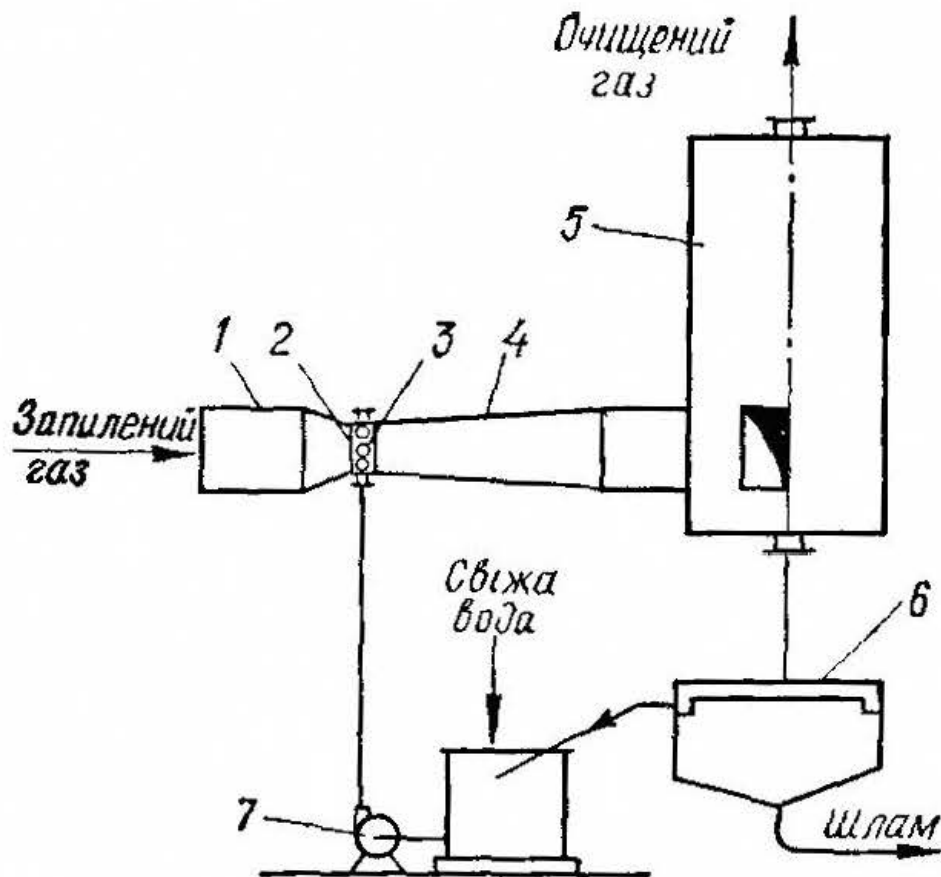


Рис. 1.37. Схема скрубера Вентурі.

1 — конфузор; 2 — горловина; 3 — отвір; 4 — дифузор; 5 — сепаратор;
6 — відстійник; 7 — насос

Для промивання гравію й щебенів використовують барабанні грохоти, що сполучають дві технологічні операції в одному агрегаті, а також спеціальні барабани для промивання гравію. Гравіємиючий барабан виготовляють із листової сталі. Двома бандажами-кільцями барабан опирається на чотири ролики, два з яких обертаються від електродвигуна через редуктор і приводять його в обертання. Усередині барабан футерований бронеплитами й має похило розташовані лопаті, які підхоплюють завантажений по лотку матеріал, піднімають його й, пересипаючи, просувають до розвантажувального конусного патрубка. Воду для промивання подають усередину барабана по трубопроводу.

Флотаційний метод збагачення заснований на ефекті різного змочування порід рідинами. Якщо основна порода (пісок) добре змочується, а шкідливі домішки (глина, органічні частинки) змочуються погано або, навпаки, частинки корисного матеріалу змочуються гірше часток домішок, їх можна розділити флотаційним методом. Для цього попередньо здрібнений матеріал подають у камеру у вигляді пульпи й інтенсивно перемішують при одночасному засмоктуванні в рідину повітря. При цьому до часток, що змочують погано, пристають пухирці повітря, частинки спливають на поверхню пульпи, створюючи мінералізовану піну, а частинки, що змочують добре, залишаються в рідині й разом з нею надходять у наступні камери, де цикл повторюється, а потім надходять в осадочний пристрій. Для кращого відділення домішок до рідини додають різні реагенти - піностворювачі, знижувачі твердості, а в зимовий час воду підігрівають.

Вибір машин для сортування й очищення матеріалів роблять із урахуванням необхідної продуктивності, гранулометричного складу суміші, фізичних властивостей компонентів і заданих границь розділення фракції. До завантаження матеріалу в дробарку необхідно видалити шматки, що перевищують розміри вхідного отвору дробарки та такі які менші ніж кінцевий продукт дроблення. При необхідності отримання декількох фракцій доцільно застосовувати грохоти з певною кількістю поверхонь, що просівають, з огляду на, що багаторазове просівання за схемою від великого до дрібного тим ефективніше, чим крупніше матеріал і менший процентний вміст дрібних сортів. Дрібздрібновані матеріали рекомендується сортувати на ситах шляхом проціджування.

При роботі в замкнутому циклі млинів мокрого помелу для сортування варто застосовувати класифікатори, а при сухому помелі – сепаратори, з огляду на, що прохідні сепаратори простіші, а замкнуті забезпечують більше високий ККД і не вимагають додаткових пристроїв для осадження дрібної фракції.

При виборі електромагнітних сепараторів важливе значення крім необхідної продуктивності має величина фракцій матеріалу. Для великокускового застосовують сепаратор – приводний барабан, для сипких - барабанний з віброживильником, для рідких мас – сепаратори-фільтри. Для збагачення великих кількостей матеріалів з різним змочуванням часток ефективний флотаційний метод.

Камерний класифікатор (Рис. 1.38) застосовують для збагачення піску, використовуюваного як дрібний заповнювач при виробництві бетонних і

залізобетонних виробів. Класифікатор являє собою подовжену ринву, що розширюється 4, розділений вертикальними перегородками на шість камер що збільшуються в об'ємі. У кожній камері є зливний отвір, прикритий конічним клапаном, керованим електромагнітним пристроєм 6. Особливістю пристрою є його автоматична робота, що забезпечує розвантаження порцій пульпи постійної щільності. Верхня й нижня межі щільності визначають по положенню двох датчиків, розміщених у гідростатичній трубці 5 і керованих електромагнітним клапаном. Пульпа подається по лотку 3, установленому на опорних стійках 1. У камери знизу подається вода по трубопроводах 2. Висхідний потік у кожній камері не перешкоджає осадженню часток, швидкість осадження яких більше швидкості потоку, а більш легкі частинки потрапляють в наступні камери. Злив надходить у ринву 7 і відводиться через отвір 8, а фракціонований пісок по рукавах 9 направляється в пристрій, що шихтує.

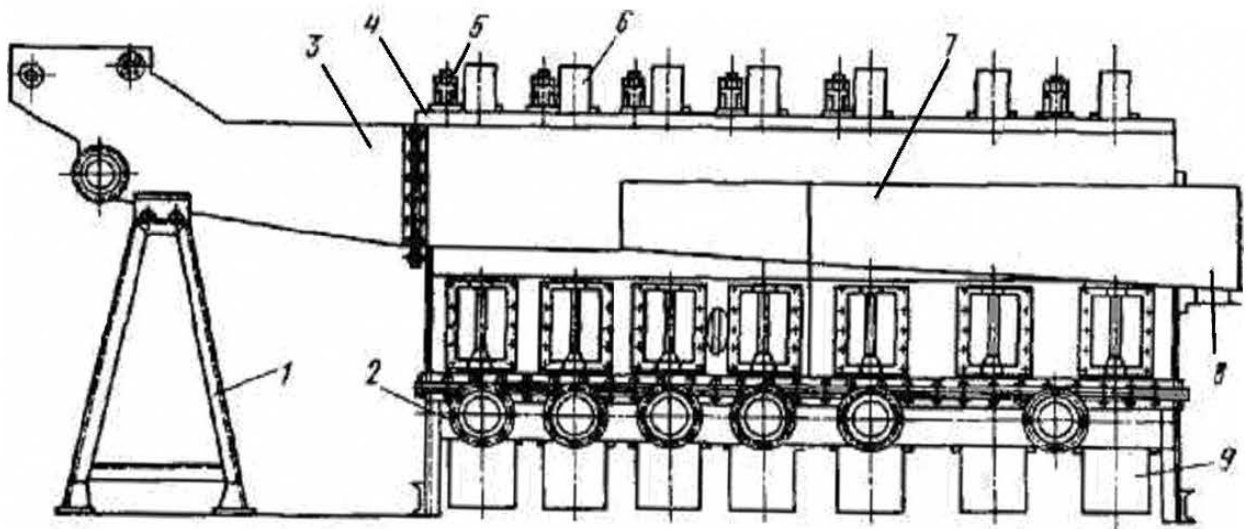


Рис. 1.38. Камерний класифікатор.

1 – стійках; 2 – трубопровод; 3 – лоток; 4,7 – ринва; 5 – трубка;
6 – електромагнітний пристрій; 8 – отвір; 9 – рукав

Для промивання й сортування піску застосовують також конусні класифікатори з періодичним і безперервним розвантаженням, рейкові й спіральні класифікатори безперервної дії.

Спіральний класифікатор (Рис. 1.39) широко застосовують для промивання й класифікації піску, інших нерудних матеріалів, а також різних руд у чорній і кольоровій металургії. Класифікатор має корито 1, нахилене під кутом $12...18^\circ$, із установленим у ньому валом, що обертається від привода 4. До вала на спицях прикріплена стрічкова двозахідна спіраль 5, що при повільному обертанні ($4...6 \text{ хв}^{-1}$) переміщає осілі частинки нагору по днищу до розвантажувального лотка 2, тоді як дрібні частинки піднімаються разом з водою через кромку торцевої стінки нижньої частини корита. Спіраль разом з валом, повертаючись навколо осі 3, може встановлюватися за допомогою піднімального механізму 6 у різних положеннях, чим регулюється тонкість зливу й це запобігає замулюванню спіралей при тривалих зупинках.

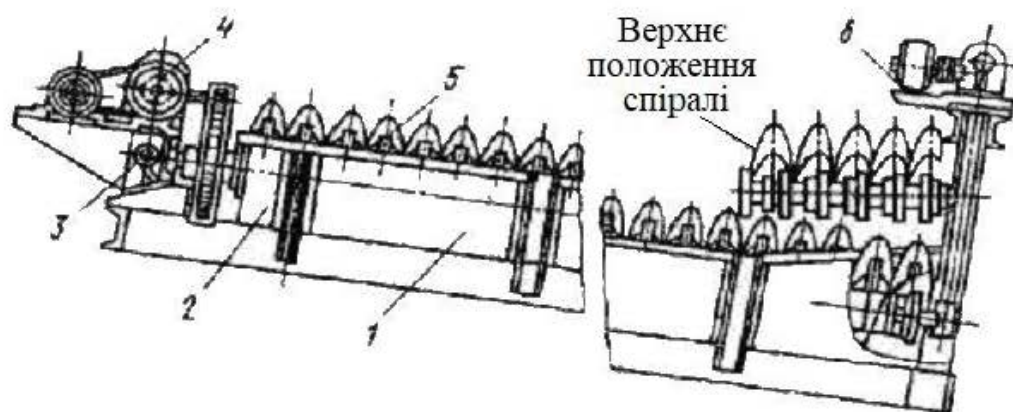


Рис. 1.39. Спіральний класифікатор

1 – корито; 2 – лоток; 3 – вісь; 4 – привод; 5 – спіраль; 6 – піднімальний механізм

Класифікатори зі спіралями діаметром від 300 до 1000 мм мають добову продуктивність від 6 до 190 т по зливу й від 25 до 465 т по пісках. Продуктивність двохвальних класифікаторів досягає за добу по зливу 1100 т, по пісках 18500 т.

Коритна лопатна мийка (Рис. 1.40) служить для промивання сильно забрудненого гравію, вапняку, руд й інших матеріалів, що вимагають інтенсивної механічної домішки від основного матеріалу. Гравіємийка складається з похилого металевого корита 1 із двома паралельними валами 6, що обертаються назустріч один одному від привода.

Привод складається з електродвигуна 7, клиноремінної передачі 8, редуктора 9 і пари циліндричних зубчастих коліс. На валах закріплені лопатки 4, площини яких збігаються з уявлюваною гвинтовою поверхнею, завдяки чому лопатки не тільки перемішують матеріал, але й просувають велику фракцію нагору по похилому кориту до розвантажувальних вікон, тоді як дрібні частинки разом з водою зливаються через знижені кромки бортів 3 і видаляються.

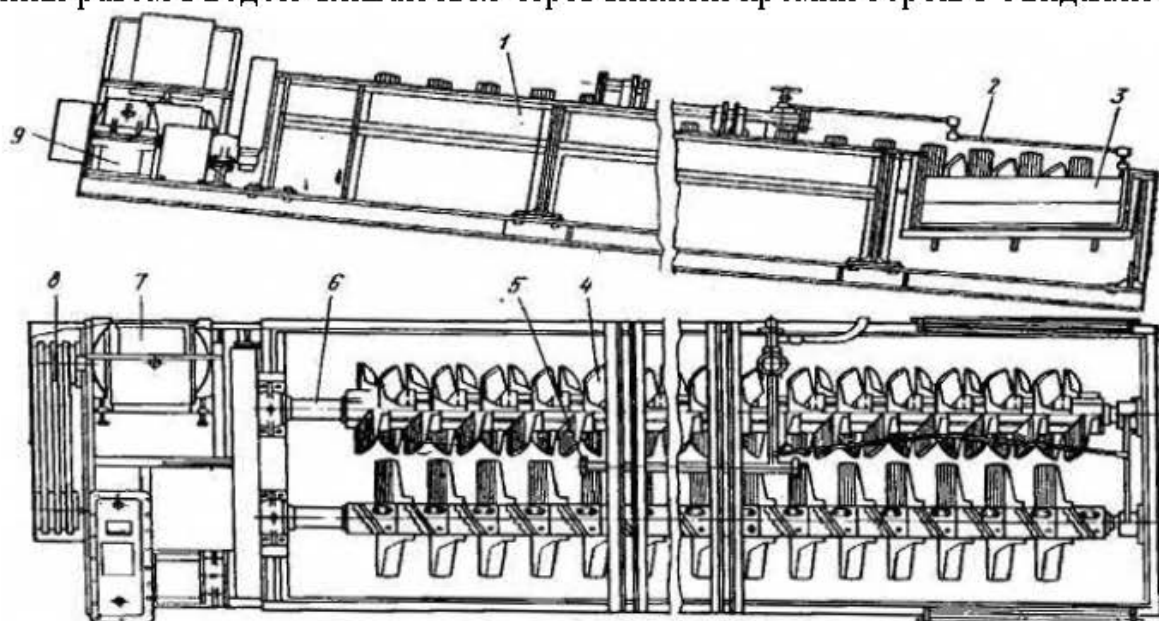


Рис. 1.40. Коритна лопатна мийка

1 – корито; 2,5 – труби; 3 – борти; 4 – лопатки; 6 – вали; 7 – електродвигун;
8 – клинопасова передача; 9 – редуктор

Воду подають по трубах 2 й 5. При промиванні матеріалу крупністю до 100мм, довжині корита 7000мм, діаметрі лопаток 1200мм, куті нахилу корита 10° продуктивність мийки досягає 125т/г.

Пилоловлювач ударно-інерційної дії типу Ротоклон N показаний на Рис. 1.41. Запилений потік надходить у прийомну камеру й потім проходить через імпеллер. Нижня частина корпусу заповнена водою, рівень якої підтримується автоматично. Повітря, проходячи імпеллер зі швидкістю 15-16м/с, відповідно до його конфігурації та змінює напрямок руху. Частина води захоплюється повітрям (газом), створює суцільний водо-повітряний (газовий) потік. Частинки пилу затримуються, випадають на дно у вигляді шламу й періодично видаляються. Ротоклон допускає коливання витрати повітря (газу) у межах $\pm 15\%$. Витрата води невелика, вона не перевищує $0,03\text{л}/\text{м}^3$. Гідравлічний опір апарата становить 1000-1500Па.

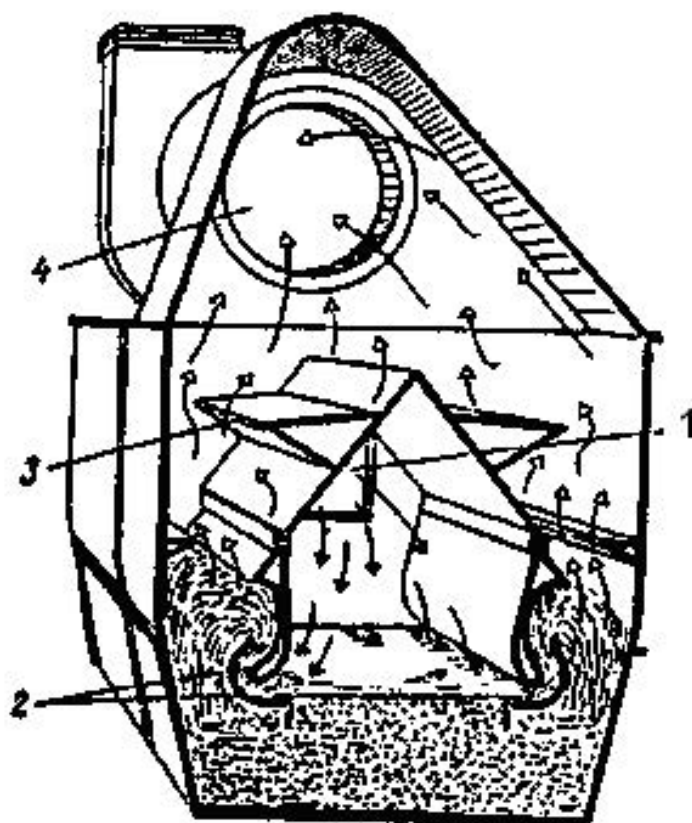


Рис. 1.41. Ротоклон типу N

- 1 - пристрій для підведення газів; 2 - напрямні лопатки; 3 - краплезбірник;
4 - пристрій для відводу газів;

Ротоклоны типу N застосовуються в хімічному виробництві для очищення повітря, в установках для сушіння піску й глини, очищення від механічних домішок, а також для очищення викидів при виробництві азбесту, випалі вапняку. Ефективність очищення в межах 89,0-99,4%.

Мокрий пиловловлювач РИСИ. Апарат призначений для тонкого очищення повітря, що надходить від аспіраційних або технологічних систем. Він може бути встановлений на другому етапі очищення після пиловловлювача, що

забезпечує грубе або середнє очищення (Рис. 1.42). Після ефективного двоступінчастого очищення повітря може бути направлене на рециркуляцію.

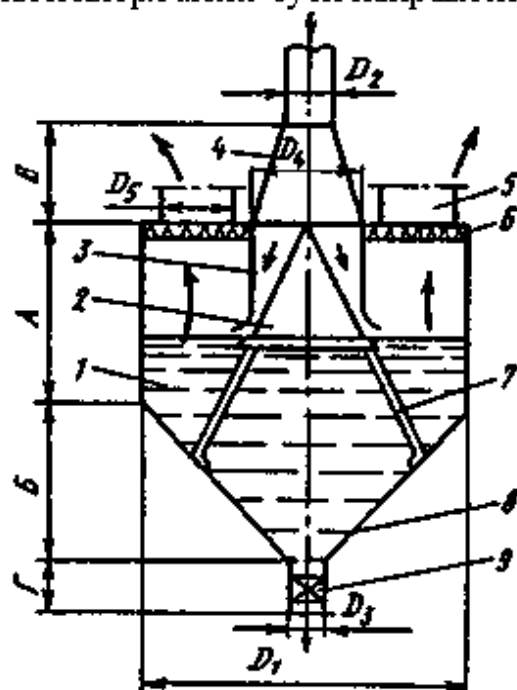


Рис. 1.42. Мокрий пиловловлювач РИСИ:

- 1 - циліндрична камера; 2 - конус-розсікатель; 3 - відбивач; 4 - дифузор;
- 5 - патрубок для відводу повітря; 6 - краплезбірник; 7 - лапки для кріплення;
- 8 - бункер конічної форми; 9 - патрубок для стоку шламу

Пиловловлювач складається із циліндричної камери з конічним бункером у її нижній частині якого відбувається осадження шламу. Усередині камери розташовані конус-розсікатель циліндричний відбивач, що мають на кінцях плавні переходи до поверхні води. Цим забезпечується плавне зіткнення запиленого потоку з водною поверхнею під певним кутом. У верхній частині апарата встановлені збірники крапель і патрубки для виходу очищеного повітря. Для видалення шламу служить патрубок.

При зіткненні запиленого потоку з водною поверхнею частинки пилу, що перебувають у потоці, змочуються водою й осідають на дно бункера. Повітря без пилу відводиться назовні.

При застосуванні мокрого пиловловлювача на другому етапі його встановлюють за вентилятором, тобто на нагнітальній лінії вентилятора. Ступінь очищення повітря в мокрому пиловловлювачі становить 99,9%, гідравлічний опір - 400 Па.

Витрата води в апараті незначний - кілька літрів у годину, тому що вода витрачається лише на випар з поверхні й віднесення вологи з повітрям. Шлам відводиться один раз у кілька місяців. Апарат простий у виготовленні, основний матеріал - листовая сталь товщиною не менш 2мм. Розроблено апарати на продуктивність 600-10000 м³/г.

Пінно-краплинний пиловловлювач РИСИ. Апарат призначений для вловлювання дрібно- і середньодисперсних вибухонебезпечних пилів, а також пилів, що утворюють суспензії, які можуть бути використані в технологічному процесі.

Апарат (Рис. 1.43) складається з корпусу, дюзи, системи краплевідбійника. Корпус апарата заповнений рідиною до певного рівня. Дюза влаштована за принципом труби Вентурі, вона має прорізи в горловині труби. Пилкові частинки затримуються краплинною рідиною й пінним шаром, це відбувається в результаті закручування газопилового потоку й рідини, що надходить через прорізи в горловину труби Вентурі.

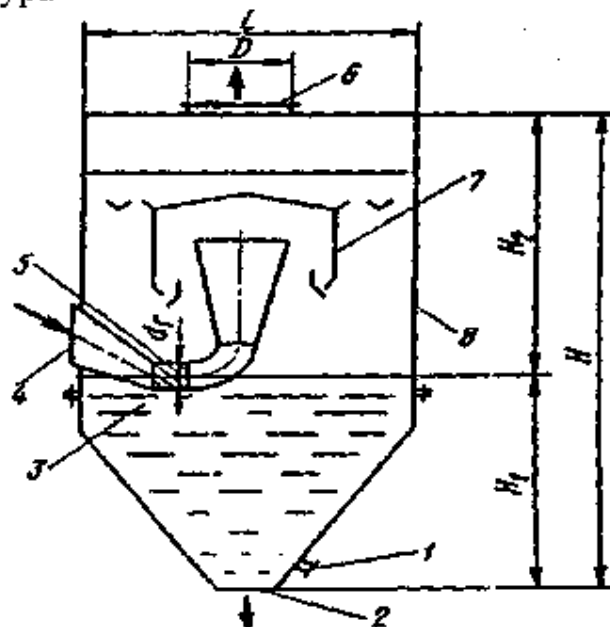


Рис. 1.43. Піно-краплинний пиловловлювач РИСИ:

- 1 - патрубок для перемішування шламу; 2 - отвір для випуску шламу;
- 3 - горловина дюзи; 4 - отвір для впуску запиленого повітря;
- 5 - прорізу в горловині; 6 - отвір для виходу очищеного повітря;
- 7 - система краплевідбійник; 8 - корпус краплезбірник

При початковій концентрації пилу в очисному повітрі 500мг/м^3 час роботи пиловловлювача без заміни води становить приблизно 100годин. Гідравлічний опір апарата 910-1720Па.

Пінні пиловловлювачі являють собою апарати, корпус яких розділений ґратами з рівномірно розташованими дрібними отворами (Рис. 1.44). Запиленний потік надходить під ґрати, очищений відводиться з верхньої частини корпусу. Вода надходить на ґрати зверху. Залежно від конструкції пиловловлювача вода з поверхні ґрат відводиться через отвори в ґратах і частково через злив, або тільки через отвори. Діаметр отворів у ґратах 3–8мм. Живий перетин $0,15\text{--}0,25\text{м}^2/\text{м}^2$.

В апараті із провальними ґратами (тарілками) (Рис. 1.44,а) при малих швидкостях руху запиленого потоку спостерігається барботажний режим, тобто газ із пиловими частками рухається окремими пухирцями через шар рідини. При досягненні швидкості близько 1м/с на поверхні ґрат утвориться шар водяної піни. Шлам, що утвориться, внаслідок контакту піни з пиловими частками, відводиться з рідиною через отвори ґрат у бункер. Підвищення швидкості понад $2\text{--}2,3\text{м/с}$ небажано, тому що це приводить до порушення нормальної роботи апарата.

У пінному апараті з переливними ґратами (Рис. 1.44,б) є пристрій для

зливу рідини в зливальну коробку. Для підтримки певної товщини її слою передбачений поріг. У даному апараті витрата води у два - три рази нижче, ніж в апараті з провальними ґратами й становить 0,4-0,6л/м³. Шар піни доцільно підтримувати до 100мм. Значне коливання витрати газу порушує роботу апарата.

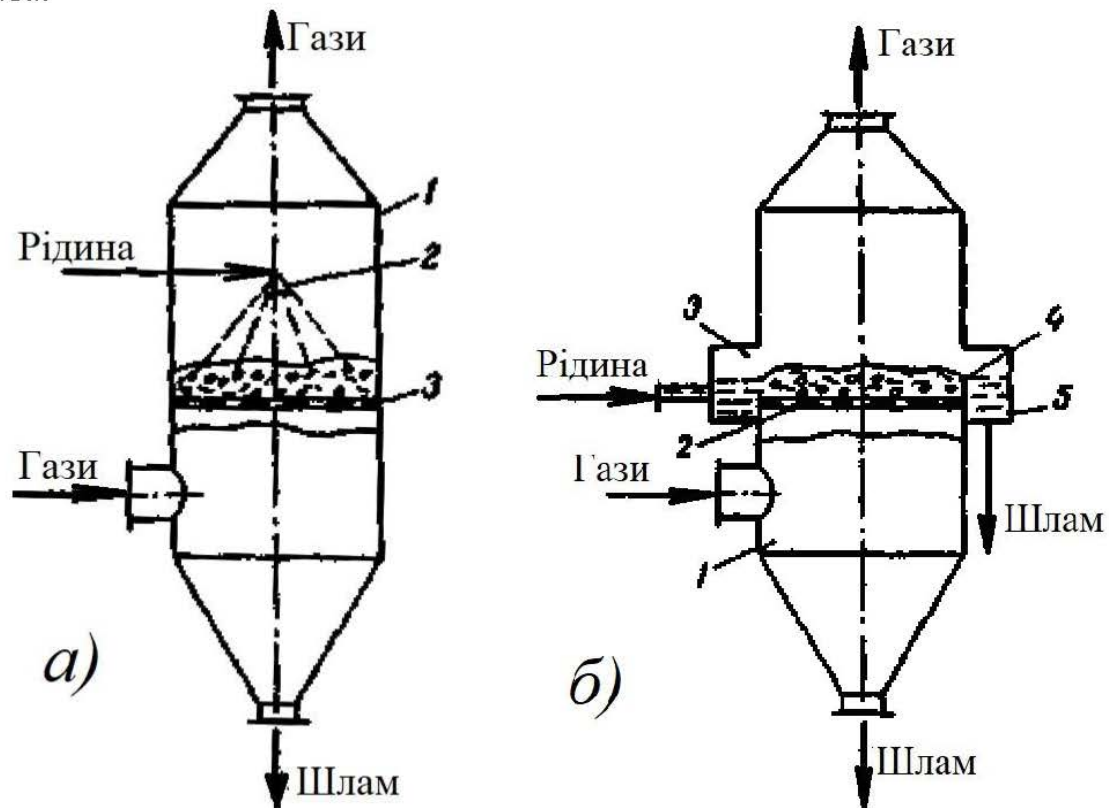


Рис. 1.44. Схеми пінних пиловловлювачів;

а - пінний пиловловлювач із провальною тарілкою:

1 - корпус; 2 – зрошувальний пристрій; 3 - тарілка;

б - пінний пиловловлювач із переливною тарілкою:

1 - корпус; 2 - тарілка; 3 - прийомна коробка; 4 - поріг; 5 - зливальна коробка

У шарі піни відбувається безперервне руйнування, злиття й утворення газових пухирців.

Пінні апарати застосовують для вловлювання пилу, що погано змочується, з концентрацією більше 10 г/м³. Пінні пиловловлювачі ефективно й надійно працюють у виробництвах мінеральних добрив, в хімічній, металообробній промисловості й інших.

Дуговий гідрокласифікатор типу ДГ (Рис. 1.45) широко розповсюджений у цементній виробництві на заводах з мокрим способом виробництва. Він призначений для розділення на фракції недомеленого цементно-сировинного шламу, що виходить із млина, глинобовтанки або іншого здрібнювання.

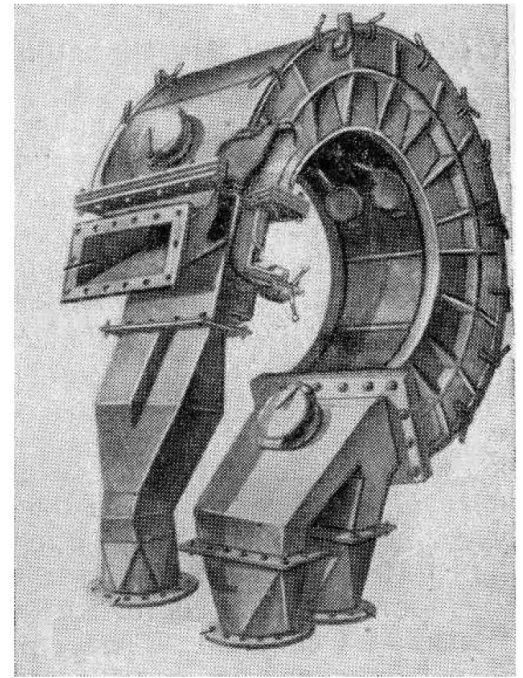
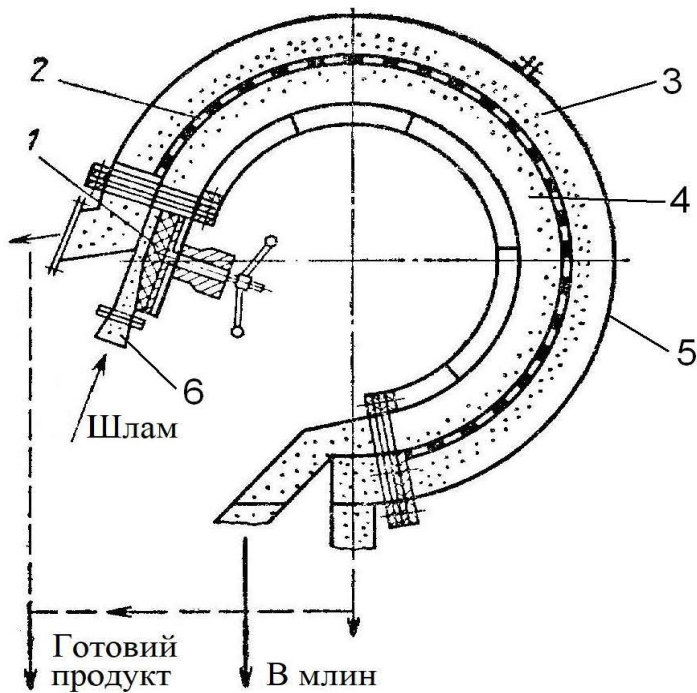


Рис. 1.45 Дуговий гідрокласифікатор типу ДГ

1- клапан; 2 - сито; 3 - верхня частина; 4 - нижня частина; 5 - дуговий короб;
6 - сопло.

Сировинний шлам подається насосом у нижню порожнину дугового короба прямокутного перетину в сопло 6. Тут, через клапан 1 потрапляє в нижню частину класифікатора 4. Верхня порожнина короба відділена від нижньої в прийомній частині глухою листовою перегородкою, а далі - колосниковим ситом. Під впливом відцентрової сили інерції, що притискає шлам до сита, і тиску у верхню частину класифікатора 3 через сито 2 проникають дрібні фракції шламу (разом з деякою частиною води) і як готовий продукт виводяться через патрубки в шламові басейни. Велика фракція по патрубку повертається на у млини. Потік шламу регулюється клапаном. Формування шламового потоку і його подача на робочу поверхню дугового сита здійснюються впускним пристроєм.

Дуговий гідрокласифікатор може працювати на цементно-сировинних шламах з різними фізико-механічними властивостями. Продуктивність млинів при роботі в замкнутому циклі з гідрокласифікаторами збільшується на 30-50%, витрата електроенергії на 1 т готового продукту знижується на 25-35% у порівнянні із млинами, що працюють без нього. Гідрокласифікатор може працювати в замкнутому циклі із сировинним млином й у відкритому циклі із глинобовтанкою або іншою установкою грубого помелу.

Гвинтовий гідрокласифікатор (Рис. 1.46) призначений для виділення з некондиційного (грубо помолотого) шламу, що отриманий в млинах «Гідрофол», певного відсотка робочої, мілкої фракції, що відповідає тонкості помела, вологості, титру й іншим нормам, прийнятим на цементному заводі.

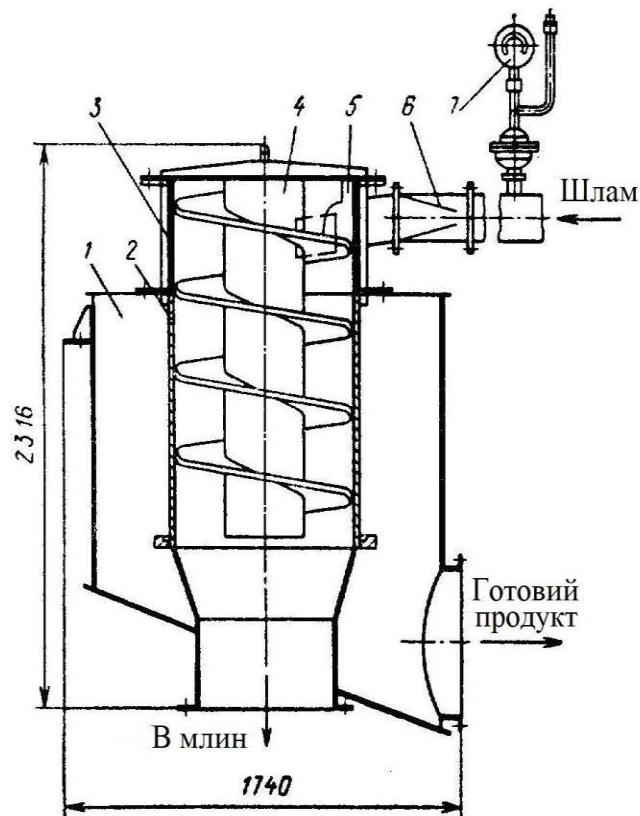


Рис. 1.46 Гвинтовий гідрокласифікатор

1 - корпус; 2 - класифікаційне сито; 3 - приймач шламу; 4 - гвинтова напрямна;
5 - футерівка патрубку; 6 - перехідник шламопривіду; 7- манометр

Зварений корпус класифікатора являє собою циліндр із похилим днищем. В верхній частині до нього кріпиться прийомний патрубок для уведення шламу. До нижньої частини циліндра корпуса приварений патрубок для зливу готового продукту. Прийомний патрубок кріпиться по дотичній та має прямокутний перетин, а всередині футерівку. У корпусі передбачені два люки для промивання класифікуючого сита.

Сито (робочі колосникові ґрати) являє собою циліндр діаметром 800мм, виконаний із колосникової сітки з щілинами при вертикальному розташуванні колосників (поперек руху шламу). Воно складається із двох напівциліндрів, з'єднаних між собою планками й болтами. Сито встановлюється усередину корпуса на фланець так, щоб планки сита потрапили в пази у фланці й притискалися до фланця футерівкою патрубку й кришкою гвинтової напрямної.

Гвинтова направляюча входить усередину сита й виконана з листа сталі товщиною 4мм у вигляді шнека із кроком 350мм на трубі діаметром 351мм.

На шламопроводі, що складається з верхнього й нижнього корпусів, розділених гумовою мембраною встановлений манометр.

Вихідний шлам, що підлягає розділенню подається насосом під тиском 0,05-0,15МПа у прийомний патрубок і далі на внутрішню поверхню сита, між витками гвинтової напрямної, закручуючись навколо огороджувальної стінки.

Завдяки відцентровим зусиллям потік шламу притискається до колосникової поверхні сита й мілка (робоча) фракція через щілини сита проходить у зовнішній

простір і далі в шламовий басейн. Крупно дисперсна фракція проходить усередині сита, що класифікує; униз і через патрубок внизу корпусу направляється самопливом у млин на домелення.

1.2.7. Електричні сепаратори

Електрофільтри. В електрофільтрах частинки пилу осаджуються під дією електричного заряду, який вони отримують, проходячи між катодом іонізатором й електродом осадника.

Процес обезпилення в електрофільтрах складається з наступних стадій: пилові частинки, проходячи з потоком газу електричне поле, отримують заряд; заряджені частинки переміщуються до електродів із протилежним знаком; осаджуються на цих електродах; відводиться пил, що осів на електродах.

Основними елементами електрофільтра є коронуючий й осадковий електроди. Перший електрод у найпростішому виді являє собою дріт, натягнутий у трубці або між пластинами, другий – являє собою поверхню трубки або пластини, що оточує коронуючий електрод (Рис. 1.47).

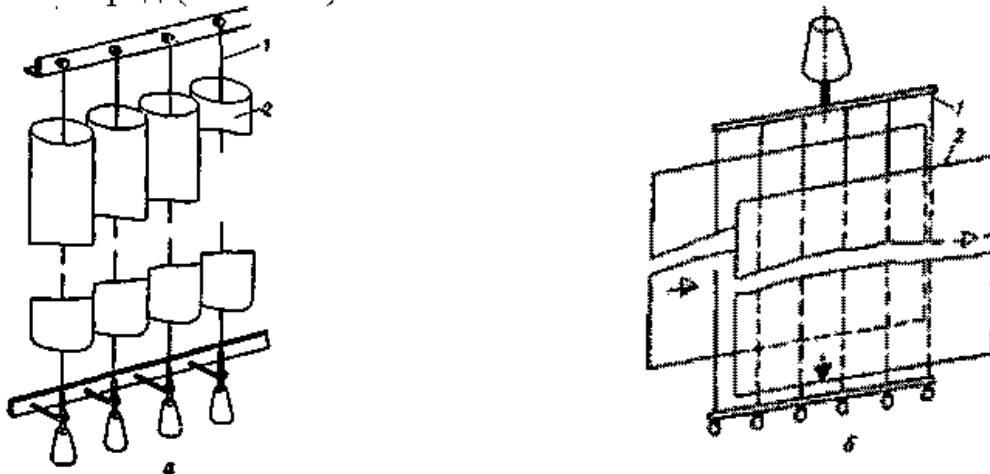


Рис. 1.47. Конструктивна схема електрофільтра:

а - електрофільтр с трубчастими електродами; б - електрофільтр із пластинчастими електродами; 1 - коронуючі електроди; 2 - осадкові електроди

Коронуючий електрод звичайно має негативну полярність, осадковий електрод заземлений. Така полярність викликана тим, що корона при цьому більш стійка, рухливість негативних іонів вище, ніж позитивних. Остання обставина пов'язане із прискоренням зарядки пилових часток.

Залежно від числа конструктивних зон відомі електрофільтри однозонні й двозонні. В однозонних електрофільтрах коронуючий й осадковий електроди в просторовому відношенні, конструктивно не розділені. У двозонних електрофільтрах є чіткий поділ. Однозонні електрофільтри застосовуються для очищення технологічних і вентиляційних викидів в атмосферу, двозонні - звичайно для очищення повітря в системах кондиціонування. Зв'язано це з тим, що в іонізаційній зоні відбувається виділення озону, надходження якого не допускається в повітря, що подається в приміщення.

Залежно від форми осадкових електродів електрофільтри бувають трубчасті й

пластинчасті. Трубчасті електрофільтри складаються з великої кількості елементів, що мають круглий або сотовий перетин. По осі трубчастого елемента розташований коронуючий електрод. У пластинчастому електрофільтрі є велика кількість паралельних пластин. Між ними знаходяться натягнуті коронуючі електроди.

Пластинчастий електрофільтр. Такі електрофільтри широко використовуються в цементній промисловості. З їхньою допомогою відбувається очищення газового потоку перед його викидом в атмосферу. Схема пластинчастого горизонтального електрофільтра показана на Рис. 1.48.

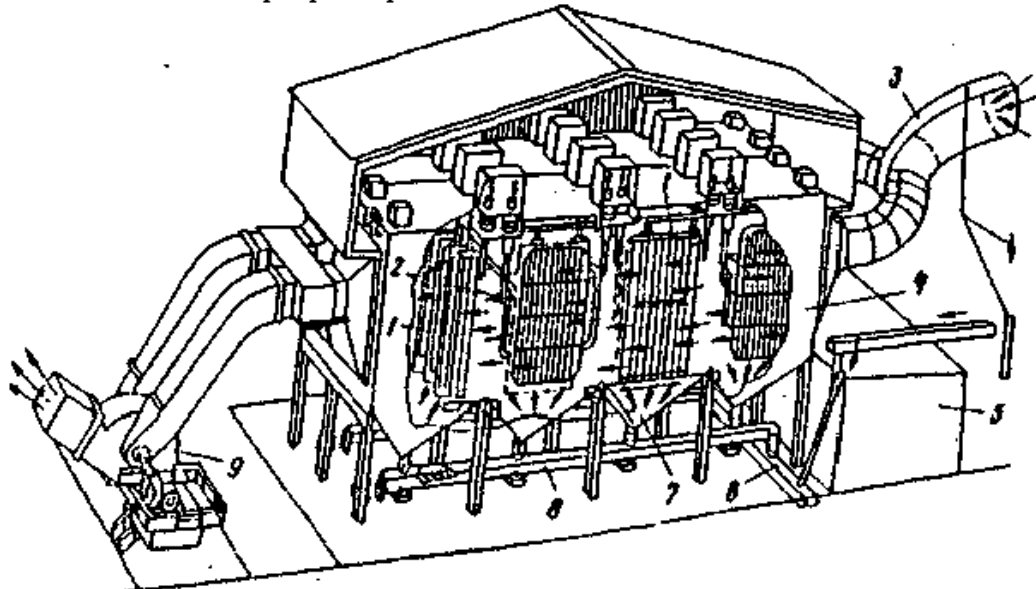


Рис. 1.48. Схема пластинчастого горизонтального електрофільтра :

1 - коронуючі електроди; 2 - осадові (пластинчасті) електроди; 3 - газопровід газу, що надходить на очищення; 4 - корпус; 5 - приміщення електроапаратури; 6, 8 - гвинтові транспортери; 7 - бункер уловленого пилу, 9 - димосос

Електрофільтри можуть бути вертикальні й горизонтальні, а також односекційні й багатосекційними з можливістю відключення частини секцій при огляді, ремонті, струшуванні без зупинки всього апарата.

У міру осадження пилу на електродах знижується ефективність пилловловлення. Щоб уникнути цього явища й підтримати оптимальну ефективності електрофільтрів електроди періодично очищають від пилу струшуванням або промиванням. Відповідно електрофільтри підрозділяються на сухі й мокрі.

Електрофільтр відноситься до найбільш ефективних пилловловлюючих апаратів. Ефективність очищення досягає 99,9%. Діапазон розмірів часток, що вловлюються, дуже широкий. Розмір частинки може складати частинки мікрони. Електрофільтр може обезпилити газове середовище з температурою до 500°C. Запиленість газу може бути від декількох мг до 200г/м³. Продуктивність електрофільтрів досягає сотень тисяч м³ газу в годину.

Електростатичні фільтри очищають повітря (гази), від зварювального аерозолі, масляного туману й інших часток мілкої дисперсії. Принципова схема

фільтра дана на Рис. 1.49. Частинки шкідливих речовин, зважені в газовому потоці, проходять через іонізаційну касету, що знаходиться під напругою 12кВ, а потім осаджуються на пластини осадної касети, що знаходиться під напругою 6 кВ. Перед іонізаційною касетою розташований фільтр грубого очищення, проходження через який сприяє також вирівнюванню потоку газу. Осілий пил видаляють із пластин осадної касети шляхом промивання миючим розчином з наступним сушінням. При необхідності фільтр може бути з додатковою касетою для очищення повітря від газоподібної фази зварювального аерозолі (оксиди азоту й вуглецю, фтористого водню, озону).

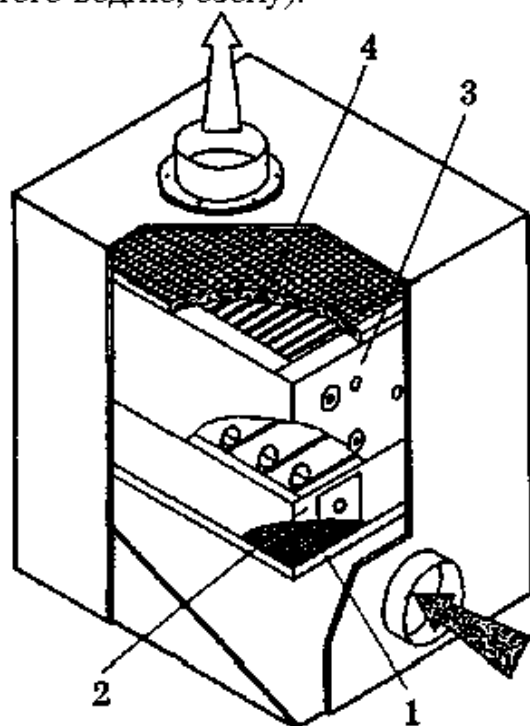


Рис. 1.49. Електростатичний фільтр ФЭС.

1 - попередній фільтр грубого очищення; 2 - іонізаційна касета; 3 - осадна касета;
4 - додаткова фільтруюча касета

Фільтри випускаються ряду марок з серійно продуктивністю 1000 й 300м³/г, а по спеціальному замовленню 6000, 12000, 18000, 24000 м³/г для очищення від твердої фази аерозолі, а також від його газоподібної фази.

Електростатичний фільтр ФЭС забезпечує високу ефективність очищення повітря, що складає 93±3%, та дозволяє здійснювати рециркуляцію.

Електромагнітний сепаратор. У переробні машини разом із сировиною можуть потрапити металеві сторонні включення, які можуть викликати поломку машини. Крім того, домішки залізовмісних мінералів і залізні обпилювання, що потрапили в сировину при його переробці в результаті зношування деталей, знижують якість виробів. Для вловлювання включень заліза застосовують електромагнітні сепаратори сухої й мокрої, безперервної й періодичної дії.

Електромагнітний сепаратор являє собою барабан, у пази якого закладені пластини трансформаторної сталі з навитими на них котушками. Котушки через осьовий канал вала й контактних кілець підключені до мережі постійного струму, завдяки чому між полюсами електромагнітів утвориться сильне магнітне поле.

Електромагнітний барабан 1 (Рис. 1.50,а) є приводним барабаном стрічкового живильника, у якого стрічка 2 натягнута натяжним барабаном 3. Сталеві предмети (болти, гайки, цвяхи й т.п.) і матеріал, що містить залізо, потрапляючи в зону дії магнітного поля, притягаються до стрічки, обгинають із нею електромагнітний приводний барабан і потрапляють у бункер 4, після того як вони відійдуть від барабана на деяку відстань. Матеріал, що не має магнітних властивостей, вільно зсипається з барабана й по лотку 5 направляється до переробної машини. Сепаратор розрахований на обробку кускового матеріалу крупністю більше 5мм. Ширина стрічки 500мм, потужність двигуна близько 1кВт. Продуктивність сепаратора досягає 16 м³/г.

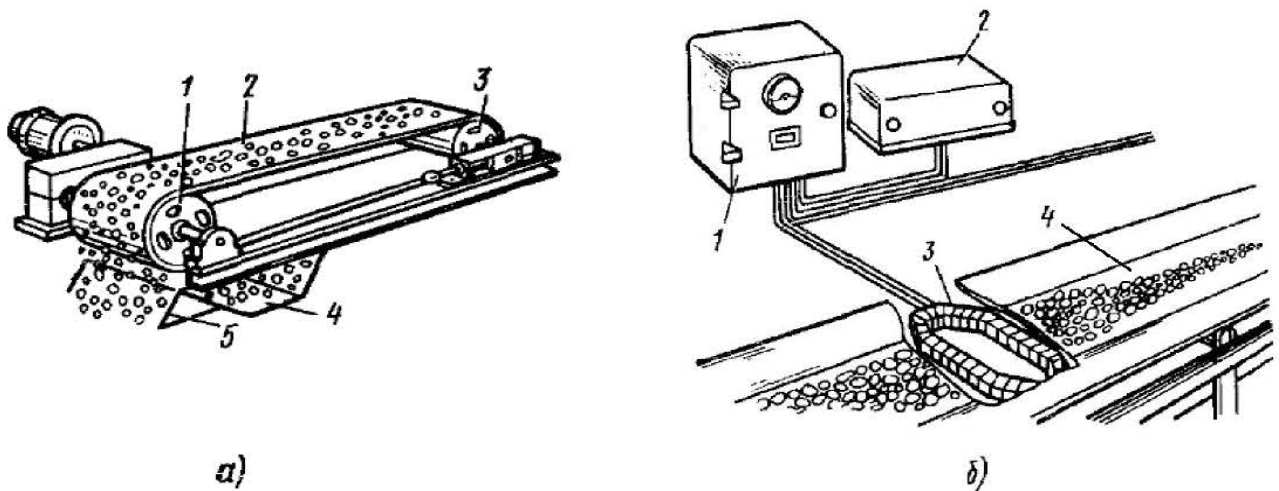


Рис. 1.50. Електромагнітні сепаратори.

а – електромагнітний сепаратор:	б – електронний металошукач:
1 – барабан; 2 – стрічка; 3 – натяжний барабан; 4 – бункер; 5 – лоток.	1 – електронний блок; 2 – пускач; 3 – рамка-датчик; 4 – транспортер.

Сепаратор не має достатню потужність для втримання металевих предметів, що лежать на поверхні слою матеріалу, не реагує на предмети зі слабомагнітних і немагнітних металів.

Принцип дії електронного металошукача показаний на Рис. 1.50, б. При проходженні металевого предмета над рамкою-датчиком 3, розміщеною під стрічкою конвеєра 4, індуктивність датчика змінюється, сигнал сприймається й підсилюється електронним блоком 1 і за допомогою реле й магнітного пускача 2 включається електромагнітний пристрій, що видаляє металевий предмет зі стрічки конвеєра.

Барабаний електромагнітний сепаратор (Рис. 1.51, а) використовують для магнітного очищення порошкоподібних матеріалів. Сепаратор складається з порожнього барабана 1, виконаного з немагнітного матеріалу (латуні, алюмінію, пластмаси), з розміщеними всередині нього нерухожими сильними електромагнітами. Різноїменні полюси 4 електромагнітів чергуються, магнітне поле великої щільності створюється в тій частині барабана, на яку надходить матеріал. Котушки 2 електромагнітів підключені до джерела постійного струму.

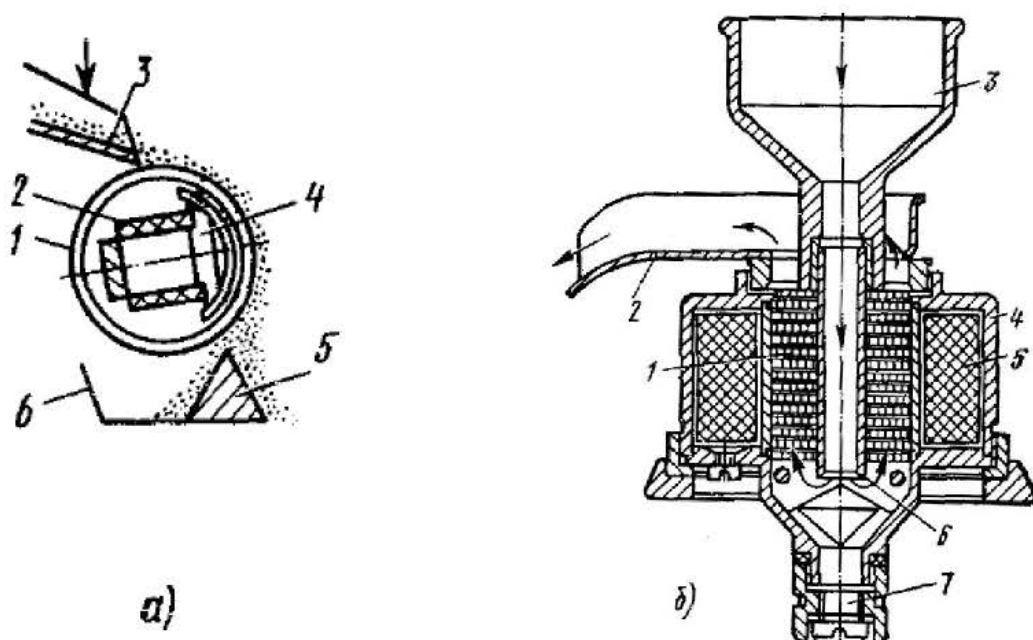


Рис. 1.51 Електромагнітні сепаратори.

а – барабанний
електромагнітний сепаратор

б – фільтр-сепаратор з концентрованим
магнітним полем:

Матеріал на поверхню обертового барабана тонким шаром подає віброживильник 3. Частинки, що мають магнітні властивості, утримуються на поверхні барабана в зоні дії магнітного поля й потрапляють у збірник 6, а інший матеріал вільно зсипається на лоток 5 і направляється на подальшу обробку.

Найбільш ефективним електромагнітним сепаратором для рідких мас є фільтр-сепаратор з концентрованим магнітним полем (Рис. 1.51,б). У корпусі 4 установлений кільцевий електромагніт 5. Між трубкою, що підводить 6, та електромагнітом установлений пакет ґратчастих пластин 1. Рідка маса надходить у вирву 3, опускається по трубці 6 і знизу проходить через ґратчасті пластини, залишаючи на них домішки заліза. Очищений матеріал зливається по лотку 2. Для очищення фільтра лоток перекривають, вигвинчуючи пробку 7, відключають струм і подають струмінь води на ґратчасті пластинки. Продуктивність таких сепараторів по рідкій масі досягає 3,5 м³/г.

До недоліків електрофільтрів відноситься їхня висока чутливість до підтримки параметрів очищення, а також висока вимогливість до рівня обслуговування. Електрофільтр не може бути використаний для вловлювання пилу, з високим електричним опором, а також, для очищення вибухонебезпечного середовища.

Електрофільтри, як більше складне й дороге устаткування, що забезпечує тонке очищення повітря, звичайно компонують із іншими пиловловлюючими пристроями, установлюваними на початкових етапах очищення. У результаті підвищується економічність використання електрофільтрів і забезпечується більше повне очищення.

1.2.8. Фізико-хімічні методи

Основні принципи. Багато промислових газів містять компоненти, які необхідно виділяти з дисперсного середовища, оскільки вони згубно діють на

здоров'я людей, оточуючу природу, викликають корозію апаратури і т.д. Крім цього викид токсичних газів строго регламентується санітарними органами.

У більшості випадків хімічні домішки, і пил промислових виробництв, після їхнього вловлювання й концентрування являють велику цінність для народного господарства, а іноді є основною сировиною для виробництва тих або інших хімічних продуктів (соляних, плавикових, азотної кислот, сірковуглецю й інших).

У хімічній промисловості застосовують кілька основних методів:

- поглинанням при промиванні газів рідинами - абсорбцією;
- поглинанням твердими тілами - адсорбцією;
- перетворенням газоподібних хімічних домішок за допомогою газоподібних добавок у твердий або рідкий стан з наступним виділенням отриманих продуктів.

Останній метод складний через труднощі вловлювання твердих або рідких дрібних часток, тому його застосовують рідко, але в деяких виробництвах такий процес відбувається мимовільно. Так, у виробництві сірчаної кислоти при поглинанні нею водяних парів з газів у газову фазу може перейти невелика кількість сірчаного ангідриду

До фізико-хімічних методів очищення стічних вод від нафтопродуктів відносять коагуляцію, флотацію й сорбцію.

Коагуляція це процес укрупнення дисперсних часток у результаті їхньої взаємодії й об'єднання в агрегати. При очищенні води її застосовують для прискорення процесу осадження дрібнодисперсних домішок й емульгованих речовин. Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води колоїдно-дисперсних часток, тобто часток розміром 1-100мкм. Коагуляція може відбуватися мимовільно або під впливом хімічних і фізичних процесів. У процесах очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом спеціальних речовин, що додають до них коагулянти. Коагулянти у воді утворюють пласти гідроксидов металів, які швидко осідають під дією сили ваги. Пласти мають здатність уловлювати колоїдні й зважені частинки й агрегувати їх. Так як колоїдні частинки мають слабкий негативний заряд, а пласти коагулянтів слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне притягання.

Флотація є складним фізико-хімічним процесом, що полягає в створенні комплексу частка-пухирець повітря або газу, спливанні цього комплексу й видаленні пінного шару, що утворився. Процес флотації широко застосовують при збагаченні корисних копалин, а також при очищенні стічних вод.

Залежно від способу отримання пухирців у воді існують наступні способи флотаційного очищення:

- флотація пухирцями, що утворюються шляхом механічного дроблення повітря (механічними турбінами-імпеллерами, форсунками, за допомогою пористих пластин і каскадних методів);
- флотація пухирцями, що утворюються з пересичених розчинів повітря у воді (вакуумна, напірна);
- електрофлотація.

Процес утворення комплексу пухирець-частка відбувається в три стадії: зближення пухирця повітря й частинки в рідкій фазі, контакт пухирця із часткою й прилипання пухирця до частинки.

Міцність з'єднання пухирець-частка залежить від розмірів пухирця й частинки, фізико-хімічних властивостей пухирця, частинки й рідини, гідродинамічних умов й інших факторів. Процес очищення стоків при флотації полягає в наступному: потік рідини й потік повітря (дрібних пухирців) у більшості випадків рухаються в одному напрямку. Зважені частинки забруднень перебувають у повному об'ємі стічної води й при спільному русі з пухирцями повітря відбувається агрегування частинки з повітрям. Якщо пухирці повітря значних розмірів, то швидкості повітряного пухирця й забрудненої частинки розрізняються так сильно, що частинки не можуть закріпитися на поверхні повітряного пухирця. Крім того, більші повітряні пухирці при швидкому русі сильно перемішують воду, викликаючи роз'єднання вже з'єднаних повітряних пухирців і забруднених часток. Тому для нормальної роботи флотатора у флотаційну камеру не допускаються пухирці більше певного розміру.

Вакуумна флотація заснована на зниженні тиску нижче атмосферного в камері флотатора. При цьому відбувається виділення повітря, розчиненого у воді. При такому процесі флотації утворення пухирців повітря відбувається в спокійному середовищі, у результаті чого поліпшується агрегування комплексів частка-пухирець і не порушується їхня цілісність аж до досягнення ними поверхні рідини.

Напірна флотація. Цей вид очищення стічних вод виконується у дві стадії: насичення води повітрям під тиском; виділення пухирців повітря відповідного діаметра й виринання зважених й емульгованих часток домішок разом з пухирцями повітря. Якщо флотація проводиться без додавання реагентів, то така флотація відноситься до фізичних способів очищення стічних вод.

Імпелерна флотація. Флотатори імперного типу застосовують для очищення стічних вод нафтових підприємств від нафти, нафтопродуктів і жирів. Їх також можна використати для очищення стічних вод інших підприємств. Даний спосіб очищення в промисловості застосовують рідко через його невелику ефективність, високу турбулентності потоків у флотаційній камері, що приводить до руйнування пластівчастих часток, і необхідність застосовувати поверхнево-активні речовини.

Флотація з подачею повітря через пористі матеріали. Для отримання пухирців повітря невеликих розмірів можна використати пористі матеріали, які повинні мати достатню відстань між отворами, щоб не допустити зрощення пухирців повітря над поверхнею матеріалу. На розмір пухирця великий вплив робить швидкість витікання повітря з отвору. Для отримання мікропухирців необхідна відносно невелика швидкість витікання.

Електрофлотація. Стічна рідина при пропусненні через неї постійного електричного струму насичується пухирцями водню, що утворюються на катоді. Електричний струм, що проходить через стічну воду, змінює хімічний склад рідини, властивості й стан нерозчинних домішок. В одних випадках ці зміни

позитивно впливають на процес очищення стоків, в інші - ними треба управляти, щоб отримати максимальний ефект очищення.

Загалом, достоїнствами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні й експлуатаційні витрати, простота апаратури, селективність виділення домішок, у порівнянні з відстоюванням, більша швидкість процесу, а також можливість отримання шламу більш низької вологості (90-95%), високий ступінь очищення (95-98%), можливість рекуперації речовин, що видаляють.

Сорбція. Серед фізико-хімічних методів очищення стічних вод від нафтопродуктів кращий ефект дає сорбція на вугіллі.

Сорбція - це процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Поглинаюче тіло називається сорбентом, що поглинає - сорбатом. Розрізняють поглинання речовини всією масою рідкого сорбенту (абсорбція) і поверхневим шаром твердого або рідкого сорбенту (адсорбція). Сорбція, що супроводжується хімічною взаємодією сорбенту з речовина, що поглинає, називається хемосорбцією.

Сорбція являє собою один з найбільш ефективних методів глибокого очищення від розчинених органічних речовин стічних вод підприємств нафтохімічної промисловості.

Як сорбенти застосовують різні пористі матеріали: золу, коксовий дріб'язок, торф, силікагелі, алюмогелі, активні глини та інші. Ефективними сорбентами є активовані вугілля різних марок. Пористість цих вугілля становить 60-75%, а питома площа поверхні 400-900м²/г. Залежно від переважного розміру пор активоване вугілля ділять на крупно- і дрібнопористі й змішаного типу. Пори по своєму розмірі підрозділяються на три види: макропори розміром 0,1-2мкм, перехідні розміром 0,004-0,1мкм, мікропори - менші 0,004мкм.

Залежно від області застосування методу сорбційного очищення, місця розташування адсорберів у загальному комплексі очисних споруджень, складу стічних вод, виду, величини сорбенту та інші призначають ту або іншу схему сорбційного очищення й тип адсорбера.

Найбільш простим є насипний фільтр, що представляє собою колону з нерухомим шаром сорбенту, через який фільтрується стічна вода. Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених у стічних водах речовин і становить 1-6м/г; крупність зерен сорбенту - 1,5-5мм. Найбільш раціональний напрямок фільтрування рідини - знизу нагору, тому що в цьому випадку відбувається рівномірне заповнення всього перетину колони й відносно легко витісняються пухирці повітря або газів, що осідають у шар сорбенту разом зі стічною водою.

У колоні шар зерен сорбенту укладають не безпровальні ґрати з отворами діаметром 5-10мм і кроком 10-20мм, на які укладають підтримуючий шар дрібного щебеня і великого гравію висотою 400-500мм, що оберігає зерна сорбенту від провалювання й забезпечує рівномірний розподіл потоку рідини по всьому перетині. Зверху шар сорбенту для запобігання виносу закривають спочатку шаром гравію, потім шаром щебенів і покривають ґратами (тобто у зворотному порядку).

Окисний метод очищення застосовують для знешкодження виробничих стічних вод, що містять токсичної домішки (ціаніди, комплексні ціаніди міді й цинку) або з'єднання, які недоцільно витягати зі стічних вод, а також очищати іншими методами (сірководень, сульфід). Такі види стічних вод зустрічаються в машинобудівній (цехи гальванічних покриттів), гірничодобувній (збагачувальні фабрики свинцовоцинкових і мідних руд), нафтохімічної (нафтопереробні й нафтохімічні заводи), целюлозно-паперовій (цехи варіння целюлози) та інших галузях промисловості.

У вузькому змісті окислювання це реакція з'єднання якої-небудь речовини з киснем, а в більше широкому - усяка хімічна реакція, сутність якої складається у відібранні електронів від атомів або іонів. У практиці знешкодження виробничих стічних вод як окислювачі використовуються хлор, гіпохлорид кальцію й натрію, хлорне вапно, діоксид хлору, озон, технічний кисень і кисень повітря.

Хлорування. Знешкодження стічних вод хлором або його з'єднаннями це один з найпоширеніших способів їхнього очищення від отрутних ціанідів, а також від таких органічних і неорганічних з'єднань, таких як сірководень, гідросульфід, сульфід, метилмеркаптан й інші.

Озонування. Озон має високу окисну здатність і при нормальній температурі руйнує багато органічних речовин, що перебувають у воді. При цьому процесі можливо одночасне окислювання домішок, знебарвлення, дезодорація, знезаражування стічної води й насичення її киснем. Перевагою цього методу є відсутність хімічних реагентів при очищенні стічних вод.

Розчинність озону у воді залежить від рН і кількості домішок у воді. При наявності у воді кислот і солей розчинність озону збільшується, а при наявності лугів - зменшується.

Озон мимовільно дисоціює на повітрі й у водяному розчині, перетворюючись у кисень. У водяному розчині він дисоціює швидше. Зі збільшенням температури й рН швидкість розпаду озону різко зростає.

Озон можна отримати різними методами, але найбільш економічним є пропускання повітря або кисню через електричний розряд високої напруги (5000-25000В) у генераторі озону (озонаторі), що складається із двох електродів, розташованих на невеликій відстані один від одного.

Перспективність застосування озонування як окисного методу обумовлена також тим, що воно не приводить до збільшення сольового складу стічних вод, що очищають, не забруднює воду продуктами реакції, а сам процес легко піддається повній автоматизації.

1.2.9. Біологічне розділення (очищення)

Біологічне розділення часток принципово відрізняється від розглянутих вище видів розділення. Методи біологічного розділення засновані на здатності мікроорганізмів використати різноманітні речовини, що втримуються в гетерогенних системах, як джерело живлення в процесі їхньої життєдіяльності. Завданням біологічного розділення є перетворення органічних забруднень у нешкідливі продукти окислювання - H_2O , CO_2 , NO_3 , SO_4 та інші. У результаті

життєдіяльності мікроорганізмів відбувається розкладання шкідливих речовин, що втримуються в повітрі, і перетворення їх у менш небезпечні речовини. Наприклад, при розкладанні вуглеводнів виділяється диоксид вуглецю CO_2 , сіркомістких речовин - сірка S. Процес біохімічного руйнування органічних забруднень в очисних спорудженнях відбувається під впливом комплексу бактерій і найпростіших мікроорганізмів, що розвиваються в даній системі.

Поглинання й знешкодження аерозольних часток, що втримуються в повітрі, при біологічному очищенні здійснюється за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів, що населяють біофільтри - пристрою, де виробляється цей вид очищення. Відомо, що широко застосовується біологічне очищення води в системах водопостачання, біологічне очищення стічних вод у системах каналізації. Біологічне очищення повітря вже знаходить практичне застосування й мають певні перспективи.

Як середовище перебування мікроорганізмів у біофільтрі (насадці) застосовують компост, землю, торф, кору дерев, пластмасові елементи й інше. Активність мікроорганізмів залежить від температури, вологості, кислотності середовища, насичення киснем, наявності речовин для живлення мікроорганізмів в середовищі де відбувається очищення.

Біохімічне очищення виробничих стічних вод нафтопереробних заводів відбувається в **аерофільтрах (біофільтри), аеротенках і біологічних ставках**.

Біофільтри являють собою залізобетонні або цегельні резервуари, заповнені фільтруючим матеріалом, що укладається на дірчасте днище й зрошується стічними водами. Для завантаження біофільтрів застосовують шлаки, щебені, пластмасу й інші матеріали. Очищення стічних вод у біофільтрах відбуваються під впливом мікроорганізмів, що заселяють поверхню й утворюють біологічну плівку. При контакті стічної рідини із цією плівкою мікроорганізми витягають із води органічні речовини, у результаті чого стічна вода очищається.

Швидкість протікання біохімічних реакцій залежить від складу повітря, що очищається, концентрації в ньому аерозольних часток, а також від виду, кількості й активності мікроорганізмів. Розрізняють біофільтри поверхневі, багатоповерхові, компактні.

Біофільтр голландської фірми Клайртех типу «Биотонфильтр» (Рис. 1.52.) відноситься до багатоповерхового. В ньому використано фільтрувальний матеріал Биотон, що являє собою суміш компосту й різних добавок, населений мікроорганізмами. Склад суміші приймають залежно від домішок, що є в повітрі, до складу суміші може входити активоване вугілля, що нейтралізують речовини (CaCO_3 , Ca, MgCO_3 , Mg). Мікроорганізми вибираються залежно від виду аерозольних часток, та вводяться до складу фільтруючого матеріалу при його виготовленні.

Носіями фільтруючого матеріалу є частинки полістиролу певного розміру. Корпус фільтра виготовлений з нержавіючої сталі, і складається з декількох ярусів (поверхів) та має теплову ізоляцію.

Процес очищення в біофільтрі складається з ряду стадій. Повітря піддають попередньому очищенню для того, щоб зміст аерозольних часток у ньому було знижено до необхідного рівня, звичайно до 10 мг/м^3 .

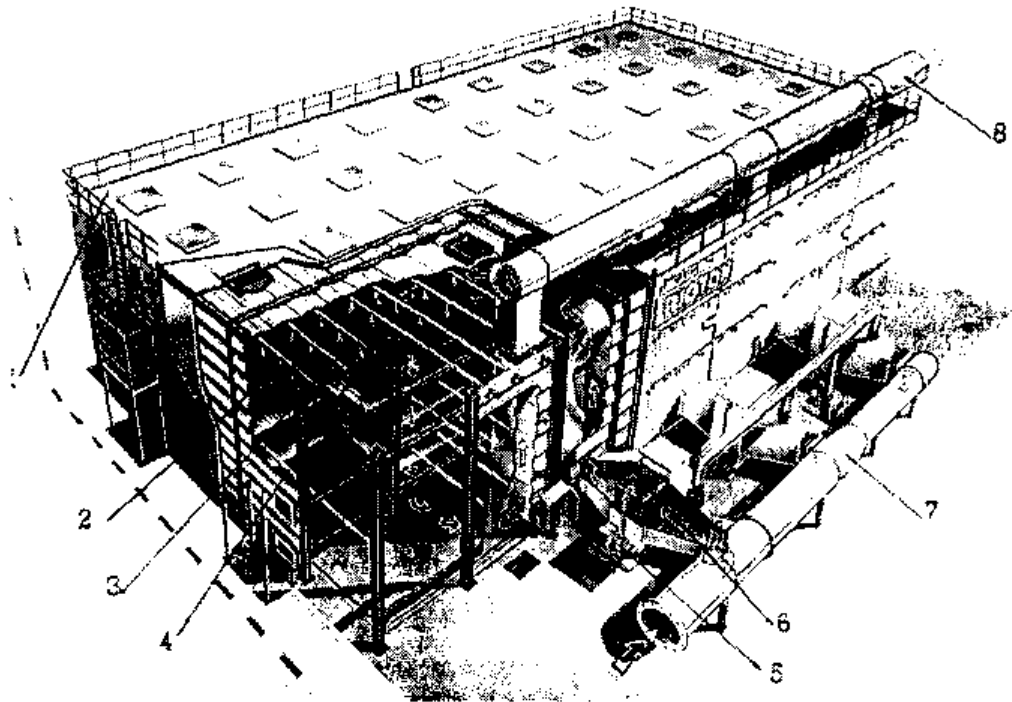


Рис. 1.52. Біофільтр:

- 1 - корпус; 2 - фільтрувальний матеріал; 3 – форсунка; 4 - водопровід; 5 – насос;
 6 – теплообмінник; 7 – повітропровід запиленого повітря;
 8 – повітропровід очищеного повітря

При температурі повітря, менше 15°C проводиться його нагрівання, при температурі більше 40°C - охолодження. Теплота повітря може бути використана для нагрівання повітря, що потрапляє в теплообміннику.

При надходженні повітря для очищення в біофільтр повинне бути забезпечений його рівномірний розподіл і проходження через фільтруючий матеріал. Після очищення в біофільтрі повітря використовується для рециркуляції або виводиться в атмосферу.

Ефективність біофільтра приблизно 99%. Продуктивність 1000-25000м³/г.

У ряді країн (Німеччина, Голландія, Швейцарія та інші) біофільтри знаходять застосування для знешкодження органічних розчинників, що втримуються у вентиляційному повітрі, при виробництві пластмас, процесу лакування, друкарень; для очищення газів, що відходять в хімічній й нафтовій промисловості; для очищення повітря в тютюновій, парфумерній, фармацевтичній й інших галузях.

При експлуатації біофільтрів необхідно створити певний температурно-вологий режим для мікроорганізмів, які є живими істотами й мають потребу в певній середовищі й живленні. Якщо одна з умов (температура, вологість, що відповідає життєдіяльності організмів) не створена, кількість мікроорганізмів різко зменшується й вони можуть загинути. Потрібно вибрати шляхом попередніх досліджень оптимальний вид мікроорганізмів й умови їхнього перебування з урахуванням виду очисного середовища і аерозольних часток.

Аеротенки являють собою залізобетонні резервуари довжиною 30-100м і більше, шириною 3-10м і глибиною 3-5м. Очищення води в аеротенках відбувається під впливом скупчень мікроорганізмів (активного мулу). Для нормальної їхньої життєдіяльності в аеротенки подають повітря й живильні речовини.

Переваги біологічного методу очищення - можливість видаляти зі води різноманітні органічні сполуки, у тому числі токсичні, простота конструкції апаратури, відносно невисока експлуатаційна вартість. До недоліків варто віднести високі капітальні витрати, необхідність строгого дотримання технологічного режиму очищення, токсична дія на мікроорганізми деяких органічних сполук і необхідність розведення води у випадку високої концентрації домішок.

При застосуванні біотехнології можна використати цільні живі клітки (мікробів, клітки тварин і рослин) або які-небудь клітинні компоненти (наприклад, ферменти) з метою фізичних або хімічних перетворень органічних речовин [15]. Однак недостатньо отримати необхідні зміни речовин, метод повинен мати переваги перед іншими, технологіями для виробництва цих же самих продуктів.

Переваги виробництва органічних продуктів біотехнологічними способами перед чисто хімічними методами досить багатогранні:

- багато складних органічних молекул, такі, як білки й антибіотики, не можуть практично бути синтезовані хімічними способами;
- біоконверсія забезпечує значно більший вихід цільового продукту;
- біологічні системи функціонують при більш низьких температурах, менш високих значеннях рН (близьких до нейтрального) і т.п.;
- каталітичні біологічні реакції набагато специфічніше, чим реакції хімічного каталізу;
- біологічні процеси забезпечують майже винятково продукцію чистих ізомерів одного типу, а не їхніх сумішей, як це часто буває в реакціях хімічного синтезу.

Але разом з тим біологічні способи в порівнянні з хімічними методами володіють рядом явних **недоліків**:

1. Біологічні системи можуть легко бути забруднені сторонньою небажаною мікрофлорою.

2. Цільовий продукт, синтезований біологічним способом, є присутнім у досить складній суміші, що обумовлює необхідність розділення його від домішків непотрібних речовин.

3. Біотехнологічні виробництва вимагають більшої кількості води, яку в результаті необхідно видаляти, скидаючи її в навколишнє середовище.

4. Біопроцеси звичайно йдуть повільніше в порівнянні зі стандартними хімічними процесами.

Для кожного біотехнологічного процесу повинна бути розроблена прийнятна схема, а сам процес повинен постійно спостерігатися й ретельно контролюватися. Для більшості практичних біотехнологічних процесів такими системами є ферментори або біореактори, які забезпечують необхідні фізичні умови, що сприяють найкращій взаємодії каталізатора із середовищем і

активним матеріалом. Біореактори варіюють від простих посудин до досить складних систем з різним рівнем комп'ютерного оснащення.

Біореактори виготовляються двох типах. Перший тип для нестерильних систем, коли немає абсолютної необхідності оперувати із чистими культурами мікроорганізмів (наприклад, ферментація при пивоварстві, виробництво пекарських дріжджів і т.д.). Біореактори другого типу призначені для асептичних процесів, звичайно використовують у виробництві таких з'єднань як, антибіотики, амінокислоти, полісахариди й одноклітинний бактеріальний білок. У реакторах такого типу всі сторонні мікроорганізми повинні бути виключені, що, зв'язано зі значними складностями при їхньому конструюванні й розробці самого біотехнологічного процесу.

Основна вимога до біореакторів будь-якого типу зводиться до забезпечення оптимальних умов росту продуцента або нагромадженню синтезованого ним продукту. Для досягнення зазначених цілей необхідно розробляти технологію, покликану оптимізувати процес, а саме: використати підходяще джерело енергії, набір живильних речовин повинен відповідати живильним потребам організму-продуцента, з середовища повинні бути вилучені з'єднання, інгібуючі його життєдіяльність, повинна бути підібрана відповідна посівна доза й, нарешті, забезпечені всі інші необхідні фізико-хімічні умови.

Поділ гетерогенних систем з інтенсифікацією за рахунок активного транспорту

Інтенсифікації процесів розділення дисперсних систем зараз надається велике значення. Для її здійснення необхідний детальний аналіз різних факторів, що впливають на протікання процесів розділення дисперсних систем.

Цікавим ефектом із цього погляду є активний транспорт біологічних мембран. Аналогічні явища можуть мати місце й в інших процесах розділення, причому вони можуть бути штучно викликані в сепараторах, а не тільки зустрічатися при життєдіяльності організмів. У зв'язку із цим розглянемо роль активного транспорту при сепарації дисперсних систем у загальному випадку.

Так під активним транспортом будемо розуміти прискорене перенесення часток дисперсних фаз за допомогою яких-небудь об'єктів, безпосередньо взаємодіючих із частками. Активним транспортним центром назвемо об'єкт, що забезпечує прискорене перенесення часток дисперсної фази. Він може представляти із себе або частку, або канал, або сукупність молекул, що переносять частинки дисперсної фази естафетним механізмом. У всіх випадках можна виділити три стадії дії активного транспорту.

1-я стадія полягає в приєднанні частинки до активного транспортного центра,

2-я стадія полягає в безпосередньому переносі частинки. При цьому сам активний транспортний центр може залишатися й нерухомим.

3-я стадія полягає у відділенні часток від активних транспортних центрів. На практиці не завжди потрібно повне її здійснення. Прикладом використання активного транспорту є процес відцентрового відділення бактерій за допомогою

часток коаліну. При цьому частинки коаліну є активними транспортними центрами: до них приєднуються бактерії. Так здійснюється 1-я стадія штучно викликаного активного транспорту. При центрифугуванні частинки коаліна седиментують, переносячи адсорбовані бактерії в осад. Для такого відділення бактерій потрібне менше значення фактора розділення, чим необхідне для їх безпосереднього центрифугування. Таким чином використання механізмів активного транспорту дозволяє інтенсифікувати процес розділення й навіть здійснити цей процес при практичній відсутності інших механізмів масопередачі, здатних здійснити відділення часток.

Контрольні запитання та завдання

1. Опишіть основні відмінності в процесах механічного та гідромеханічного розділення. Наведіть приклади.
2. Поясніть сутність поняття масообмінний поділ та опишіть процеси, що при цьому відбуваються.
3. Поясніть сутність поняття біологічне розділення та опишіть процеси, що при цьому відбуваються.
4. Поясніть, що значить поняття класифікація суміші та процес грохочення при механічному розділенні.
5. Опишіть механізм процесу сепарування що відбувається при очищенні газів під дією інерційних та відцентрових сил.
6. Опишіть механізм та відмінності між сепарування під дією інерційних, відцентрових сил та гравітаційним очищенням газів.
7. Поясніть загальний механізм розділення при гравітаційному очищенні газів.
8. Поясніть механізм розділення при мокрому очищенні газів та відмінності від відстоювання. Наведіть приклади.
9. Опишіть механізм розділення при використанні процесу фільтрування. Наведіть приклади.
10. Опишіть механізм розділення при використанні процесу центрифугування. Наведіть приклади застосування.
11. Поясніть процес електромагнітного розділення. Наведіть схему розділення та приклади електромагнітних сепараторів.
12. Поясніть специфіку хімічних способів розділення. Наведіть приклади хімічного розділення.
13. Поясніть процес масопередачі при розділенні систем. Вкажіть недоліки та переваги масообмінного поділу. Наведіть приклади.
14. Поясніть особливості використання біологічного розділення. Вкажіть недоліки та переваги біологічного розділення. Наведіть приклади застосування методу.
15. Поясніть процес процесами добування металів з розчинів з допомогою біосорбції. Вкажіть недоліки та переваги методу.
16. Поясніть основні складові в питанні класифікації процесів розділення неоднорідних систем за признаками – фізичні, хімічні, біологічні процеси.

17. Наведіть приклади апаратів механічного сортування та вкажіть особливості та ефективність їх застосування.
18. Наведіть приклади апаратів повітряного сортування (сепарація) та вкажіть особливості та ефективність їх застосування.
19. Наведіть приклади апаратів гідравлічного сортування (класифікація) та вкажіть особливості та ефективність їх застосування.
20. Вкажіть особливості застосування грохотів з нерухомими, рухомими та хитними колосниковими ґратами.
21. Вкажіть відмінність та особливості роботи вібраційних ексцентрикових грохотів та інерційних вібраційних грохотів. Наведіть приклади.
22. Поясніть призначення та принцип роботи циліндричного мийно-сортувального грохоту. Наведіть приклади застосування.
23. Поясніть відмінності в принципі роботи грохотів та вібросит. Вкажіть ефективність роботи вібросита. Наведіть приклади застосування.
24. Поясніть призначення, загальний принцип роботи та ефективність використання відстійників безперервної дії.
25. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип роботи і ефективність використання пилоосаджувальної камери та пилового мішка.
26. опишіть особливості використання та ефективність очищення повітря з допомогою фільтрувальних тканин.
27. Поясніть особливості використання та призначення для грубоволокнистих фільтрів, фільтрів–тумановловлювачів, зернистих фільтрів.
28. Поясніть принцип роботи та вкажіть відмінності між ротаційним та відцентровим пиловловлювачем. Наведіть приклади використання.
29. Поясніть принцип роботи та вкажіть відмінності між фільтруючими та осадковими центрифугами. Наведіть приклади використання.
30. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип роботи рідинного сепаратора тонкошарового центрифугування. Наведіть приклади використання.
31. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип роботи барабанного вакуум-фільтра. Наведіть приклади використання.
32. Поясніть принцип роботи та вкажіть відмінності між дисковими і стрічковими вакуум-фільтрами. Наведіть приклади використання.
33. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип роботи прес фільтра. Наведіть приклади використання.
34. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип роботи вібраційних фільтрів напірних та безнапірних. Наведіть приклади використання.
35. Наведіть конструктивну схему та поясніть в чому полягає ефективність очищення скрубера. Наведіть приклади використання.
36. Поясніть принцип роботи та вкажіть відмінності між насадочним скрубером та скрубером з використанням з порожніх куль.
37. Наведіть конструктивну схему та поясніть як працюють промивні вежі. Наведіть приклади використання.
38. Поясніть призначення та загальний принцип роботи порожнистих скруберів Вентурі та з скруберів насадкою.

39. Поясніть призначення, загальний принцип роботи та відмінності між камерним та спіральним класифікаторами. Наведіть приклади використання.
40. Поясніть призначення та загальний принцип роботи ударно-інерційного пиловловлювач. Пиловловлювач ударно-інерційної
41. Поясніть призначення, загальний принцип роботи та відмінності між мокрим та пінно-краплинним пиловловлювачем. Наведіть приклади використання.
42. Наведіть конструктивну схему та поясніть принцип роботи дугового гідрокласифікатора. Наведіть приклади використання.
43. Наведіть конструктивну схему та поясніть принцип роботи гвинтового гідрокласифікатора. Наведіть приклади використання.
44. Наведіть конструктивну схему та поясніть принцип роботи електрофільтрів. Наведіть приклади використання.
45. Наведіть конструктивну схему, поясніть принцип роботи та ефективність очищення пластинчастого електрофільтру.
46. Наведіть конструктивну схему та поясніть принцип роботи електростатичного фільтру. Наведіть приклади використання.
47. Поясніть призначення та відмінності між електромагнітним та барабанним електромагнітним сепараторами. Наведіть приклади використання.
48. Поясніть процес флотації та можливості його використання в хімічному машинобудуванні. Наведіть приклади.
49. Поясніть призначення та відмінності між вакуумною та напірною флотацією. Наведіть приклади застосування в промисловості.
50. Поясніть процес електрофлотація та можливості його використання в хімічному машинобудуванні. Наведіть приклади.
51. Поясніть призначення та відмінності при біологічному очищенні в біофільтрах та аеротенках. Переваги та недоліки біологічного очищення.
52. Поясніть процес розділення гетерогенних систем з інтенсифікацією за рахунок використання активного транспорту. Наведіть приклади.

РОЗДІЛ 2. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ

2.1 Конструкція та основи параметричного розрахунку роторних змішувачів періодичної дії

2.1.1. Конструктивна схема роторного змішувача Бенбері

Змішування каучуку з іншими компонентами гумової суміші може здійснюватися періодичним або безперервним способом.

В якості гумозмішувачів роторного типу періодичної дії по виду виконуваних технологічних операцій класифікуються на швидкісні (високого тиску) для виготовлення матових сумішей з частотою обертання роторів 40-80 *об/хв* і тихохідні гумозмішувачі для другої стадії змішування з частотою обертання роторів 20-30 *об/хв*. За конструктивними ознаками роторні гумозмішувачі можна розділити на наступні групи: *а*) по конструкції приводу (з індивідуальним і груповим), *б*) за формою роторів (з тригранними, овальними циліндричними, чотиригранними та шевронними); *в*) за способом вивантаження готової суміші (через нижній ковзаючий або відкидний затвор); *г*) по тиску в змішувальній камері (до 0,3 та понад 0,3 МПа).

Найбільш поширеною конструкцією гумозмішувача є змішувач з овальними роторами, так званий змішувач типу Бенбері, Рис. 2.1. На фундаментній плиті 7 встановлений корпус змішуючої камери 5, що складається з двох напівциліндрів, двох боковин - торцевих стійок. У камері розташовані два сталевих фігурних ротора 6, які обертаються з різними швидкостями. Завантаження компонентів гумової суміші відбувається через завантажувальну воронку, оснащену відкидними дверцятами 2. Верхній затвор 4 опускається і підіймається поршнем пневмоциліндра 3. Ковзаючий затвор 8 розвантажувального пристрою переміщуються горизонтальним пневмоциліндром 9. Ротори встановлюються на підшипниках кочення або ковзання і приводяться в обертання від електродвигуна через типовий або спеціальний редуктор.

Процес виготовлення гумової суміші починається з подачі інгредієнтів в певній послідовності в робочу камеру 5 через завантажувальну горловину 1. Далі завантажувальне вікно в камері 5 закривається верхнім затвором 4 для попередження виштовхування зі змішувальної камери компонентів назовні при обертанні роторів.

Пластикація та диспергування компонентів супроводжується інтенсивним зсувним деформуванням і тепловиділенням, тому для відводу зайвого тепла гумозмішувач має систему охолодження. Зовнішні стінки змішувальної камери зрошуються водою через форсунки 10 встановлені на колекторі 11. У середину роторів також подається охолоджуюча вода.

Гумозмішувачі виготовляються в двох виконаннях - з лівим чи правим розташуванням приводу.

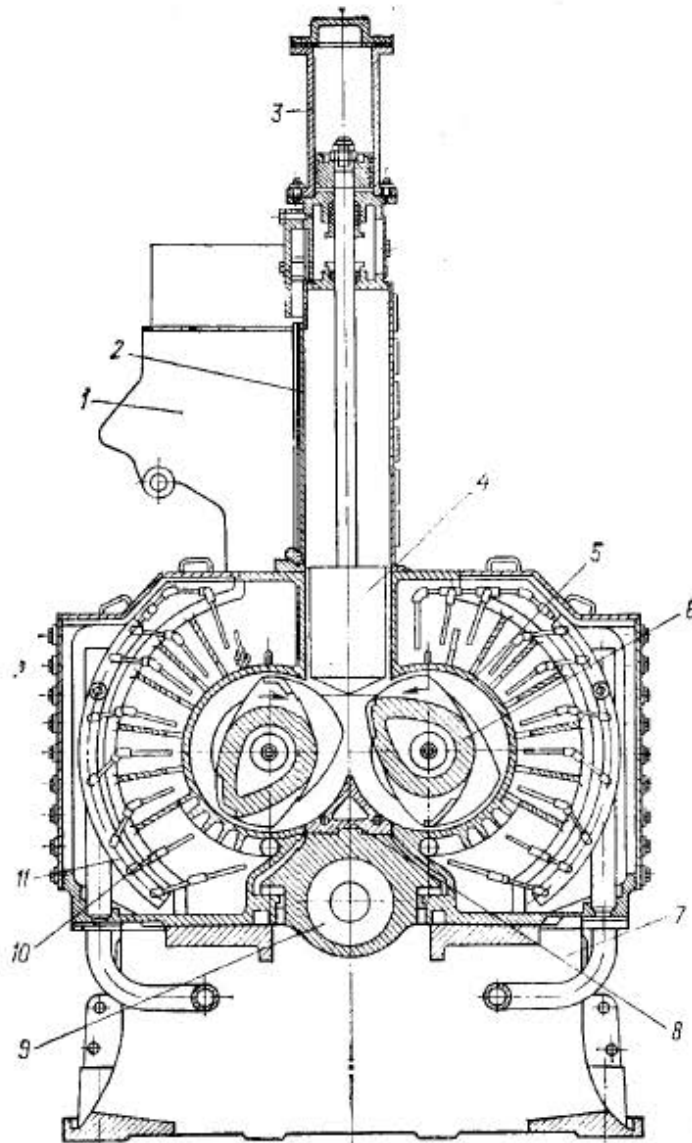


Рис. 2.1 Загальний вид роторного змішувача Бенбері (Пояснення в тексті)

Схематично процес деформування гумової суміші в робочій камері зображено на Рис. 2.2. Ротори 2, обертаючись назустріч один одному з різними частотами обертання N_1 і N_2 в просторі, обмеженому стінками робочої камери 4, верхнім затвором 1 і нижнім затвором 5 здійснюють диспергуюче змішування гумової суміші 3. Поле зсувних деформацій, що розвиваються в матеріалі в поперечному перерізі робочої камери, можна розбити на три зони (I, II, III) деформацій зсуву. Найбільша інтенсивність деформування реалізується в зоні між поверхнями гребеня ротора та стінки камери та зоні деформації I. Швидкість зсуву в серповидному зазорі гумозмішувача періодичної дії досягає 500 с^{-1} . Зона деформації II, що знаходиться в областях B_0O і CO_2C , характеризується трохи меншими значеннями інтенсивності деформування. У зоні II матеріал інтенсивно стискається і, чинячи тиск на верхній затвор 1, піднімає його поштовхами вгору. В зоні III (GO_1ADO_2G) відбувається змішування двох потоків, що супроводжується диспергуванням і вдавненням інгредієнтів гумової суміші в каучук. Далі суміш розділяється на два потоки і знову надходить у зону деформування I.

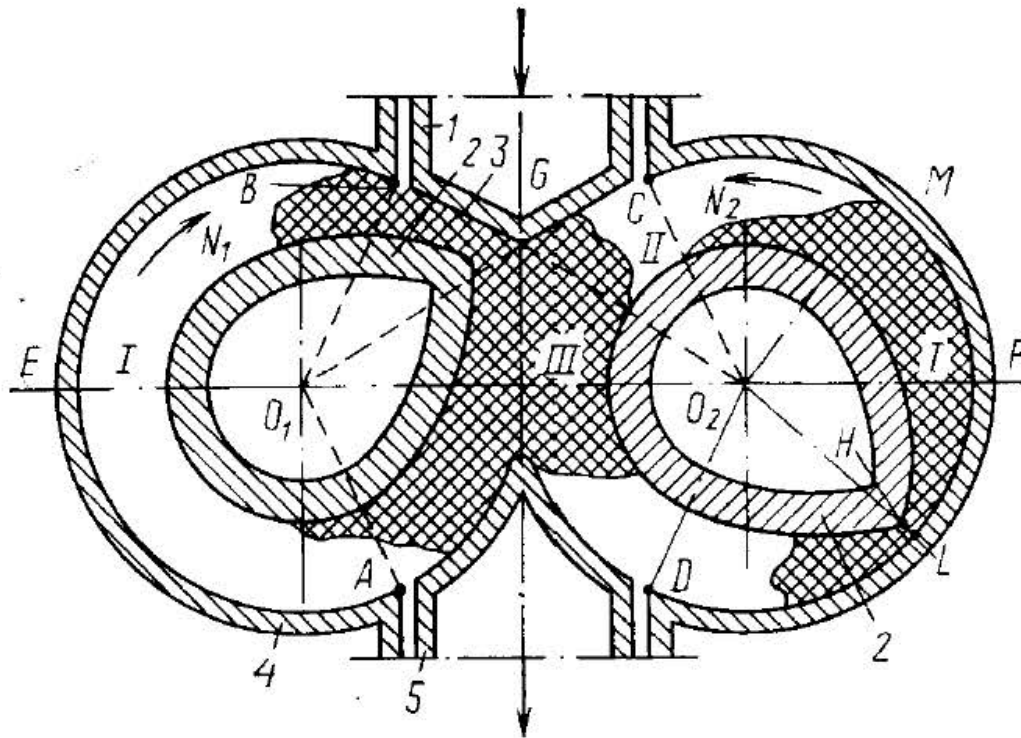


Рис. 2.2 Схема деформування гумової суміші в робочій камері гумозмішувача
(Пояснення в тексті)

Кожен з овальних роторів конструктивно виконаний у вигляді переривчастої спіралі, а в будь-якому поперечному перерізі ротора він має конфігурацію еліпса. Поверхня кожного з роторів утворена двома гвинтовими лопатями, одна з яких, більш довга, має кут підйому гвинтової лінії $\alpha=30^\circ$, а інша – кут підйому $\beta=45^\circ$. Кут закручування гвинтової поверхні становить 90° . Така складна конфігурація поверхні ротора необхідна для збільшення змішувального ефекту завдяки створенню осевого переміщення гумової суміші. Розташування роторів в робочій камері таке, що проти довгого гребеня одного ротора знаходиться короткий гребінь іншого. Внаслідок цього рух гумової суміші набуває складного характеру з траєкторією, що має вигляд просторової «вісімки», що утворює передумови для інтенсивного перемішування компонентів гумової суміші.

2.1.2. Поле тисків і швидкостей в робочій камері

Тиск в камері змішувача наряду з інтенсивністю зсувного деформування є одним з найбільш важливих факторів при виготовленні гумових сумішей. Однак, слід відзначити, що верхній затвор не створює постійного гідростатичного тиску у всьому об'ємі камери, оскільки вона буває заповнена сумішшю лише на 60-70%. Верхній затвор сприяє створенню тиску лише в локальній області I, Рис. 2.2, деформування суміші і перешкоджає її виходу в горловину завантажувальної воронки. При збільшенні тиску на суміш з боку верхнього затвору збільшується інтенсивність перемішування і росте продуктивність процесу змішування. Тиск верхнього затвору в реальному процесі змішування становить не більше 0,5-0,7 МПа, однак експериментальні дослідження показали, що тиск суміші на стінки камери в серповидному зазорі при обертанні роторів може досягати значень, в

десятки разів більших. Ця обставина свідчить про те, що в процесі деформування гумової суміші крім зсувних розвиваються і значні нормальні напруги, пов'язані з гідродинамічним збільшенням тиску в клиноподібній області серповидного зазору.

Розглянемо механіку деформування гумової суміші в серповидному зазорі, утвореному двома робочими поверхнями: циліндричною поверхнею камери з центром колового перетину O_1 і поверхнею лопаті ротора, яка також має в нормальному перетині форму кола з центром в точці O_2 (Рис. 2.3). Ротор обертається з частотою N_p . Зона захоплення суміші характеризується максимальним зазором H , а зона стиснення має мінімальний зазор h_0 утворений майданчиком гребеня і стінкою камери. Рух матеріалу в даному зазорі відбувається зі зміною геометричних параметрів з H/h_0 до $H/(R\phi_p)$.

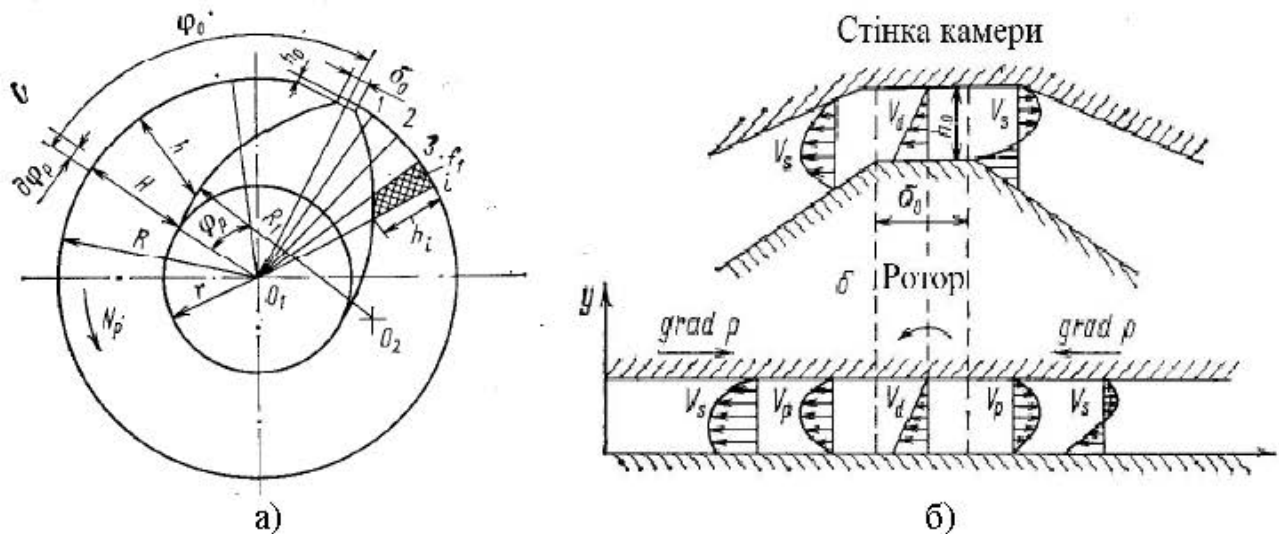


Рис. 2.3 Схема деформування (а) і профілі швидкостей в зазорі між гребнем ротора та корпусом (б) і їх розгортка (в). (Пояснення в тексті).

Для більшості сучасних конструкцій гумозмішувачів ці параметри дорівнюють 25-35 і 0,21-0,25 відповідно.

За умови зсувної одновимірної течії рідини з постійною в'язкістю η в ізотермічних стаціонарних умовах без урахування проковзування та пружних властивостей гумової суміші можна записати рівняння Нав'є - Стокса для простого зсуву:

$$\frac{\partial p}{\partial (R\phi_p)} = \eta \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \quad (2.1)$$

де $R\phi_p = x$ – координата довжини перетину камери в серповидному зазорі.

Проінтегрувавши (2.1) як рівняння зі змінними, з урахуванням граничних умов одержуємо:

$$\frac{\partial V_x}{\partial y} = \frac{2\pi RN_p}{h} + \frac{y}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{h}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.2)$$

Перший доданок у формулі (2.2) характеризує розподіл швидкостей вимушеного потоку, а другий та третій – розподіл швидкостей баричного потоку.

Для пристінного шару $y=h$ отримуємо:

$$\left(\frac{\partial V_x}{\partial y}\right)_w = \frac{2\pi RN_p}{h} + \frac{h}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.3)$$

Помноживши обидві частини рівняння на η , знаходимо:

$$\tau_w = \frac{2\pi RN_p}{h} \eta + \frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \text{ або } \tau_w = \tau_d + \tau_p \quad (2.4)$$

де τ_w , τ_d та τ_p – сумарна напруга зсуву біля стінки, від вимушеного потоку і від баричного потоку відповідно.

Зі зменшенням $h(\varphi_p)$ значення τ_d зростає, а значення τ_p при постійному $\partial p/\partial x$ знижується. Тому величина τ_w виявляється практично не залежною від кута повороту ротора.

Експериментальне вивчення розподілу тиску p в серповидному зазорі показало, що p збільшується від нуля на вході в зазор до p_{\max} на ділянці з висотою зазору h_0 . Тиск p практично пропорційний куту повороту φ_p : $p = kR\varphi_p$

Якщо прийняти, що $k = \partial p/\partial(R\varphi_p)$ – приріст тиску по куту φ_p , то при $\varphi_p = \varphi_0$ попередній вираз спрощується і набуває вигляду

$$p_{\max} = R\varphi_0 \frac{1}{R} \frac{\partial p}{\partial \varphi_p} = \varphi_0 \frac{\partial p}{\partial \varphi_p} \quad (2.5)$$

Таким чином, значення p_{\max} не залежить від розміру камери змішувача R , а визначається лише значеннями φ_0 і $\partial p/\partial \varphi_p$. Величина приросту тиску за кутом повороту (величина $\partial p/\partial \varphi_p$) залежить від геометрії серпоподібного зазору і від відстані між точками O_1 і O_2 . На практиці можна прийняти $\partial p/\partial \varphi_p \approx 2$ МПа/рад. При вивченні реологічної поведінки гумових сумішей був експериментально встановлений взаємозв'язок між тиском p і напруженням зсуву τ в будь-якій точці об'єму, $p = 3\tau$

З врахуванням степеневого закону $\tau = m \cdot \dot{\gamma}^n$, отримуємо: $p = 3m\dot{\gamma}^n$, де n і m – індекс течії та показник консистенції полімеру.

Визначивши швидкість зсуву в зазорі h_0 як $\dot{\gamma} = \pi RN_p / (30h_0)$ отримаємо вираз для розрахунку p_{\max} з урахуванням реологічних властивостей гумової суміші:

$$p_{\max} = 3m\pi^n R^n N_p^n / (30h_0^n) \quad (2.6)$$

2.1.3. Визначення енергосилових параметрів

Зусилля зсуву на стінці камери визначається за формулою:

$$T = \tau_w S_k \quad (2.7)$$

де S_k – площа контакту полімеру з поверхнею камери в серповидному зазорі, що дорівнює $S_k = \varphi_p R(L_1 + L_2)Z\xi_k$ (тут L_1 і L_2 – довжини проєкцій короткою і довгою лопатей ротора на його вісь; Z – число пар лопастей ротора; $\xi_k = 0,75$ – коефіцієнт використання робочої поверхні).

Для визначення крутного моменту на валу ротора може бути використано вираз:

$$M_k = \tau_w S_k R \quad (2.8)$$

Потужність на валу ротора знаходять із співвідношення:

$$W_p = 2\pi M_k N_p = 2\pi \tau_w S_k R N_p \quad (2.9)$$

По виразу (1.9) можна проводити наближену оцінку споживаної потужності при змішуванні. Значення τ_w , розраховується за (1.4) з врахуванням, що:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial(\varphi_p)} \frac{1}{R} \approx 2 \frac{1}{R} \text{ (МПа/м) та } h = (H + h_0)/2$$

Для більш точних параметричних розрахунків по визначенню витрат потужності (κBm) в закритому двороторному гумозмішувачі слід скористатися рівнянням:

$$W_p = 2 \left(\frac{\pi \omega_{cp}}{60} \right)^{n+1} \left\{ \left[l_1 (0.5^{n+1} + 0.865^{n+1}) + 2l_2 0.705^{n+1} \right] F + \left(\frac{D_{kp}}{h_0} \right)^{n+1} h_0 \delta_0 (l_1 + l_2) \right\} \quad (2.10)$$

де $\omega_{cp} = (\omega_1 + \omega_2)/2$ (тут ω_1 і ω_2 – кутові швидкості переднього і заднього валків, c^{-1}); n – реологічна константа; l_1 і l_2 – довжини довгого і короткого гребенів ротора відповідно, m ; D_{kp} – діаметр гребня ротора по кромці, m ; δ_0 – ширина кромки, m .

Величина F (m^2) визначається за формулою:

$$F = \sum_{i=1}^{n_e} \left(\frac{D_k}{h_i} - 2 \right)^{n+1} f_i \quad (2.11)$$

де n_e – число елементів, на яке розбивається об'єм зазору між ротором і стінкою камери ($n_e \approx 14 \div 28$); D_k – внутрішній діаметр камери, m ; h_i – зазор між гребнем ротора та камерою для i -го елемента, m ; f_i – площа перерізу i -го елемента, m^2 .

Продуктивність гумозмішувача періодичної дії із закритою камерою змішування:

$$G = 60 v_1 \rho \alpha_m / t_{\Pi} \quad (2.12)$$

де v_1 – об'єм завантаження матеріалу в камеру; $v_1 = (0,5 \div 0,6) v_k$ (тут v_k – об'єм камери); ρ – щільність гумової суміші; α_m – коефіцієнт використання машинного часу ($\alpha_m = 0,8 \div 0,9$); t_{Π} – тривалість циклу змішування.

Час t_{Π} може бути визначений за наступним співвідношенням:

$$t_{\Pi} = t_{3M} + t_B \quad (2.13)$$

де t_{3M} – час змішування, який зазвичай визначається дослідним шляхом в залежності від властивостей композиції, конструкції гумозмішувача і технологічних параметрів процесу змішування ($t_{3M} = 2 \div 10$ хв); t_B – час допоміжних операцій, хв. Він зазвичай становить $(0,1 \div 0,15) t_{3M}$.

2.2. Конструкція та основи розрахунку вузлів та деталей роторних змішувачів на міцність. Гумозмішувачі безперервної дії

2.2.1. Конструкція та розрахунок змішувальної камери

Робоча камера змішувача, Рис. 2.4, складається з двох напівциліндричних гільз 1, виготовлених із зносостійких нержавіючих сталей, вставлених в жорсткий товстостінний корпус півкамер 2, що мають ребра жорсткості 3. Матеріалом для виготовлення корпусів півкамер 2 служить сталеве лиття марки 45Л. Обидві півкамери скріплюють за допомогою чавунних або сталевих боковин 5 болтами 4. У ряді конструкцій при виготовленні камери змішувача проводиться зміцнення її поверхні шляхом наплавлення твердого сплаву. В іншому варіанті конструктивне оформлення робочої камери змішувача представляє собою цільну литу конструкцію з порожнинами для охолодження, Рис. 2.5.

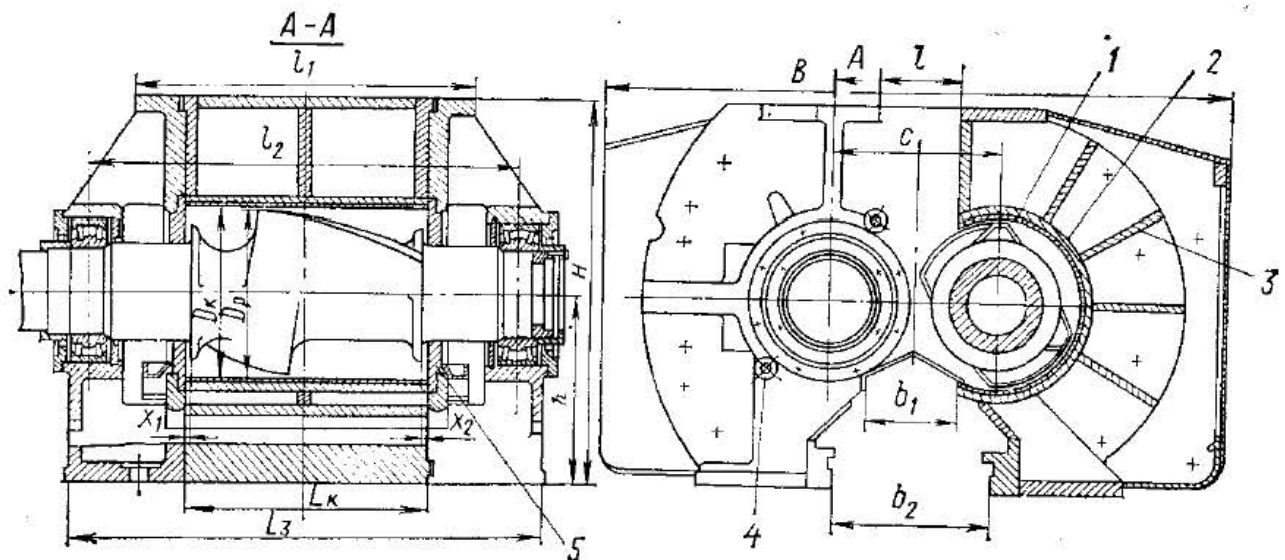


Рис. 2.4 Конструкція робочої змішувальної камери гумозмішувача:
1 – оболонка; 2 – корпус півкамери; 3 – ребро жорсткості; 4 – болт; 5 – боковина

Розрахунок на міцність змішувальної камери зводиться до визначення напружень в стінках півкамер, товщина яких приймається рівною 0,10-0,12 радіуса кривизни циліндричної поверхні. Півкамери, закріплені в боковинах, розглядають як рівномірно навантажену балку, на двох опорах, Рис. 2.5. Перетин балки являє собою фігуру, складену з двох жорстко пов'язаних півкілець: півкілець 1 (оболонка) і півкілець 2 (корпус), між якими розташована порожнина для введення охолоджуючої рідини.

Напруження від згинаючого моменту визначається за формулою:

$$\sigma_z = (M_z / I_x) y_{\max} \quad (2.14)$$

Згинаючий момент M_z обчислюємо наступним чином:

$$M_3 = TL_K/8 \quad (2.15)$$

де $T = M_p f / r_1$; тут $M_p = M_k K_n$ – розрахунковий обертовий момент на валу ротора; $K_n = 1,7$ – коефіцієнт перевантаження в момент запуску гумозмішувача; $f = 0,04$ – коефіцієнт тертя гуми по сталі; r_1 – радіус камери; L_k – довжина камери.

Геометричні характеристики складного перетину, утвореного двома півкільцями, визначаємо за наступними формулами:

$$\rho = (F_1 y_1 + F_2 y_2) / (F_1 + F_2) \quad (2.16)$$

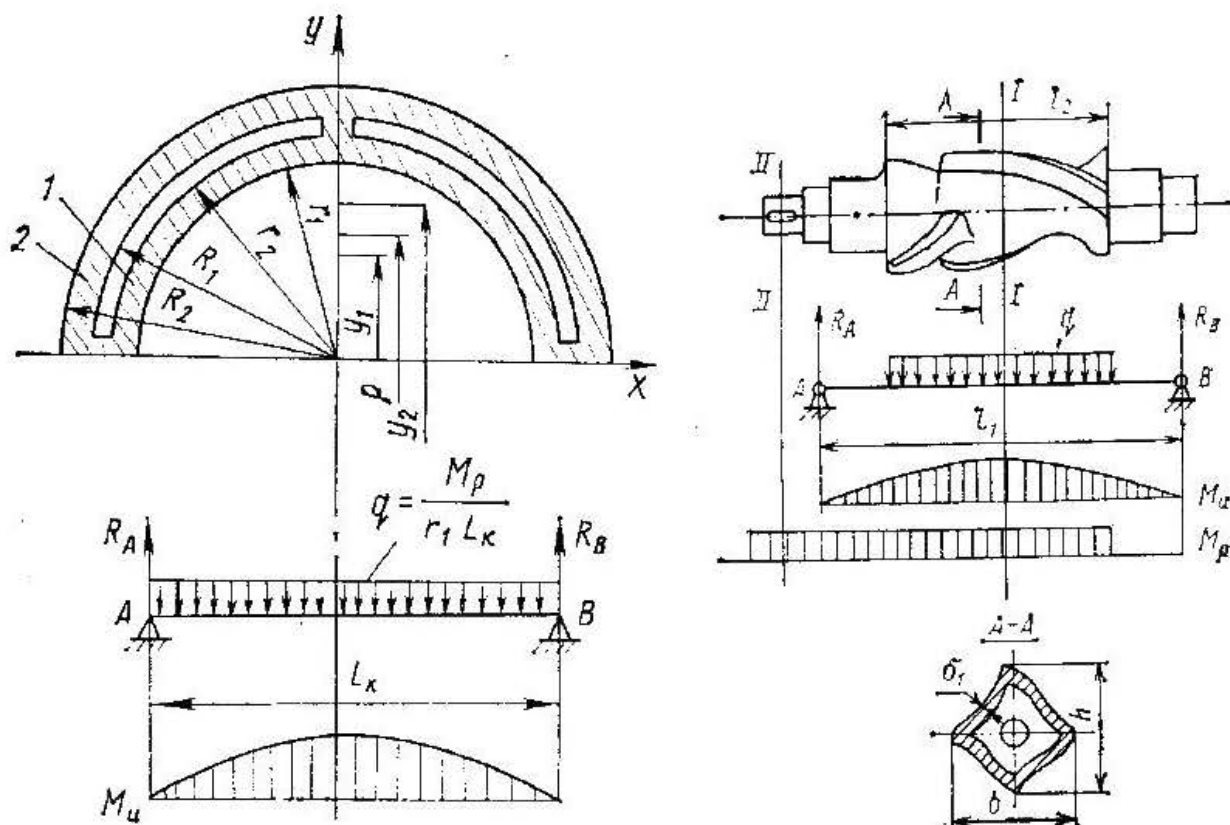


Рис. 2.5 Розрахункова схема робочої камери та роторів змішувача.
(Пояснення в тексті)

$$F_1 = \pi(R_2^2 - R_1^2)/4; \quad F_2 = \pi(r_2^2 - r_1^2)/4 \quad (2.17)$$

$$y_1 = \frac{4 R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2}{3\pi (R_1 + R_2)} \quad y_2 = \frac{3 r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2}{4\pi (r_1 + r_2)} \quad (2.18)$$

Вісьовий момент інерції I_x перетину камери щодо вісі x дорівнює:

$$I_x = I_1 + a^2 F_1 + I_2 + a^2 F_2 \quad (2.19)$$

де вісьовий момент інерції внутрішнього півкільця:

$$I_1 = \pi(r_2^4 - r_1^4)/8$$

і вісьовий момент інерції зовнішнього півкільця становить:

$$I_2 = \pi(R_2^4 - R_1^4)/8$$

a_1 і a_2 – геометричні параметри, які визначаються за співвідношеннями:

$$a_1 = \rho - y_1; \quad a_2 = y_2 - \rho$$

Напруження від згинаючого моменту визначаємо на внутрішній ($y_{\max} = \rho$) та зовнішній ($y_{\max} = R_2 - \rho$) поверхнях складеної півкамери за співвідношеннями:

$$\sigma_{u1} = (M_u / I_x) \rho < [\sigma] \quad (2.20)$$

$$\sigma_{u1} = (M_u / I_x) (R_2 - \rho) < [\sigma]$$

де $[\sigma] = \sigma_B / n_B$ ($\sigma \approx 500$ МПа, $n_B = 3$ для сталі 45Л).

2.2.2. Основи конструювання та розрахунку роторів на міцність

Ротори гумозмішувача є головними робочими органами машини, а їх зовнішня конфігурація зумовлює перемішуючу здатність обладнання в цілому. У вітчизняній промисловості знайшли застосування ротори овального поперечного перерізу з довгим та коротким гребнями, або з 4 гребнями, (Рис. 2.5, переріз А-А). Геометричну побудову роторів-змішувачів описано в спеціальній літературі.

Ротори виготовляються цільними (гребнева частина відливається заодно з цапфами). Їх відливають зі сталі марок 35ЛП і 45ЛП. З метою зміцнення поверхні на лопаті наварюють твердий сплав.

Розрахунок на міцність ротора проводиться з урахуванням значення потужності W_p , споживаної на перемішування. Розподіл потужності між тихохідним W_t , і швидкохідних W_b роторами проводиться пропорційно частотам їх обертання N_t і N_b :

$$W_b = W_p \frac{N_b}{N_b + N_m} \quad W_m = W_p \frac{N_m}{N_b + N_m} \quad (2.21)$$

Так як розміри і конфігурація гребенів роторів однакові, то можуть бути прирівняні і обертовий момент M_p , що передаються роторами:

$$M_p = 97,4 \frac{W_b}{N_b} = 97,4 \frac{W_m}{N_m} \quad (2.22)$$

На фігурну частину ротора впливають такі силові фактори: рівномірно розподілене навантаження від опру суміші q_m і від дії верхнього затвору q_T (див. Рис. 2.5) і крутний момент M_p діючий по всій довжині ротора.

Рівномірно розподілене навантаження від опору суміші q_m становить:

$$q_m = M_p / (R_{\max} l_2) \quad (2.23)$$

де R_{\max} – максимальний радіус ротора, l_2 – довжина фігурної частини ротора.

Рівномірно розподілене навантаження від дії верхнього затвору q_T дорівнює:

$$q_T = Q_B / (2l_2) \quad (2.24)$$

де Q_B – зусилля, що створюється пневмоприводом верхнього затвора.

Крім поперечних навантажень і крутного моменту на кожен з роторів діють також вісьові навантаження, прикладені до гвинтових поверхонь короткої та довгої лопатей. Ці навантаження при правильно обраній геометрії лопатей повинні зрівноважувати одне одного.

Для перетину $I-I$ напруги σ_T від згинаючого моменту з урахуванням пускового перевантаження визначаються за формулою:

$$\sigma_I = (K_n M_u / I) y_{\max} \quad (2.25)$$

де K_n – коефіцієнт перенавантаження, $y_{\max} = h/2$.

Вісьовий момент інерції поперечного перерізу фігурної частини можна наближено обчислити таким чином:

$$I = [Fh / (6b)] [S + F(b - h) / (bh)] \delta_1 \quad (2.26)$$

де F – площа всередині зовнішнього контуру поперечного перерізу ротора, m^2 ; h та b – висота і ширина перетину, m ; S – довжина периметра стінки ротора, m ; δ_1 – товщина стінки, m .

Напруження від обертового моменту M_p в перерізі $I-I$ визначається як:

$$\tau_k = M_p / (2\delta_1 F) \quad (2.27)$$

Результуючі напруження:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_k^2} < [\sigma] = \sigma_T / n_s \quad (2.28)$$

Запас міцності n_s по опору пластичному деформуванню в перерізі $I-I$ для сталі 45ЛП приймається рівним 0,6.

У перетині ротора $II-II$ діє тільки крутний момент M_p тому напруження τ_k обчислюється за формулою:

$$\tau_k = M_p / W'_p < [\tau_k] = \tau_{-1} / n_T \quad (2.29)$$

де W_p – полярний момент інерції; τ_{-1} – межа втоми при крученні; n_T – коефіцієнт запасу усталеної міцності при крученні: для сталі 45ЛП $\tau_{-1} = 130 \text{ МПа}$, $n_T > 2,2$.

$$W'_p = \pi D_{ш}^3 / 16 - b_n h_n (2D_{ш} - h_n) / (8D_{ш}) \quad (2.30)$$

де $D_{ш}$ – діаметр шийки ротора під універсальний шпіндель; $b_{ш}$, $h_{ш}$ – ширина шпоночного пазу та висота шпонки відповідно.

2.2.3. Гумозмішувачі безперервної дії

Гумозмішувачі безперервної дії працюють таким чином: в циліндрі, що представляє змішувальну камеру, обертаються змішувальні робочі органи, які перемішують суміш і просувають її із зони завантаження в зону виштовхування. Використання таких змішувачів дозволяє практично виключити негативний вплив від допоміжних операцій циклу змішування (завантаження і вивантаження), на продуктивність і зменшити капітальні витрати. Основним недоліком змішувачів безперервної дії є висока чутливість до точності дозування і рівномірності подачі вихідних компонентів.

Змішувачі безперервної дії можна розділити на дві групи: черв'ячні і роторні. Конструкція робочих органів змішувачів обох груп повинна забезпечувати змішування шляхом створення максимальної площі контакту компонентів за умов інтенсивного зсувного деформування.

Гумозмішувачі безперервної дії черв'ячного типу бувають одно-, дво-, і багаточерв'ячними. Одночерв'ячний гумозмішувач, приведений на Рис.2.6, призначений для роботи в одній технологічній лінії з гумозмішувачем періодичної дії, який здійснює першу стадію змішування.

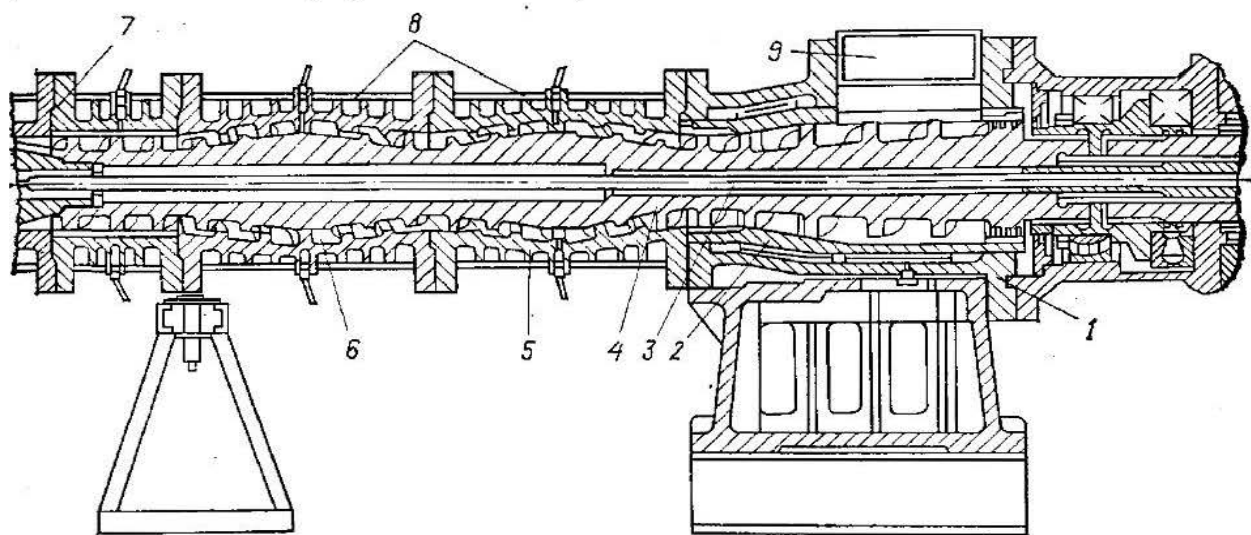


Рис. 2.6. Схема одночерв'ячного гумозмішувача безперервної дії:

- 1 - корпус; 2 - гільза; 3 - система охолодження; 4 - черв'як; 5 - секція змішування I;
6 - секція змішування II; 7 - секція видавлювання; 8 - оболонка охолодження;
9 - проштовхувач

Корпус гумозмішувача складається з декількох секцій, що виконують різні технологічні функції. З гумозмішувача періодичної дії підготовлена маточна суміш надходить через завантажувальний отвір, оснащений штовхачем 9, в простір між черв'яком 4 і корпусом 1 завантажувальної секції. Черв'як 4 і гільза 2 в зоні завантаження матеріалу мають конічну геометрію, завдяки чому при обертанні черв'яка відбувається інтенсивне стиснення матеріалу і його нагнітання в першу

секцію змішування 5, стінки корпусу якої також оснащені нарізкою. Підвищення інтенсивності змішування досягається за рахунок переходів суміші з міжвиткового простору черв'яка в нарізку корпусу з подальшим поверненням до нарізки черв'яка. При прямому і зворотному переходах частина суміші затримується та змішується з наступною порцією. Таким чином, крім звичних для одночерв'ячних машин траєкторій руху частинок матеріалу в даній конструкції змішувача має місце переміщення частинок суміші в напрямку, перпендикулярному вісі черв'яка, що підсилює змішувальний ефект. Для поліпшення перемішуючого впливу на матеріал в гумозмішувачах такого типу є декілька таких секцій змішування 6, які розташовані перед секцією видавлювання 7.

Для відводу зайвих тепловиділень корпус черв'ячного гумозмішувача забезпечений оболонкою охолодження 8 і системою охолодження черв'яка 4.

Інтенсивність змішування і диспергування матеріалу залежить від числа секцій змішувача, конструкції нарізки черв'яка, величини зазорів між гребенями нарізки, тощо.

Використання дво- і багаточерв'ячних змішувачів сприяє посиленню перемішуючого впливу і з цієї точки зору є перспективним.

Прикладом машини безперервної дії роторного типу може служити гумозмішувач типу ФКМ «Фаррел» (Рис. 2.7).

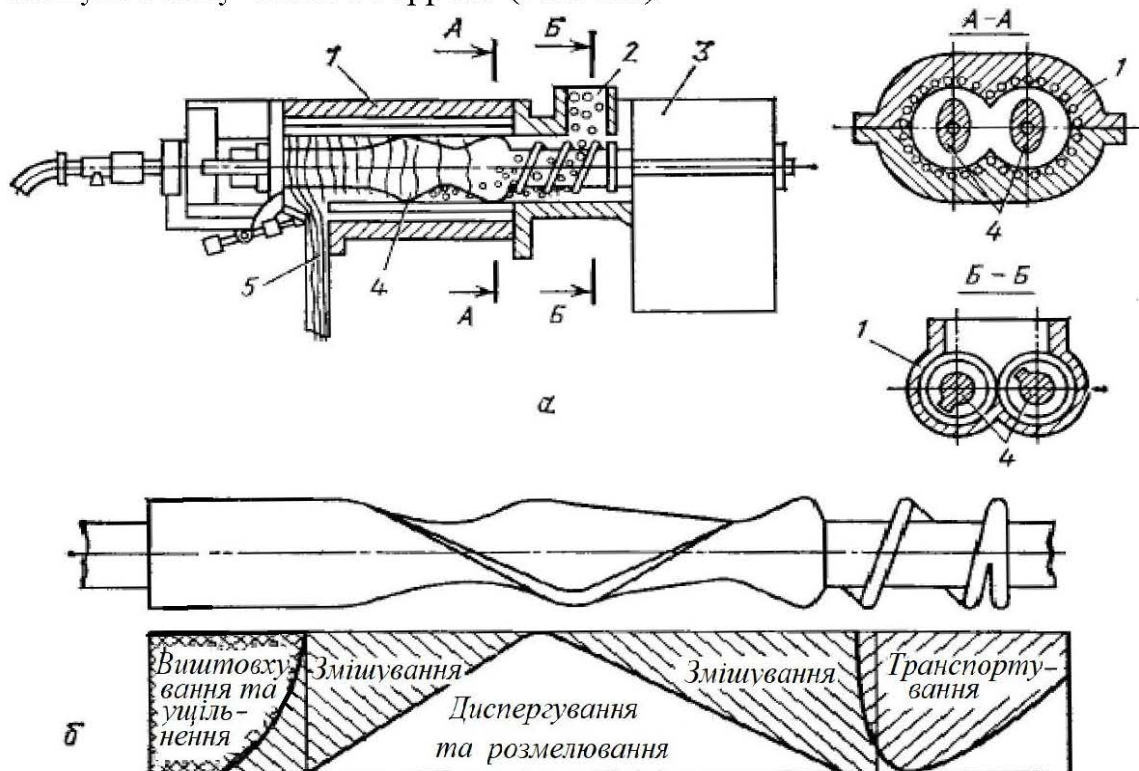


Рис. 2.7 Двороторний гумозмішувач безперервної дії типу ФКМ «Фаррел»
 а – конструктивна схема (1 – корпус, 2 – завантажувальна воронка, 3 – привід, 4 – ротори, 5 – розвантажувальний отвір); б – схема протікання різноманітних процесів змішування

Цей змішувач складається з двох роторів фасонного типу 4 (хоча б на одному з роторів виконуються ділянки черв'ячної навивки в зонах завантаження та видавлювання), які обертаються від приводу 3 в корпусі 1. Інгредиенты суміші автоматично надходять в агрегат через завантажувальну воронку 2 і подаються нарізкою зони транспортування ротора в зону змішування, Рис. 2.76. У цій зоні матеріал піддається різним видам обробки: розмелювання і диспергування при інтенсивному зсувному деформуванні в зазорах між гребнями роторів та корпуса завдяки особливій геометрії роторів, змішанню і поперечному переміщенню з однієї частини камери в іншу. При досягненні певної міри гомогенності суміші маса виштовхується з змішувача через розвантажувальний отвір 5 з регульованим (подібно клапану) перетином.

При конструюванні гумозмішувачів безперервної дії особлива увага приділяється системам дозування всіх компонентів гумових композицій.

2.3. Устаткування для складання шин. Конструкції складальних станків, барабанів, механізмів обробки буртів і прикатчиків

Існують три основні способи складання шин: браслетний, пошаровий і комбінований. Всі ці способи мають на меті складання з різних складових заготовки шини (напівфабрикату), що надходить в подальшому на формування і вулканізацію. Браслетний спосіб збирання передбачає попереднє виготовлення готових каркасних і брекерних браслетів, що складаються з декількох шарів невулканізованої гуми, корду, тощо, які послідовно надягають на складальний барабан і прикочуються. При пошаровому способі на барабан одягаються окремі шари корду та брекера, які потім піддаються прикатці. Комбінований спосіб відрізняється тим, що одні деталі для каркаса надходять у вигляді шарів, а інші є у вигляді браслетів.

В шинній промисловості використовується класифікація методів збирання в залежності від конструкції складального барабана та способу збирання заготовки шини: дорновому, напівдорновому та напівплощинному (Рис. 2.8). Дорновий спосіб (Рис. 2.8, а) характеризується тим, що шина 2 в процесі складання набуває тороїдальну форму дорнового барабана 1 близьку до тієї, яку вона має після вулканізації в готовому вигляді.

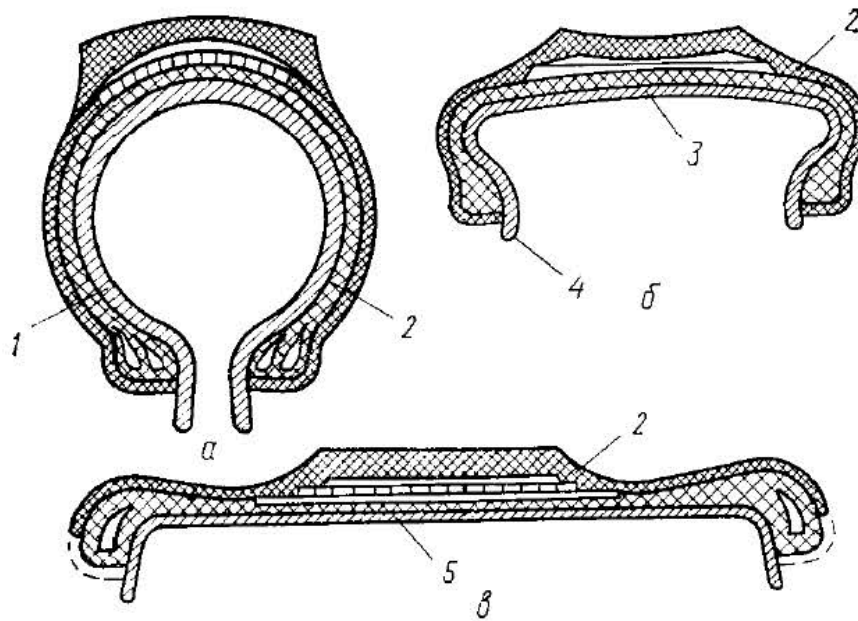


Рис. 2.8 Схема способів складання шин: на дорновому (а), напівдорновому (б) і напівплощинному (в) барабанах: 1 – дорновий барабан; 2 – шина; 3 – напівдорновий барабан; 4 – борт; 5 – напівплоский барабан

Напівдорновий спосіб (Рис. 2.8, б) полягає в тому, що велика частина покритки формується на барабані 3 у вигляді кільця після складання якого шині надається тороїдальна форма.

При напівплощинному способі (Рис. 2.8, в) форма зібраної заготовки виходить ще більш плоскою, ніж при складанні напівдорновим способом.

2.3.1. Конструкція складальних станків

Складальний верстат являє собою агрегат, що складається їх об'єднаних загальною рамою механізмів: зберігання та подачі деталей і заготовок, їх центрування і накладення одна на одну, формування, приводу і системи управління. Складальні верстати для автошин, незважаючи на відмінності в технології і методах збирання, в конструктивному виконанні окремих механізмів, мають практично однотипну компоновку. Як приклад розглянемо конструкцію верстата, призначеного для складання шин на напівплощинному барабані з бортом діаметром від 300 до 406 мм (Рис. 2.9). До основних вузлів верстата відносяться: права станина (група) 1, ліва станина (група) 4, головний вал 16 з барабаном 15, механізм обробки борту 11, додатковий барабан 18, механізм нижніх прикатчиків 3.

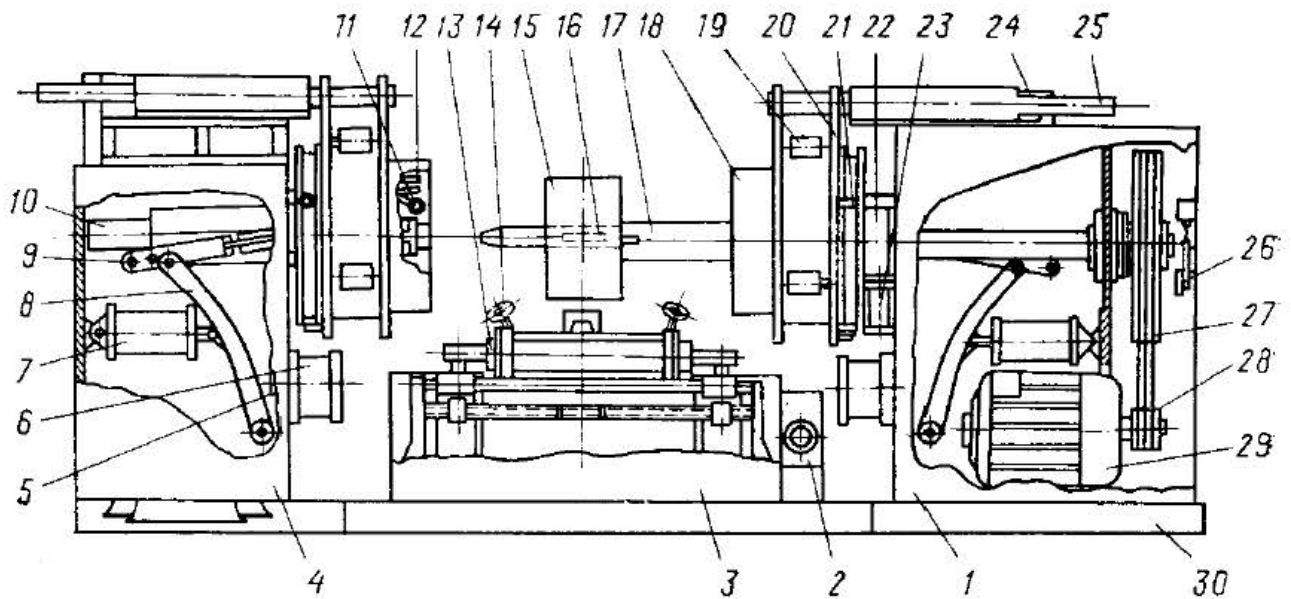


Рис. 2.9 Верстат для складання шин (Пояснення в тексті)

Права станина 1 являє собою зварену конструкцію коробчастого типу, в якій розміщені асинхронний двигун 29, клинопасова передача 27, 28 приводу головного валу 16. Співвісно з головним валом розташовані гальмівна трубка 17 з гальмом 22. Додаткові барабани 18 знаходяться праворуч і ліворуч від складального барабана і мають можливість пересуватися по напрямних 25 з допомогою пневмоприводу 24. Висувний вал 10 лівої групи служить для з'єднання з головним валом при обробці борта на лівому додатковому барабані. У станині лівої групи закріплений привід обробки бортів, що складається з пневмоциліндра 7, важеля 8, тяги 9, з'єднаної з механізмом обробки бортів 11. Пневмофіксатор 5 з приводом 6 служить для забезпечення автоматичного циклу роботи механізму обробки бортів. Під складальним барабаном розташовані прикатчики, що складаються з приводу 2, вала 13 і роликів 14. У правій частині (станині) є аналогічний механізм обробки другого борта покритки.

Порядок виконання складальних операцій на верстаті наступний. На шаблон 12 надягають крила шини і складальний барабан розгортається (розкривається) в робоче положення та проводиться укладка шарів сирової гуми та корду при обертанні барабана з частотою 1 об/хв. Після накопчення шарів корду додаткові барабани відводяться та механізми обробки обжимають шари корду на нерухомому барабані за допомогою важелів і кільцевої пружини. Далі проводиться посадка крила і після відведення шаблонів важелі з кільцевою пружиною загортають шари корду на циліндричну частину барабана: ці шари накочуються механізмом прикатчика та шина знімається.

2.3.2. Складальні барабани

Складальний барабан є одним з основних вузлів верстата для складання заготовки шини та в значній мірі визначає кінцеву якість зібраних шин, можливість механізації технологічних операцій їх виготовлення та знімання, поліпшення умов і підвищення продуктивності праці. В даний час є значна

кількість конструктивних різновидів складальних барабанів, призначених для складання шин з діагональним і радіальним розташуванням корду. Розглянемо найбільш характерні конструкції цих механізмів.

Чотирисегментний складальний барабан напівплощинного типу (Рис. 2.10) складається з чотирьох сегментів 14, які в розгорнутому положенні утворюють циліндричну поверхню. Сегменти за допомогою шарнірів укріплені на хрестовині 3 і після розгортання закріплюються важелями 11 і 10. Муфта 5 на валу служить шарнірною опорою для цих важелів. Хрестовина 3 жорстко закріплена на головному валу верстата, а муфта 5 - на підлогодю валу верстата 6. Таким чином положення сегментів 14 (розгорнуте або складене) залежить від взаємного розташування хрестовини 3 і важеля муфти 5. При розгортанні барабана заслінки 2 фіксують взаємне положення хрестовини і важеля муфти.

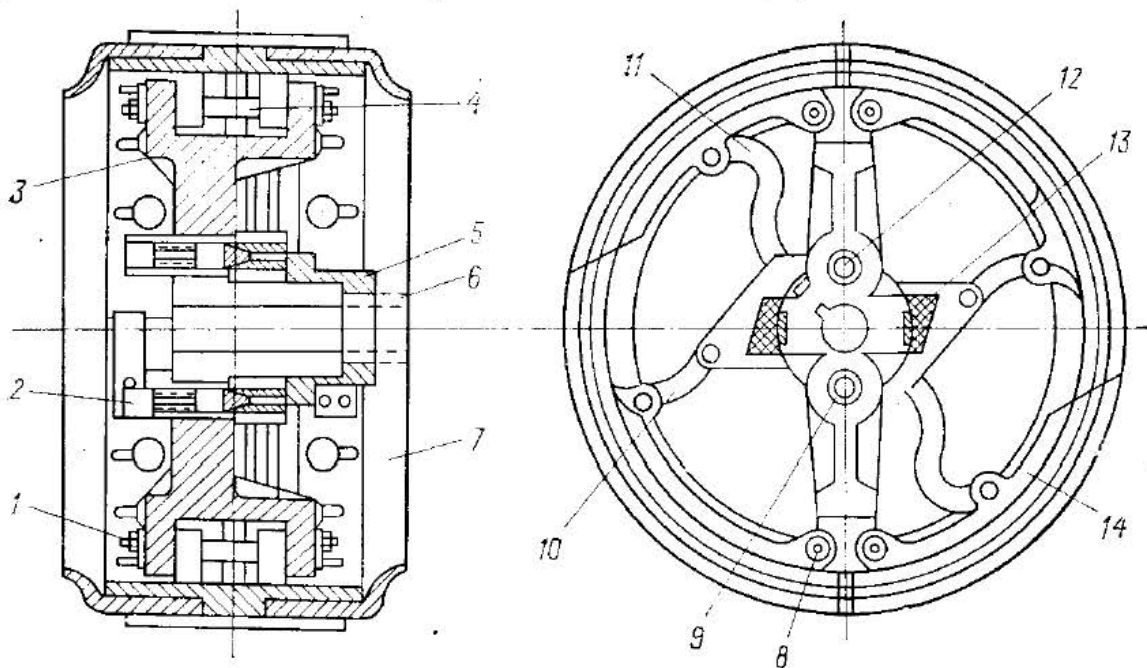


Рис. 2.10 Напівплоский чотирисегментний барабан:

1 - пристрій для змащення осей; 2 - заслінка; 3 - хрестовина; 4, 8, 9, 12 - вісі;
 5 - важільна муфта; 6 - порожнистий вал; 7 - бічні сегменти; 10, 11 - важелі;
 13 - гумовий амортизатор; 14 - сегмент

Гумові амортизатори 13 запобігають удару деталей одна об одну при складанні барабана. Після складання барабана найбільший зовнішній діаметр описаного кола складеного барабана повинен бути менший діаметра бортової частини шини для забезпечення умов її знімання з барабана.

Чотирисегментний барабан широко використовується в промисловості поряд з його модифікацією - шестисегментною. Напівдорновий барабан принципово відрізняється від напівплощинного наявністю знімних плічок для установки бортових кілець в незмінному заданому положенні. Розповсюджені важельно-шарнірні конструкції напівдорнових барабанів з інерційним принципом дії механізму їх складання.

Останнім часом набули поширення так звані «розтискні» складальні барабани з пневмоважільним приводом, Рис. 2.11. Основною відмінністю процесу складання на

цьому барабані є зміна в ході роботи його діаметра. Він складається з сегментних планок 9, закріплених на повзунах 10, що утворюють в стислому стані циліндричний барабан. Еластична гумова оболонка 7 служить для рівномірного розтягування гумованого корду по поверхні барабана. Регулювання діаметра барабана здійснює пневмоважільний привід, що включає в себе пневмоциліндр 6 з двома поршнями 5, пов'язаними з важелями 1. Між поршнями 5 і кришками 2 встановлені пружини 3 повернення поршнів. Повітря в порожнині між поршнями 5 подається по трубці, що проходить всередині вала 4. При подачі стисненого повітря в порожнину між поршнями 5 останні починають розходитися, стискаючи пружини 3, а важелі 1 розводять повзуни 10 з планками 9.

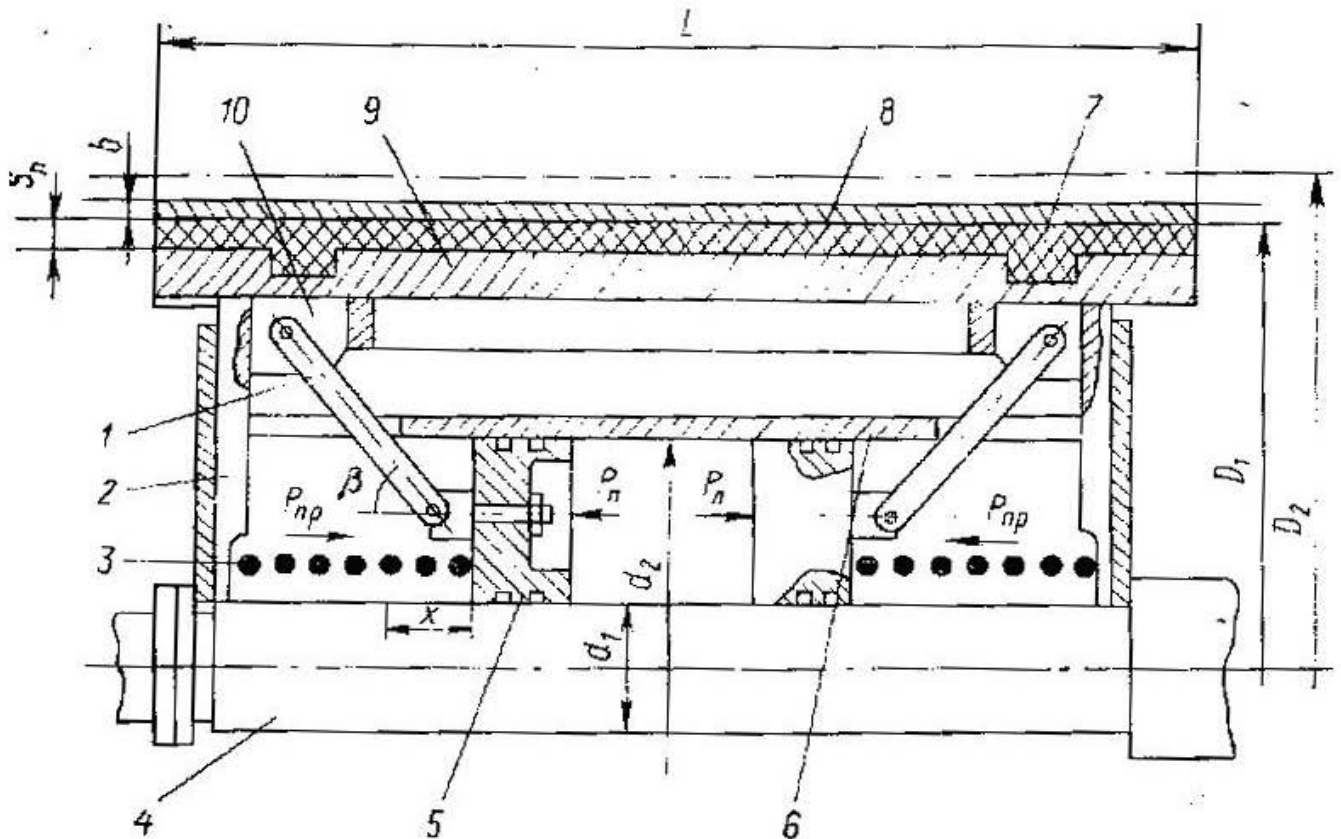


Рис. 2.11 Схема «розтискного» складального барабана:

1 - важіль; 2 - кришка; 3 - пружина; 4 - вал; 5 - поршень; 6 - пневмоциліндр;
7 - оболонка; 8 - браслет; 9 - планка; 10 - повзун

У процесі складання покришки барабан даної конструкції крім функції пристосування, що полегшує складання, набуває функцію робочого органу, що здійснює розтягування складових шини і створення в них пружних сил, які сприяють з'єднанню всіх деталей і заготовки шини за рахунок адгезії.

Розрахунок механізму «розтискання» такого барабана включає визначення зусилля $P_{п}$, що розвивається поршнем 5 в процесі складання. Умовою працездатності розглянутого механізму є нерівність виду:

$$2P_{п} > (P_{м} + P_{рп}) / \operatorname{tg} \beta + 2P_{пр} + 2P_{тр} \quad (2.31)$$

де P_m і P_{rp} – сили впливу на барабан з боку деталей шини і гумової еластичної оболонки складального барабана; β – геометричний параметр; $P_{пр}$ – зусилля, що розвивається пружиною; $P_{тр}$ – втрати зусилля $P_{п}$ на тертя.

Для розрахунку величин, що входять в нерівність (1.1), можна використовувати наступні рівняння.

Для розрахунку $P_{п}$:

$$P_{п} = \pi(d_2^2 - d_1^2)p_b / 4 \quad (2.32)$$

де d_1 і d_2 – внутрішній та зовнішній діаметри пневмоциліндра b (див. Рис. 2.12); p_b – тиск в пневмосистемі ($p_b = 0,4 \div 0,6$ МПа).

Для розрахунку P_{rp} :

$$P_{rp} = \left[Gd_{np}^4 / (2D_{np}^4 n) \right] (\Delta + x) \quad (2.33)$$

де G – модуль пружності матеріалу пружини; d_{np} – діаметр проволочки; D_{np} – середній діаметр витка пружини; n – число витків; Δ – початкове стиснення пружини; x – хід поршня.

Для розрахунку P_m :

$$P_m = P_{my} + P_{mt} \quad (2.34)$$

де P_{my} – сила пружності матеріалу (гумованого корду); P_{mt} – сила тертя між матеріалом і поверхнею барабана.

Величина P_{my} в (1.4) рівна

$$P_{my} = 2bk_1k_2y\pi L \quad (2.35)$$

де b і L товщина та ширина (початкові) браслета на барабані; ε – відносна деформація розтягування матеріалу, рівна $\varepsilon = (D_2 - D_1) / D_1$ (тут D_1 та D_2 – початковий і кінцевий діаметри браслета).

Величини k_{1y} і k_{2y} в рівнянні (1.5) складають:

$$k_{1y} = E / (1 - \mu^2), \quad k_{2y} = 1 - \mu / \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (2.36)$$

де E – модуль пружності матеріалу; μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу; α – кут, утворений нитками корду та лінією, перпендикулярною утворюючій барабана.

Величина P_{mt} в (1.4) визначається як:

$$P_{mt} = \frac{4bk_1k_2y\pi fL}{D_1} \left(\frac{L}{\operatorname{tg}^2 \alpha} + \pi D_1 \right) \varepsilon \quad (2.37)$$

Для розрахунку P_{pn} :

$$P_{pn} = 2S_n \pi E \varepsilon L / (1 - \mu^2) \quad (2.38)$$

де S_n – товщина еластичної оболонки.

2.3.3. Механізм обробки борта заготовки шини

Після проведення технологічних операцій накладання і накочення шарів гумованого корду починається формування бортової частини заготовки шини, здійснюване спеціальними пристроями – механізмами обробки бортів. Одна з конструкцій такого механізму універсального призначення представлена на Рис. 2.12. Механізм встановлюється в правій та лівій групах верстата співвісно з головним валом і за допомогою пневмоциліндра 9 може переміщуватися з вихідного положення *I* в робоче положення *II* і навпаки.

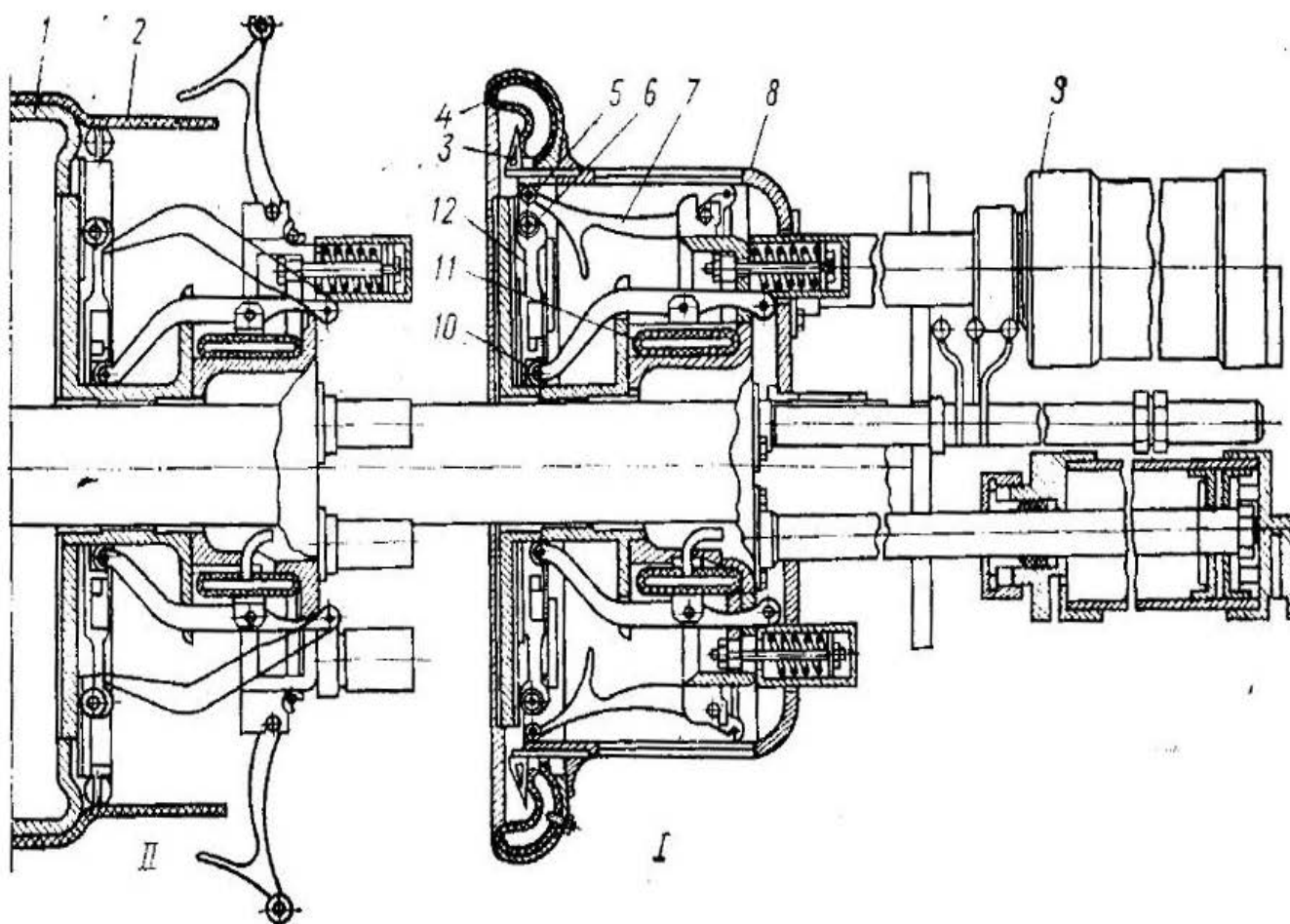


Рис. 2.12 Універсальний механізм формування борта напівдорного барабану

Перед включенням механізму відбувається установка вручну крила заготовки шини 2, після чого при русі механізму з положення *I* в положення *II* важелі 7 і 10 займають вихідне положення для захоплення крила шини, розташованого на складальному барабані 1, формування і обробка борта здійснюється важелями 7 з роликом 5 і секторами 12 з кільцевої пружиною 6. Обжимна камера 4 служить для опресовування корду. Сектори і важелі діють синхронно в правому та лівому механізмах і приводиться в рух стисненим повітрям, що підводиться в камеру 11, а також за рахунок впливу на важелі з боку шаблону 8 і за рахунок кільцевої пружини 6.

Для збільшення адгезії між деталями покривки і запобігання утворення складок і нерівностей на поверхні шин використовують прикатчики, схема якого

показана на Рис. 2.13. Металевий диск-ролик прикатчика 2 з'єднаний з системою важеля 4, що приводиться в дію пневмоциліндрами 3. Для здійснення накочення ролик прикатчика підводиться до поверхні покришки і при включенні приводу обертового руху складального барабана котиться по поверхні зібраної покришки, обробляючи протектор і борт. Пневмоциліндри 3 забезпечують регулювання положення та величини зусилля прикатки протектора та бортів по поверхні складального барабана 1.

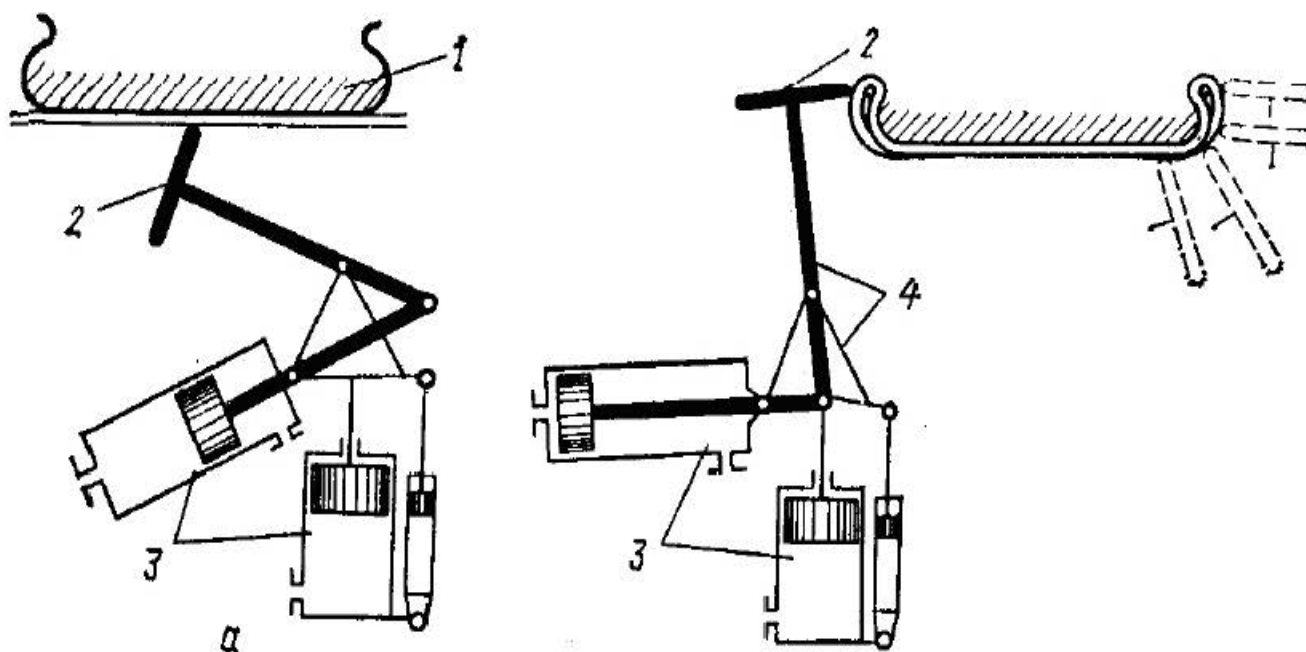


Рис. 2.13 Схема роботи універсального прикатчика:
а – прикатка протектора; *б* – прикатка борта; 1 – складальний барабан;
 2 – диск-ролик прикатчика; 3 – пневмоциліндри; 4 – важільна система

2.4. Устаткування для вулканізації гумотехнічних виробів.

Вулканізація сирих гумових виробів полягає в доданні виробу формостійкості та необхідних експлуатаційних властивостей шляхом проведення в них хімічної реакції вулканізації (зшивання). Вулканізаційне обладнання забезпечує зшивання макромолекул каучуку при нагріванні в періодичному або безперервному режимі роботи. Процес вулканізації гумових виробів є завершальною стадією їх виробництва.

На шинних заводах вулканізація шин здійснюється в автоклав-пресах, індивідуальних вулканізаторах і форматорах-вулканізаторах.

2.4.1. Автоклав-преси

Автоклав-прес – вертикальна циліндрична посудина з вбудованим гідравлічним пресом. За конструкцією їх поділяють на три види: з кришкою і нерухомим циліндричним корпусом; з нерухомою кришкою і рухомим корпусом.

1 – плунжер; 2 – гідроциліндр; 3 – основа; 4 – днище; 5 – колона; 6 – стіл; 7 – парова камера; 8 – трубопровід; 9 – направляюча; 10 – гідророзподільна коробка; 11 – траверса; 12 – кришка; 13 – клапан; 14 – байонетне кільце; 15 – гайка; 16 – урівнюючі диски; 17, 18 – сальникові пристрої; 19 – реєчна зубчаста передача; 20 – гідропривід байонетного кільця; 21 – манжета

Циліндрична парова камера 7 встановлена між верхньою кільцевою траверсою 11 та днищем 4. Зверху парова камера закривається кришкою 12, яка закріплена на кільцевій траверсі байонетним кільцем 14. Поворот кільця 14 для закриття кришки здійснюється механічно за допомогою гідроциліндра 20 або вручну за допомогою реєчної зубчастої передачі 19. Гумова манжета 21 ущільнює кришку 12. Для введення пари або охолоджуючої рідини всередину автоклава верхня частина парової камери має штуцери.

За допомогою колон 5 кільцева траверса 11 з'єднується з кільцевою основою 3 на якій встановлений гідроциліндр 2. В гідроциліндрі встановлений плунжер 1, який ущільнюється сальниковими пристроями 17 та 18. До гідроциліндра по трубопроводу 8 через гідророзподільну коробку 10 подається робоча рідина на різноманітних стадіях технологічного процесу.

При завантаженні автоклав-преса відформовані сирі заготовки шин у зібраних вулканізаційних формах в кількості 8-20 *шт.* встановлюють на столі 6. Після укладки форм по направляючих 9 та установки урівноважуючих дисків 16 автоклав закривається кришкою. Далі з метою проведення процесу вулканізації в парову камеру подається теплоносій, а у варочні камери закладені в сирі шини поступає перегріта вода під тиском 2-2,5 МПа, яка є пресуючим і тепловим агентом.

Автоклав-преси оснащуються блокувальними пристроями, які запобігають можливість відкриття кришки при наявності в паровій камері тиску.

Застосування автоклав-пресів пов'язане з великими затратами ручної праці, технологічний процес вулканізації малопродуктивний та потребує введення в схему виробництва шин великої кількості одиниць допоміжного обладнання для збирання та транспортування зібраних форм, їх розкриття та викидання з них вулканізованих шин.

2.4.2. Індивідуальні вулканізатори

Індивідуальні вулканізатори в порівнянні з автоклав-пресами мають значно більш високий рівень автоматизації та використовуються для вулканізації шин і камер. За конструктивними ознаками та типу приводу індивідуальні вулканізатори поділяються на гідравлічні, важільно-гідравлічні та важільно-механічні.

Індивідуальні вулканізатори характеризуються розміром простору на станині, де встановлюється пресформа. Пресформи для індивідуальних вулканізаторів бувають з паровою оболонкою і автоклавного типу - без парової оболонки. В останньому випадку на станині встановлюється парова камера. Для вулканізації шин застосовуються, як правило, індивідуальні вулканізатори

автоклавного типу, тобто з паровою камерою. Для вулканізації камер застосовують форми з паровою сорочкою і самі вулканізатори парової камери не мають.

На Рис. 2.15 показано пристрій одноформового індивідуального вулканізатора для виготовлення шин. Нижня частина парової камери 12 закріплена на столі станини 1. Верхня частина парової камери 5 прикріплена до малої поперечини 6, шарнірно підвішеної до великої упорної поперечини 3. У паровій камері розміщена форма автоклавного типу; нижня половина форми 11 закріплена в нижній частині парової камери 12, а верхня половина форми 7 прикріплена до верхньої парової камери через дисковий тримач 8, положення якого по висоті можна змінювати в залежності від розміру форми. Парова камера в роз'ємі ущільнюється за допомогою гумової прокладки 10. Замикання пресформи і парової камери проводиться за допомогою двох поперечин 6 і 3 та двох великих важелів 14, які за допомогою вала 15, шарнірно з'єднані з станиною 1. У такому замкненому положенні відбувається вулканізація покришки. Подача всіх теплоносіїв і охолоджуючої води в парову камеру і всередину вручений камери проводиться приблизно за такою ж схемою, що і у автоклав-преса.

Підйом і опускання верхньої парової камери разом з верхньою половиною форми в період перезарядки вулканізатора здійснюється за допомогою складної системи важелів, кривошипів і кулачків, які отримують рух від електродвигуна 4 через редуктор 13.

Індивідуальний вулканізатор оснащений аварійним вимикачем, важіль якого встановлений перед паровою камерою і переміщується разом з верхньою її частиною. При впливі на важіль (в разі відсутності тиску в паровій камері) вулканізатор починає відкриватися.

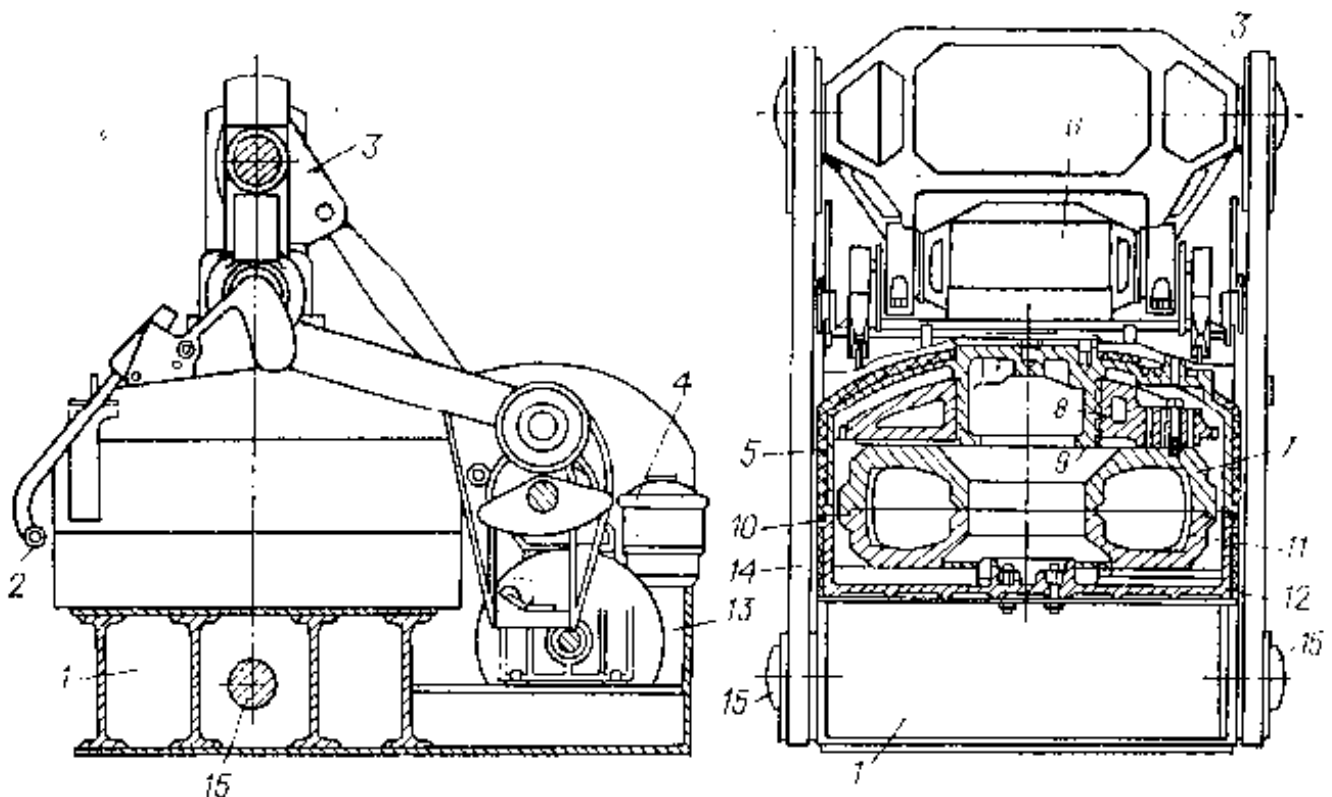


Рис. 2.15 Одноформовий вулканізатор автоклавного типу:

1 – станина; 2 – важіль аварійного вимикача; 3 – велика поперечина;
 4 – електродвигун; 5 – верхня частина парової камери; 6 – мала поперечина;
 7 – верхня половина вулканізаційної форми; 8 – дисковий утримувач;
 9 – стакан; 10 – ущільнююча прокладка; 11 – нижня половина
 вулканізаційної форми; 12 – нижня частина парової камери; 13 – редуктор;
 14 – важелі; 15 – вал

Для отримання якісної шини обидві половини форми змикаються і центруються одна відносно іншої посадкою на конус. Для того щоб не пошкодити контактні поверхні півформи при її відкриванні на індивідуальних вулканізаторах кривошипно-шатуно-важільні механізми сконструйовані так, що при включенні електродвигуна верхня траверса, на якій змонтована і парова камера та пресформа, спочатку піднімається вгору, а потім рухається вгору та назад. При такій траєкторії руху механізмів задня частина вулканізованої шини утримується в нижній половині форми, а передня - у верхній. Шина розпочинає вириватися з нижньої половини форми на початку її відкривання, а при подальшому відкритті вулканізатора відбувається остаточне виривання з верхньої півформи і шина вивантажується. Схема запирання пресформи та її розкриття в індивідуальному вулканізаторі представлена на Рис. 2.16.

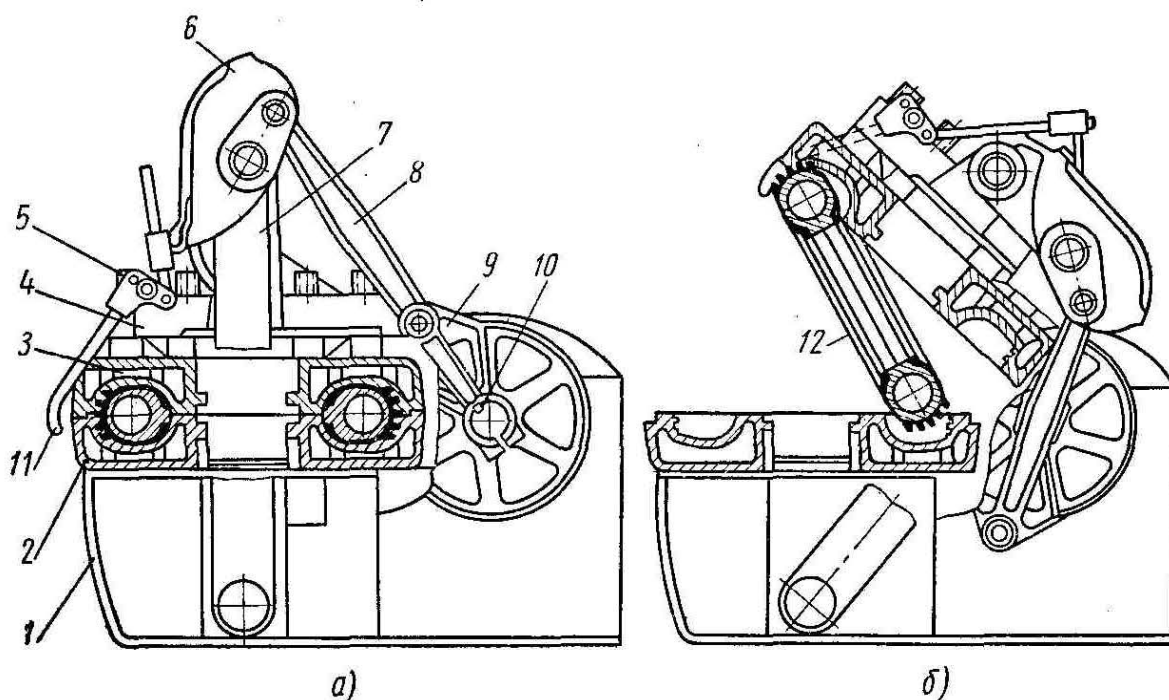


Рис. 2.16 Схема запирання пресформи та її розкриття в індивідуальному вулканізаторі:

a – в закритому положенні; *б* – вид в розкритому положенні; 1 – станина;
 2 – нижня півформа; 3 – верхня півформа; 4 – нижня поперечина;
 5 – регулюючі болти; 6 – верхня поперечина; 7, 8 – шатуни; 9 – кривошип;
 10 – вал; 11 – запобіжна скоба; 12 – шина

Індивідуальні вулканізатори для камер за своєю будовою та зовнішнім виглядом подібні до шинних вулканізаторів, але трохи простіші за конструкцією. При вулканізації камер використовуються форми з паровою оболонкою. Після замикання форми у внутрішню порожнину камери подається стиснене повітря (іноді застосовується і пар). Ні камера, ні форма не охолоджуються, а схема управління ними простіша, ніж у шинних вулканізаторів.

2.4.3. Розрахунок байонетного затвору автоклав-преса

Затвор розраховують на міцність за декількома перетинами, в яких виникають найбільші напруження від дії пресового зусилля $Q_{пр}$ і тиску пару $P_{п}$ всередині корпусу.

Частина пресового зусилля витрачається на підняття пресформ, плунжера, столу і на подолання сили тертя в ущільненнях плунжера. Тоді передане зусилля на кільце затвору буде:

$$Q_b = Q_{пр} - iQ_n - Q_c - Q_{кр} - Q_T + P, H \quad (2.39)$$

де $Q_{пр}$ – пресове зусилля в H ;

i – кількість пресформ;

Q_n – вага пресформ з шиною та варочною камерою в H ;

$Q_{кр}$ – вага кришки в H ;

Q_T – сила тертя в ущільненнях плунжера в H ;

$P = p_n \frac{\pi d^2}{4}$ – зусилля від тиску всередині корпусу в H .

Тут p_n – тиск пару в корпусі автоклава, $0,6 \text{ МПа}$;

d – внутрішній діаметр корпусу в m .

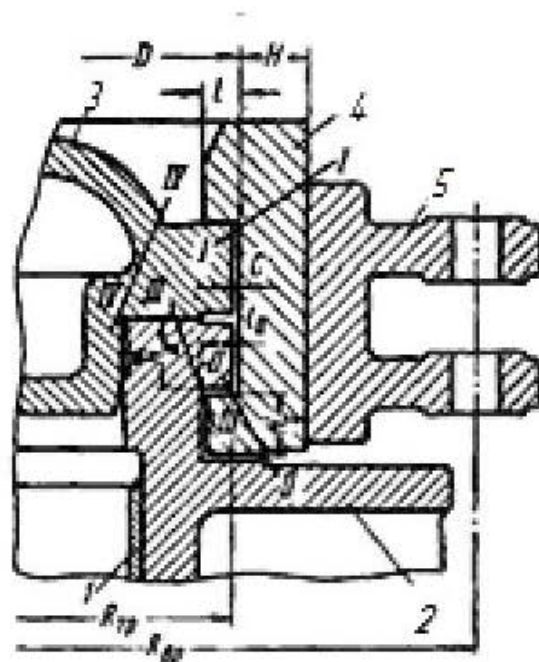


Рис. 2.17 Байонетний затвор автоклава:

1 – циліндричний корпус; 2 – траверса; 3 – кришка; 4 – байонетне кільце; 5 – затяжна гайка

Розрахунок зуба байонетного кільця в перерізі I-I (Рис. 2.17) за максимальними напруженням проводиться за рівнянням:

$$\sigma_I = \frac{6Q_6 l}{nbH^2} \quad \text{МПа},$$

де l – ширина зуба в м,

H – товщина кільця в м,

b – довжина зуба в м.

Напруження в зубі кришки в перерізі IV-IV визначають по цьому ж рівнянню.

При визначенні напружень в перетинах II-II і III-III можна користуватися рівняннями:

$$\sigma_{II} = \frac{6 \cdot Q_{6II}}{\pi D H_{II}^2} \quad \text{МПа} \quad (2.40)$$

$$\sigma_{III} = \frac{6Q_{6III} l_{III}}{\pi(D - 2l_{III})H_{III}^2} \quad \text{МПа}. \quad (2.41)$$

Для визначення зусилля повороту байонетного кільця 4 виходимо з припущення, що сила тертя прикладена по колу з радіусом $R_{тр}$, а сила, що повертає кільце, прикладена в точці, яка віддалена від центру обертання кільця на величину $R_{вр}$. Зусилля, яке необхідно прикласти до зуба затяжної гайки байонетного кільця, щоб перевірити його:

$$P = \frac{GR_{TPf}}{R_{ep}}, \quad H; \quad (2.42)$$

де G – вага кільця в H ;

R_{TP} – радіус окружності тертя в m ;

R_{ep} – відстань від центру кільця до точки прикладення сили в m ;

f – коефіцієнт тертя сталі по сталі.

По величині зусилля P визначається діаметр гідроциліндра повороту байонетного кільця для забезпечення умов затяжки кришки з умов дії пресового зусилля $Q_{пр}$:

$$Q_{пр} = 1,5Q + iQ_n + Q_c + Q_T, H \quad (2.43)$$

де Q – розпірне зусилля в пресформі в H .

$$Q = p_e \pi \frac{(D_n^2 - d_n^2)}{4}, H \quad (2.44)$$

де p_e – тиск у варочній камері, 2-2,5 МПа; D_n і d_n – зовнішній та внутрішній діаметри поверхонь ущільнення пресформи, m .

Товщина стінки циліндричного корпусу автоклав-преса:

$$S = \frac{p_n d_e}{230\sigma} \cdot \frac{1}{\varphi} + C, m \quad (2.45)$$

де σ – допустимі напруження матеріалу корпусу, МПа,

φ – коефіцієнт міцності зварного шва.

C – добавка на мінусовий допуск на листову сталь та корозію не менше 4-5 мм.

2.5. Форматори-вулканізатори

Зі створенням форматорів-вулканізаторів вдалося позбутися від багатьох трудомістких операцій, пов'язаних із застосуванням ручної праці, і значно інтенсифікувати процеси формування та вулканізації.

Форматори-вулканізатори по аналогії з індивідуальними вулканізаторами мають велике різноманіття конструкцій та відрізняються тим, що замість варочної камери в цьому обладнанні застосовується діафрагма - гумова еластична обичайка, яка приєднується по торцях до металевих дисків півформи та не видаляється з машини при вивантаженні покришки. За способом функціонування цього важливого вузла агрегату (діафрагми) і механізму управління ним розрізняють форматори вулканізатори типу «бег-о-матік» і типу «аутоформ».

Схема та принцип роботи форматора-вулканізатора типу «бег-о-матік» показана на Рис. 2.18. У вихідному положенні (Рис. 2.18, а) діафрагма 4 розтягнута між верхнім і нижнім дисками, сира шина 3 подається завантажувачем 2 на діафрагму і фіксується нижнім торцем на півформі 5.

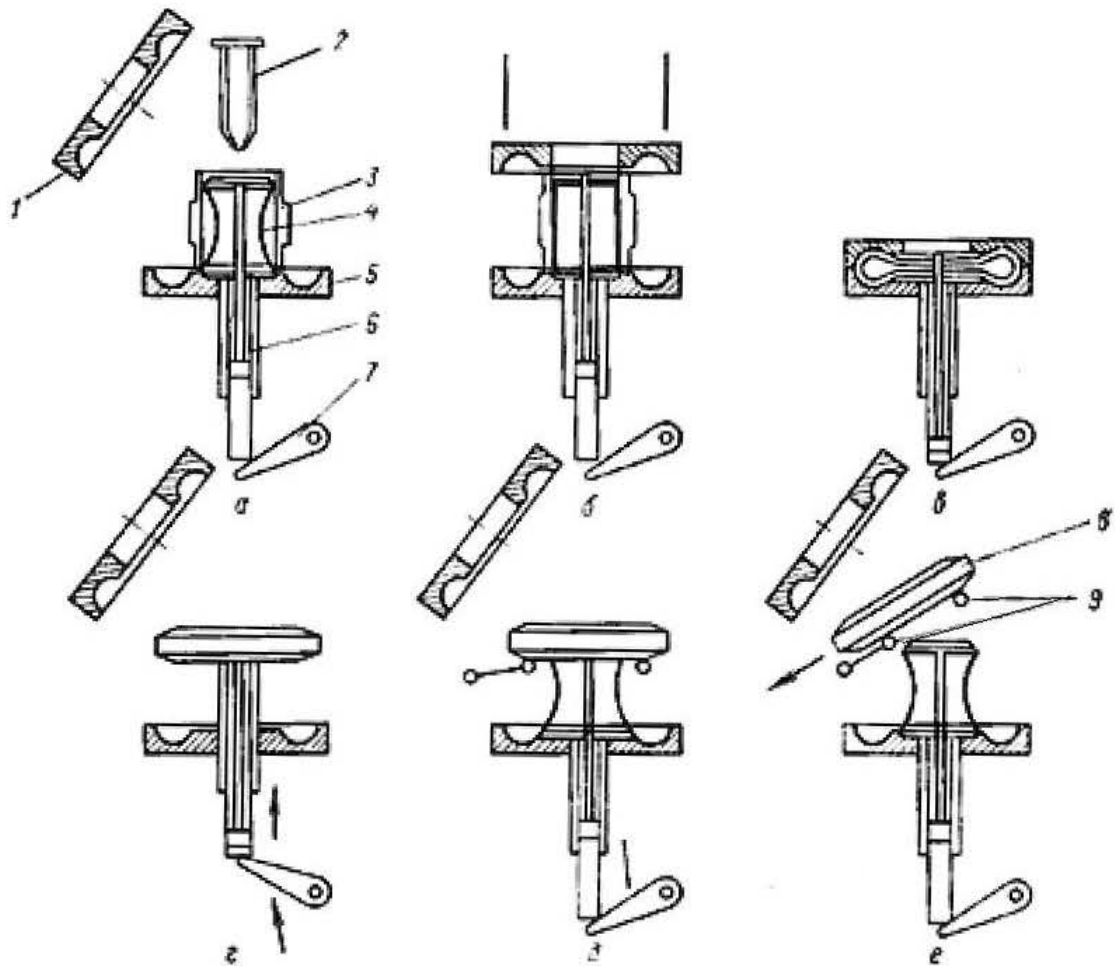


Рис. 2.18 Принцип роботи форматора-вулканізатора типу «бег-о-матік»:
а - вихідне положення; *б* - початок формування; *в* - кінець формування і початок вулканізації; *г* - розкриття правої камери та підйом покритшки;
д - знімання покритшки з діафрагми; *е* - видалення покритшки; *1* - верхня півформа; *2* - завантажувач; *3* - заготовка; *4* - діафрагма; *5* - нижня півформа; *б* - циліндр; *7* - важіль; *8* - шина; *9* - рольганг

При цьому верхня півформа *1* піднята та відведена під кутом до нижньої півформи. При подальшому вертикальному зближенні півформа *1* закриває півформу *5* при одночасній подачі пари під тиском $0,2-0,5 \text{ МПа}$ в діафрагму. При зближенні дисків, які утримують діафрагму *4*, в її порожнину подається теплоносіє під надлишковим тиском і відбувається розтягування обичайки діафрагми, що зумовлює процес формування шини (Рис. 2.18, *б*) та її вулканізацію (рис. 5.1, *в*). Після закінчення вулканізації півформа *1* відводиться, розкриваючи порожнину форми, а важіль *7* піднімає шину (5.1, *г*), з'єднуючи порожнину діафрагми з вакуумом, внаслідок чого діафрагма повертається у вихідне положення (5.1, *д*), а шина *8* скидається на приймальний рольганг *9* (5.1, *е*).

Схема та принцип роботи форматора-вулканізатора типу «аутоформ» показана на Рис. 2.19.

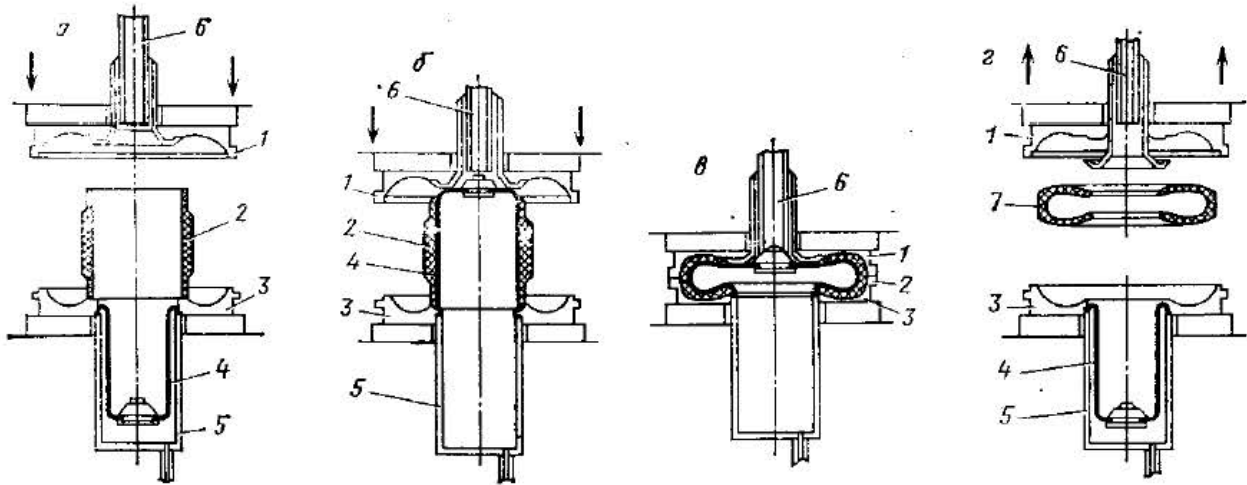


Рис. 2.19 Принцип роботи форматора-вулканізатора типу «аутоформ»:

a - вихідне положення полуформ і діафрагми; *б* - введення діафрагми в кришку; *в* - закриття полуформ, вулканізація; *г* - закінчення вулканізації, знімання покриття; *1* - верхня півформа; *2* - заготовка; *3* - нижня півформа; *4* - діафрагма; *5* - циліндр; *6* - шток; *7* - шина

Діафрагма *4* перед початком роботи знаходиться в порожнистому циліндрі *5* (Рис. 2.19, *a*). Заготовка шини *2* встановлюється нижнім торцем на півформу *3* при піднятій півформі *1*. Після завантаження заготовки шини верхня пів форма разом з паровою камерою рухається вниз і затискає її поміж обома півформами (Рис. 2.19, *б*). У цей час в циліндр *5* подається пар під тиском, який вичавлює діафрагму *4* в порожнину шини. Внаслідок чого відбувається змикання півформ і остаточне формування та вулканізація шини за рахунок витримки під дією тиску та температури (Рис. 2.19, *в*). Шток *6* служить для виривання діафрагми в циліндр *5* після закінчення вулканізації (Рис. 2.19, *г*). Ця операція реалізується одночасно з підйомом верхньої півформи та розвантаженням форматора-вулканізатора.

Система управління діафрагмою «аутоформ» зручніша, ніж «бег-о-матік». В агрегатах «аутоформ» простіший механізм приводу, оскільки в них виключено рух функціональних вузлів по криволінійних траєкторіях. Однак для її здійснення доводиться використовувати діафрагми з малою товщиною стінки (як найбільш еластичні), тому що в процесі роботи вони сприймають значно більші деформації. Термін служби діафрагм, що використовуються в форматорах-вулканізаторах типу «аутоформ» менший, ніж діафрагм, які використовуються в системах «бег-о-матік».

На Рис. 2.20 представлена конструктивна схема форматора-вулканізатора типу «бег-о-матік». Парова камера вулканізатора складається з двох половин: верхньої півформи *8*, укріпленої на траверсі *7*, і нижній півформі *14*, встановленої на станині *16*. Механізм змикання форм утворений валом *20*, кривошипамі *19*, великими важелями *18*, з'єднаними з траверсою *7*. Привід змикання складається з електродвигуна *4*, черв'ячного редуктора *2*, зубчастих передач *1*. Вузол управління діафрагмою позначений позицією *15*. механізм завантаження сконструйований з патронів-завантажувачів *22*, стійок *9*, змонтованих на щоках *10*, приводу *21*, а механізм вивантаження з системи важелів *5* і *13* з роликами, гідроприводу *6* і

рольганга 3. Відрив покритки від прес-форми здійснюється системою важелів, що приводиться в дію гідроприводом 17.

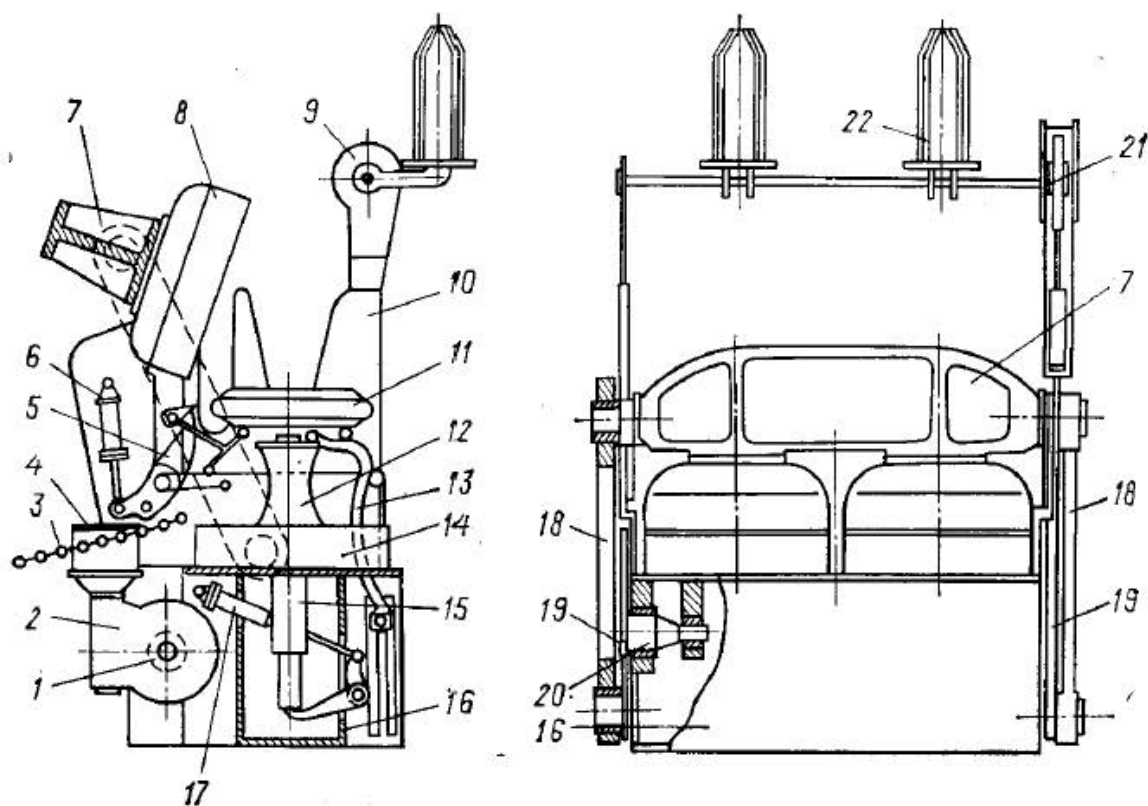


Рис. 2.20 Конструктивна схема 2-х місного форматора-вулканізатора типу «бег-о-матік»

1 – зубчаста передача; 2 - черв'ячний редуктор; 3 - рольганг; 4 - електродвигун; 5, 13, 18 - важелі; 6 - гідропривід траверси; 7 - траверса; 8 - верхня півформа; 9 - стійка; 10 - щока; 11 - шина; 12 - діафрагма; 14 - нижня півформа; 15 - вузол керування діафрагмою; 16 - станина; 17 - гідропривід управління діафрагмою; 19 - кривошип; 20 - вал; 21 - привід завантажувачів; 22 - патрон завантажувачів

Будова парової камери та вузла управління діафрагмою показано Рис. 2.21. Гумова прокладка 31 розділяє верхню і нижню половини камери. У нижній половині встановлюється півформа 7, закріплена болтами 35, а в верхній половині – півформа 8, яка закріплена болтами 22 з планшайбою 24. Планшайба через різьбову втулку 26 з зубчастим колесом 14 з'єднана втулкою 17 і фланцем 19 за допомогою болтів 16 з верхньою рухомою траверсою форматора-вулканізатора, див поз. 7, Рис. 2.20. При обертанні штурвала 12, шестерня 15 приводить в рух зубчасте колесо 14, що призводить до переміщення по висоті планшайби 24 з метою регулювання щільності змикання півформ 8 і 7. Нижня половина прес-форми 7 за допомогою диска 4 і болтів 5 кріпиться до днища 6.

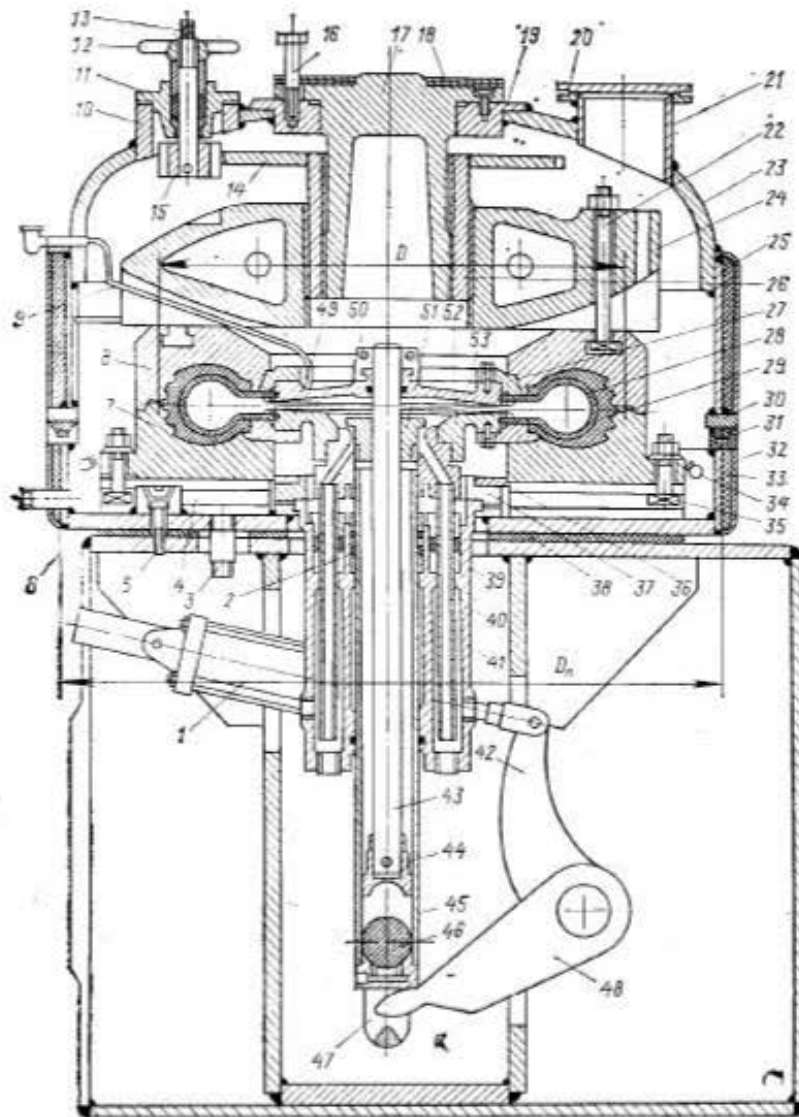


Рис. 2.21 Парова камера та вузол управління діафрагмою форматора-вулканізатора типу «бег-о-маік» (пояснення в тексті)

Управління діафрагмою 28, закріпленої між дисками 52 і 53, проводиться за допомогою блоку циліндрів 41. Шток 43 з'єднаний з верхнім диском 53 і приводиться в зворотно-поступальний рух поршнем 44, що рухається в циліндрі-штовхачі 45 з клапаном 46. Нижня частина діафрагми разом з нижнім диском 52 і кільцем 49 і може рухатися за допомогою важеля 48, що приводиться в дію гідроциліндром 1 через важіль 42. Цим рухом вгору проводиться відрив шини від нижньої півформи. Теплоносій в діафрагму надходить через телескопічні труби 40, мають ущільнення 2. Парова камера відділена від станини прокладкою 38 і забезпечена патрубками зливу води 3 і колектором подачі води 34. Управління подачею теплоносіїв і процесом формування повністю автоматизовано.

В останні роки розроблені бездіафрагменні форматори-вулканізатори, в яких формуючий пар подається безпосередньо у внутрішню порожнину шини, а пресформи використовуються секторної конструкції. Секторні пресформи можуть розпиратись або стискатись при розвантаженні або завантаженні сирової шини з метою проведення операції формування та вулканізації, або розвантаження,

відповідно. В сучасних конструкціях форматорів-вулканизаторів поширені секторні прес-форми, які полегшують завантаження сирих шин і вивантаження готових. У бездіафрагменних вулканизаторах особлива увага приділяється конструюванню секторних пресформ з механізмами надійного затиску бортів шини для забезпечення герметичності її внутрішньої порожнини.

Конструктивна схема секторної пресформи представлена на Рис. 2.22. Базовими конструктивними елементами секторної прес-форми є півформи 4 та 11 і сектори 6.

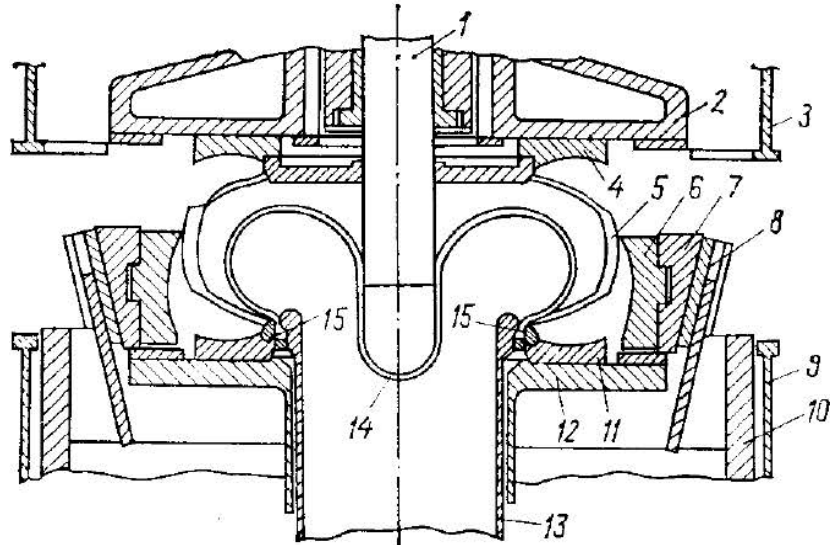


Рис. 2.22 Секторна прес-форма:

1 – штовхач; 2 – поперечина; 3 – верхня половина парової камери; 4 – верхня півформа; 5 – шина; 6 – сектори; 7 – вкладиші; 8 – направляючі; 9 – нижня половина півкамери; 10 – кільце; 11 – нижня півформа; 12 – плита; 13 – циліндр; 14 – діафрагма; 15 – кільце півформи

Півформа 11 закріплена на плиті 12, а півформа 4 встановлюється на рухомій поперечині 2. Сектори 6 разом з вкладишами 7 можуть пересуватися по направляючій 8, розташованою похило. При русі вкладишів 7 вниз сектори 6 змикаються, утворюючи разом із стисненими півформами 4 і 11 оформляють порожнину для шини. У циліндрі 13 знаходиться діафрагма 14, закріплена на кільці 15 півформи 11. Парова камера утворена верхньою 3 і нижньою 9 половинами. Кільце 10 є конструктивним елементом, що сприймає зусилля, яке діє на сектори з боку шини. Штовхач 1 переміщує діафрагму в порожнину циліндра 13.

У прес-формі секторної конструкції значно спрощено вивантаження готової шини. При русі вкладишів вгору по напрямних сектори 6 виходять із зачеплення з протектором шини та звільняють її для подальшого видалення з нижньої половини прес-форми.

2.6. Основи розрахунку форматорів вулканізаторів.

2.6.1. Розрахунок на міцність форматорів-вулканізаторів

Основою силового розрахунку форматора-вулканізатора є визначення розпирного зусилля, що діє на прес-форму P_p . Розрахункова схема зусиль, що діють на прес-форму форматорів вулканізаторів представлена на Рис. 2.23

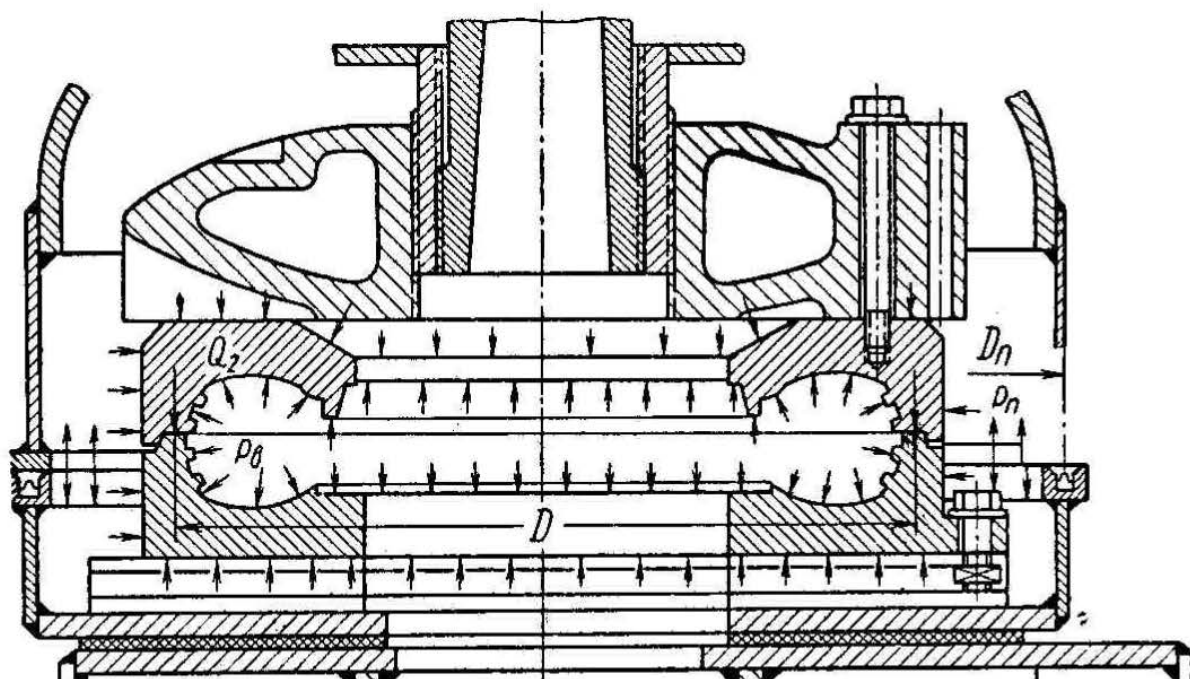


Рис. 2.23 Схема розподілу зусиль, що діють на прес-форму (пояснення в тексті)

Розпирне зусилля P_p може бути визначене як:

$$P_p = Q_p - Q_n + Q_n = (\pi D^2/4)p_v - (\pi D^2/4)p_n + (\pi D_n^2/4)p_n \quad (2.46)$$

де D – середній діаметр ущільнюючої поверхні прес-форми, D_n – середній діаметр ущільнюючої прокладки парової камери; Q_p – зусилля, що виникає від внутрішнього тиску в діафрагмі (формі) P_v , Q_n – зусилля, яке стискає прес-форму зовні, від впливу тиску в паровій камері p_n і Q_n – зусилля, яке розкриває парову камеру і виникає від тиску в ній p_n .

Тиск теплоносія в діафрагмі вибирається $P_v = 2 \div 2,5$ МПа, тиск в паровій камері $P_n = 0,6-0,8$ МПа.

Необхідне зусилля затяжки (змикання) прес-форми форматора-вулканізатора Q_3 вибирається рівним:

$$Q_3 = P_p k_3 \quad (2.47)$$

де k_3 – коефіцієнт, що враховує необхідність створення натягу на поверхні ущільнювача прес-форми ($k_3 = 1,25 \div 1,5$).

Методика розрахунку на міцність парових камер до теперішнього часу недостатньо розроблена, тому застосовують методику розрахунку посудин, що працюють під внутрішнім тиском. Так, товщина стінки парової камери S_k може бути визначена за формулою розрахунку еліптичних днищ:

$$s_k = pR_d / (2\varphi_d[\sigma] - 0,5p) + c \quad (2.48)$$

де p - розрахунковий внутрішній надлишковий тиск, R_d - радіус кривизни в вершині днища по внутрішній поверхні, φ_d - коефіцієнт міцності зварних швів, $[\sigma]$ - допустиме напруження при розрахунковій температурі ($[\sigma] = \sigma_T/n_T$, де σ_T - межа плинності, n_T - коефіцієнт запасу міцності, $n_T = 1,5$), c - сума надбавок до товщин стінок для компенсації корозії.

Поперечини форматорів-вулканізаторів піддаються дії розпирного зусилля, крім того, під час роботи вони сприймають вплив температурних напружень в результаті нерівномірного нагріву. Поперечини виготовляють зварними зі сталевих листів або литими. Напруження вигину поперечини від дії розпирного зусилля P_p визначають при розгляді поперечини як балки, яка вільно лежить на двох опорах, Рис. 2.24.

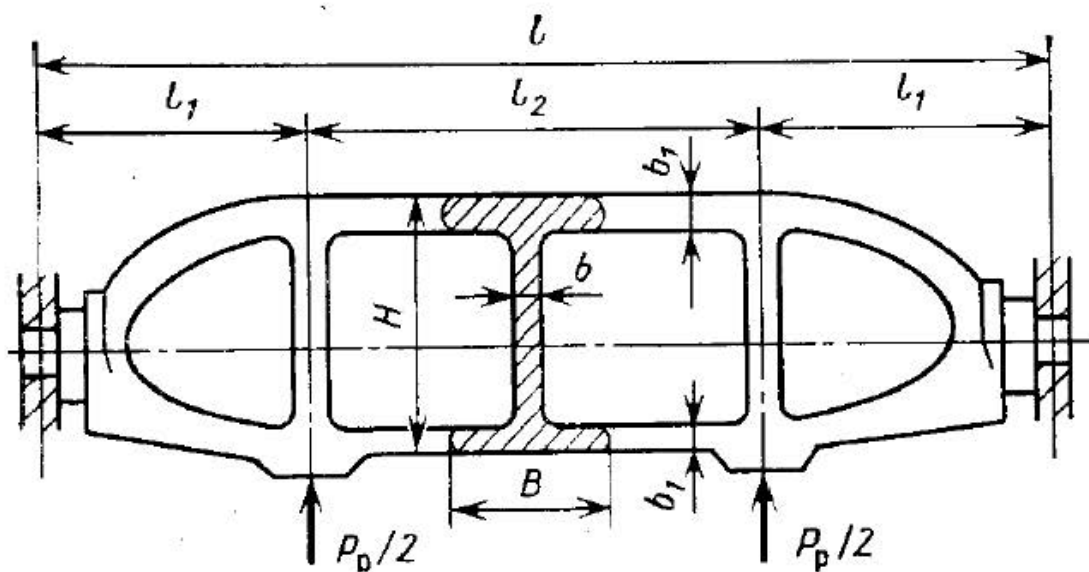


Рис. 2.24 Розрахункова схема поперечини (пояснення в тексті)

Дію розпирного зусилля P_p замінено в даній схемі впливом двох навантажень $P_p/2$, розташованих на відстані l_2 , так як ця поперечина конструктивно пов'язана в двома прес-формами. Напруження вигину в небезпечному перерізі визначається за рівнянням

$$\sigma_B = M_{\max} / W = P_p l_1 / 2W \quad (2.49)$$

де $W = [BH^3 - (B-b)(H-2b_1)^3] / (6H)$

Оскільки конструкція поперечини повинна володіти значною жорсткістю, тому при проведенні розрахунків на міцність необхідно оцінити найбільшу стрілу угину в середині прольоту:

$$f_{\max} = [P_p l_1 / (2EI)] (3l_2^2 + 8l_1^2 + 12l_2 l_1) / 24 < [f]$$

де $[f] = 1 \div 2$ мм.

2.6.2. Розрахунок приводу форматора-вулканізатора

Підйом, відведення і опускання поперечини парової камери в форматорах-вулканізаторах здійснюють приводні пристрої різноманітних конструкцій. Найбільш поширений привід з кривошипно-шатунним механізмом, ланки якого в ході технологічного циклу сприймають навантаження від опору шини при її обтисканні, зусиль затягування, відриву верхніх півформ від шини, ваги парової камери. Механізм приводу сприймає розпірне зусилля при вимкненому електродвигуні, а в процесі формування забезпечує змінну швидкість опускання верхніх півформ, щоб уникнути удару при зіткненні з нижньою півформою. Привід, схема якого зображена на Рис. 2.25 складається з черв'ячного редуктора (черв'яка 5 і колеса 4) з вбудованим електродвигуном 7, шестерень 3, зубчастих коліс 2 з кривошипами та шатунів 1, з'єднаних з поперечиною 6.

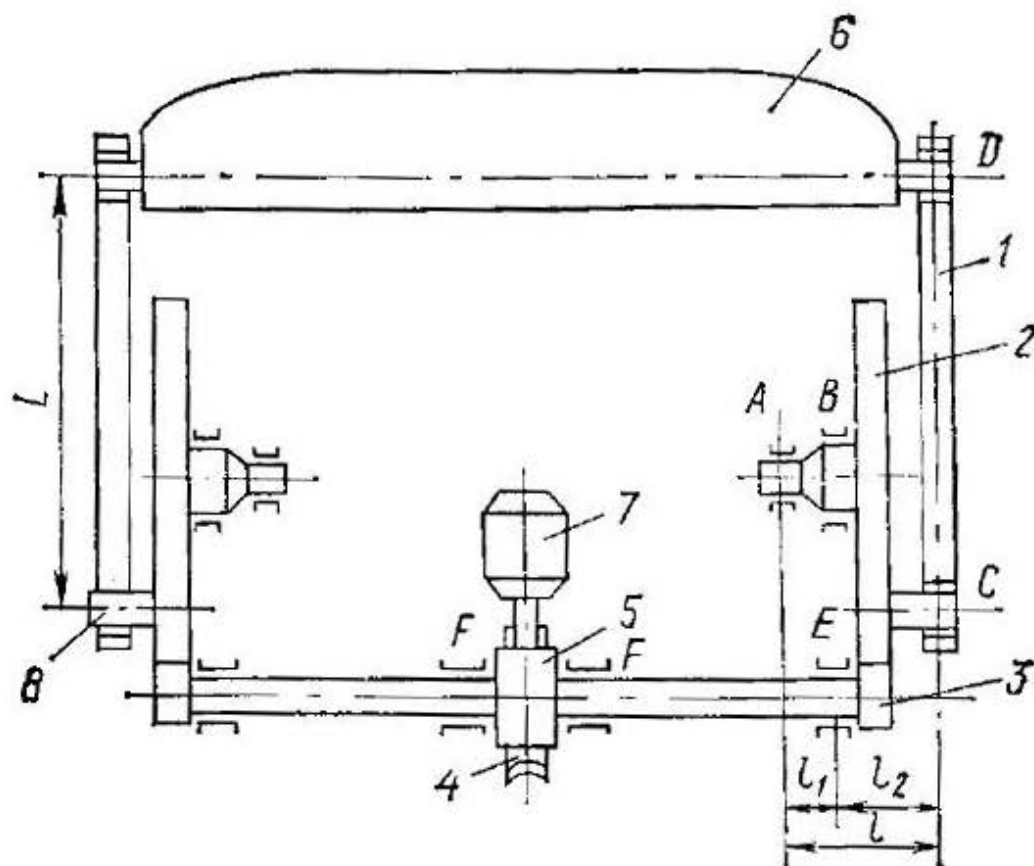


Рис. 2.25 Схема приводу форматора-вулканізатора

1 – шатун; 2 – зубчасте колесо; 3 – шестерня; 4 – черв'ячне колесо; 5 – черв'як;
6 – поперечина; 7 – електродвигун; 8 – кривошип

Силевий розрахунок приводів форматорів-вулканізаторів представляє значні труднощі через відсутність наукового обґрунтування кінематики та динаміки руху ланок механізму та ґрунтується на ряді припущень. Так, наприклад, приймається, що найбільші зусилля в ланках виникають під час затяжки при компенсації розпирного зусилля. Може бути прийнято до уваги припущення про те, що найбільше зусилля виникає при відкриванні затягнутих пресформ або при зрушенні з місця поперечини відведеної в крайнє положення при відкритому стані

форматора-вулканізатора. Щоб вибрати розрахункове навантаження, доводиться виконувати розрахунок діючих сил з урахуванням всіх зроблених припущень. Як приклад визначимо потужність на валу електродвигуна приводу форматора-вулканізатора, схема якого зображена на Рис. 2.25, виходячи з припущення максимальності навантажень в момент змикання пресформ. Методика проведення розрахунку за іншими схемами навантаження елементів конструкції приводу описана в спеціальній літературі.

Для розрахунку потужності на валу електродвигуна приводу W_d (кВт) може бути використана формула:

$$W_d = \frac{2 \left[(M_{кр} + M_{мп1}) / i_1 + M_{мп2} + M_{мп3} \right] N_d}{97,4 i_4 \eta_4} \quad (2.50)$$

де $M_{кр}$ – обертовий момент на кривошипі колеса 2, Нм; $M_{тр1}$ – момент тертя в підшипниках колеса 2 і шатунах 1, Нм; $M_{тр2}$ – момент тертя в підшипниках шестерні 3, Нм; $M_{тр3}$ – момент тертя в підшипниках черв'ячного колеса 4, Нм; i_1 – передаточне відношення зубчастого колеса 2 та шестерні 3; i_4 – передаточне відношення черв'ячної пари; N_d – частота обертання електродвигуна об/хв; η_4 – к.к.д. черв'ячного редуктора (пари).

Крутний момент $M_{кр}$ створюється зусиллям зтяжки прес-форми Q_3^* , діючим на плече $x = Ltg\alpha$ (де L – відстань між осями траверси b та центром кривошипа зубчастого колеса 2 в момент запирання, α – кут між робочим положенням шатуна в момент запирання та його вертикальним положенням). Оптимальне значення $\alpha = 3 \div 6^\circ$ обмежується умовами навантаження елементів конструкції і вибирається при експериментальному вивченні залежності величини P_p від вузла α .

Звідси:

$$M_{кр} = Q_3^* x \quad (2.51)$$

Величина Q_3^* визначається за рівнянням:

$$Q_3^* = Q_3 - (G_{тр}/2 + G_{ш} + G_{к} + G_{ф} + G_{зк}) \quad (2.52)$$

де Q_3 – номінальне зусилля зтяжки, $G_{тр}$, $G_{ш}$, $G_{к}$, $G_{ф}$, $G_{зк}$ – вага траверси, шатуна, парової камери, верхньої напівформи, зубчастого колеса відповідно.

Момент тертя $M_{тр1}$ в підшипниках колеса 2 і шатуна 1 складається з моментів, що діють в підшипниках A, B, C, D :

$$M_{тр1} = (R_A d_3 + R_B d_2 + D_C d_1 + R_D d_0) f l_2 \quad (2.53)$$

де R_A, R_B, D_C, R_D – реакції опор A, B, C, D ; d_3, d_2, d_1, d_0 – діаметри цапф опор A, B, C, D, f – коефіцієнт тертя ковзання ($f \approx 0,05$).

Реакції опор визначаються як:

$$R_C = R_D = Q_3^*, \quad R_B = R_C l_1, \quad R_A = R_B - R_C \quad (2.54)$$

Геометричні параметри l і l_1 визначаються згідно розрахункової схеми, Рис. 2.24

Момент тертя $M_{\text{тр}2}$, діючий в підшипниках опори E шестерні 3, від розпiрного зусилля $P_{\text{рк}2}$ зубчастого зачеплення колесо 2 – шестерня 3 визначається як:

$$P_{\text{рк}2} = P_{\text{ок}} \operatorname{tg} \beta \quad (2.55)$$

де $P_{\text{ок}} = 2(M_{\text{кр}} + M_{\text{тр}1})/d_{\text{k}2}$ – дотичне колове зусилля, що протидіє моментам $M_{\text{кр}}$ і $M_{\text{тр}1}$, $d_{\text{k}2}$ – дотичне колове зусилля, що протидіє моментам $M_{\text{кр}}$ і $M_{\text{тр}1}$, $d_{\text{k}2}$ – діаметр початкового зубчастого зачеплення, β – кут зачеплення зубчастої пари.

Далі маємо:

$$M_{\text{тр}2} = P_{\text{рк}2} d_{\text{Е}} f / 2 \quad (2.56)$$

де $d_{\text{Е}}$ – діаметр цапфи опори E .

Момент тертя $M_{\text{тр}3}$, який діє в підшипниках опори F , визначається наступним чином:

$$M_{\text{тр}3} = P_{\text{чк}} \operatorname{tg} \beta_{\text{ч}} d_{\text{F}} f / 4 \quad (2.57)$$

де $P_{\text{чк}}$ – колове зусилля на черв'ячному колесі, $\beta_{\text{ч}}$ – кут заціплення черв'ячного колеса, d_{F} – діаметр цапфи опори F .

Величина $P_{\text{чк}}$ розраховується за співвідношенням:

$$P_{\text{чк}} = 4(P_{\text{ок}} d_{\text{ш}3} / 2 + M_{\text{тр}2}) / d_{\text{чк}} \quad (2.58)$$

де $d_{\text{ш}3}$, $d_{\text{чк}}$ – діаметри початкових кіл шестерні 3 і черв'ячного колеса 4 відповідно.

Коефіцієнт корисної дії черв'яка $\eta_{\text{ч}}$ визначається за рівнянням:

$$\eta_{\text{ч}} = \operatorname{tg} \lambda / (\operatorname{tg} \lambda + f) \quad (2.59)$$

де λ – кут підйому гвинтової лінії черв'яка

Зниження потужності приводу може бути досягнуте шляхом наближення шатуна до аварійного вертикального положення і зменшення коефіцієнта тертя в підшипниках.

Розрахунок на міцність елементів зубчастих зачеплень (коліс 2 і шестерні 3) передач приводів форматорів-вулканізаторів проводиться за стандартними методиками по найбільшому обертовому моменту $M_{\text{кр}}^* = M_{\text{кр}} + M_{\text{тр}1}$. Для розрахунку слід використовувати обертовий момент:

$$M_{\text{чк}} = M_{\text{кр}} + M_{\text{тр}1} + M_{\text{тр}2} \quad (2.60)$$

Розрахунок на міцність шатуна, Рис. 2.26, полягає у визначенні напружень в шатуні:

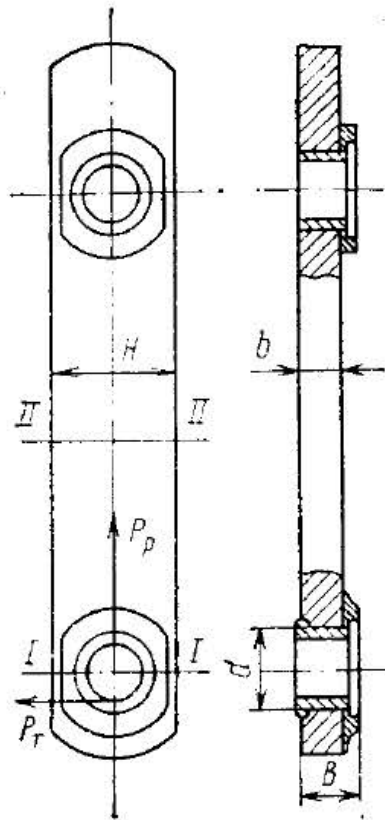


Рис. 2.26 Схема шатуна (пояснення в тексті)

Зусилля P_p , що розтягує шатун, і сила тертя $P_\tau = fP_p$ викликають в розрізі $I-I$ дію найбільших напружень, рівних:

$$\sigma_I = (P_p + P_\tau) \alpha_k / F < [\sigma] \quad (2.61)$$

де F – площа перетину $I-I$ шатуна, α_k – коефіцієнт концентрації напружень, що залежить від співвідношення параметрів d/H і B/H (див. Рис. 2.26), $\alpha_k = 2+6$, $[\sigma] = 0,6 \sigma_T$ (тут σ_T – межа плинності матеріалу шатуна - сталей марки Ст. 3, Ст. 4).

Напруження в перетині $II-II$ визначаються за рівнянням:

$$\sigma_{II} = P_p / (Hb) < [\sigma] \quad (2.62)$$

де H і b – геометричні параметри перетину $II-II$.

Контрольні запитання та завдання

1. Наведіть кінематичну схему приводу роторного змішувача.
2. Наведіть кінематичну схему приводу лопатевого змішувача.
3. Опишіть принцип дії та циклограму роботи роторного змішувача.
4. Поясніть конструктивну схему та опишіть принцип дії розвантажувального пристрою роторного змішувача.
5. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії завантажувального пристрою роторного змішувача.

6. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії двочервячного змішувача.
7. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії станка для складання покришок.
8. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії складального барабану.
9. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії охолоджуючого пристрою роторів змішувача.
10. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії вузлів опірних підшипників двочервячного змішувача.
11. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії приводу осцилюючого змішувача.
12. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії осцилюючого змішувача.
13. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії механізму формування бортів.
14. Поясніть принцип дії прикажчика формування шин.
15. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії автоклав преса.
16. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії індивідуального вулканізатора.
17. Наведіть конструктивну схему та опишіть принцип дії форматора-вулканізатора типу «аутоформ».
18. Наведіть схему принципу дії форматора-вулканізатора типу «бег-о-матік».
19. опишіть схему принципу дії форматора-вулканізатора типу «аутоформ».
20. Наведіть кінематичну схему приводу лопатевого змішувача..

ЛІТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М.Б. Генералова. - 832 с; ил
2. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. – М.: «Высшая школа» 1990. – 522с.
- 3.Щербина В.Ю., Сахаров А.С., Васильченко Г.Н., Сивецкий В.И., Чжан Юлин (张佑林). Математичне моделювання вихрових процесів в запічних теплообмінниках обертових печей. Київ НТУУ „КПІ”, 2006, ПП „Экмо”, – 137с.
4. Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Машины и аппараты химических производств" и "Машины и технология переработки полимерных материалов в изделия и детали" - М: Химия, 1986. – 488 с.
5. Иванов А.А. Расчет и конструирование вихревых сепарационных аппаратов на основе структурного анализа гидродинамики закрученных потоков. – Дисс. ... докт. техн. наук. - Дзержинск.: НГТУ, 1998. - 270 с.
6. Романков П. Г., Курочкина М. И. Гидромеханические процессы химической технологии. – 3-е изд., перераб. –Л.: Химия, 1982 – 288 с, ил. –
7. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995.-400 с: ил
8. Стабников В.Н., Попов В.Д., Редько Ф.А., Лысянский В.М. Процессы и аппараты пищевых производств. – М., 1966, 635с.
9. Фафурин В.А. Гидродинамика и разделительная способность течений в гидромеханических устройствах и аппаратах. – Дисс. ... докт. техн. наук. - Казань.: КГТУ, 2003. - 255 с.
10. Дамдинова Д.Р., Дондуков В.Г. Учебное пособие по дисциплине «Механическое оборудование предприятий строительной индустрии». Улан-Удэ. 2004. - 105 с.
11. Соколов Н.В. Создание общей стохастической физико-химической теории процессов разделения гетерогенных систем : Дис... д-ра техн. наук. Киев.: КТИП, 1988. - 411 с
12. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: ГНТИХЛ, 1961, 831с
13. Гельперин Н. И.Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах.–М.: Химия, 1981–812 с, ил.
14. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: ГНТИХЛ, 1962, 845с .
15. Биотехнология / Т. Г. Волова. - Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 1999. - 252 с.

16. Промышленная микробиология. /под ред. Н. С. Егорова. - М., 1989.
17. Введение в биотехнологию: Курс лекций:/ А.Н.Евтушенков, Ю.К.Фомичев. - Мн.:БГУ, 2002. - 105 с.
18. Гончаров А. И., Середа И. П. Хімічна технологія. Частина 1. Київ «Вища школа» 1979, 288 с.
19. Химический энциклопедический словарь / Под редакцией И.Л. Кнунятц – М.: «Советская энциклопедия», 1983, 792с
20. Борщев В.Я., Гусев Ю.И., Промтов М.А., Тимонин А.С. Оборудование для переработки сыпучих материалов: Учебное пособие - М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. - 208 с.
21. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1 / Под ред. В. Г. Лисиеню. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.
22. Зозуля П. В. Проектирование цементных заводов : [Учеб. пособие по курсовому и диплом. проектированию] / Зозуля П. В., Никифоров Ю. В. - СПб : Синтез, 2001. - 444, [1] с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 439-440 (26 назв.)
23. В.Ю. Щербина, О.С. Сахаров, В.І. Сівецький, О.В. Гондляр САПР. Застосування програмного комплексу ВЕСНА в розрахунках процесів і обладнання з врахуванням термосилових навантажень. Навчальний посібник – К.: Видавництво “ЕКМО”, 2009.–180 с
24. Бекин Н.Г., Шанин Н.П., Оборудование заводов резиновой промышленности. Учебное пособие. Л.,Химия,1989.
25. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Э., Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей.-М. Машиностроение, 1972, 272 с.
26. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища: Укл. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В.Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.Н. Штонда. Навч. посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с.
27. Гондляр О.В., Сахаров О.С., Сівецький В.І., Щербина В.Ю. САПР. Розрахунки на міцність елементів технологічного устаткування хімічної промисловості (навчальний посібник). К.:ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2005, 136 с.: іл.
28. Конструювання машин з переробки полімерів та композиційних матеріалів: Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 7.090220 “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” / Уклад.: В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, О. Л. Сокольський, В. Ю. Щербіна. - К.: ІВЦ „Політехніка”, 2002. - 54 С.
29. Цыганок И.П. Вулканизационное оборудование шинных заводов. М., Машиностроение, 1972, 270 с.
30. Кондратьев В.Б. Мировая цементная промышленность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.perspektivy.info/print.php?ID=142481>
31. Цементобетонные дороги в перспективе [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://news.ukrcement.com.ua/2012/02/40-60.html>
32. Сулименко Л. М. Общая технология силикатов: Учебник. -М.: ИНИФРА-М, 2004.-336 с.
33. Расчет выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов

- стальних сварних посудів і апаратів. Методика і приклади розрахунку / Сост. А.И. Барвін, И.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Д.А. Куликов, В.Г. Табунціков, Г.В. Тараненко, Ю.Н. Штонда. – Северодонецьк, СТИ, 2003. – 122 с.
34. Гондляр О.В., Сахаров О.С., Сівецький В.І., Щербина В.Ю. та ін. САПР. Програмний комплекс АПРОКС в розрахунках машин та апаратів хімічних виробництв. К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006, 136 с.: іл.
35. Гондляр О.В., Сахаров О.С., Сівецький В.І., Щербина В.Ю. та ін. САПР. Чисельне моделювання нелінійного деформування та руйнування багатопарових елементів хімічного обладнання. Частина 1. Пружні муфти - Монографія. К.: ВП «Едельвейс», 2011. – 172 С.
36. Сивецкий В.И., Рахманов В.С., Клявлин В.В. Учебное пособие. Расчёт и конструирование основных элементов и деталей полимерперерабатывающего оборудования.-Киев:УМК ВО,1988. –164 с.
37. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Кушнір М.С., Івіцький І. І. "Моделювання гомогенізації розплавів термопластів у бар'єрному змішувачі з урахуванням ефекту пристінного проковзування". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2016. N 1, С. 45-50. doi:<http://dx.doi.org/10.20535/2306-1626.1.2016.77907>
38. Щербина В.Ю., Дегодя Т. В., Новохатська Ю.М. "Підвищення ресурсу роботи бандажів обертових печей". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2016. N 1. С. 110-116 DOI: 10.20535/2306-1626.1.2016.77978
39. Сідоров Д.Е., Колосов О.Є., Гур'єва А.О.. "Оцінювання геометричних параметрів пет-виробів у процесі формування," *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2017. N 1. С. 43-48. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2017.119469.
40. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Івіцький І. І., Куриленко В.М. "Перспективи створення й використання інтелектуальних виробів із наномодифікованих полімерних композитів". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2017. N 1. С. 7-14. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2017.119417.
41. Ярошук Л.Д., Тюріна Є.О. "Врахування стратегії сталого розвитку при автоматизації очищення оливи та мастил адсорбентами," *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. N 1. С. 126-134. DOI:10.20535/2617-9741.1.2019.171211.
42. Щербина В.Ю., Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 83 с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>
43. Соловей, В. В., Олексішен, В. О. Дослідження фізико-механічних властивостей композитних матеріалів отриманих з використанням адитивних технологій. *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, – 2021, – №1(20). С. 9–21. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2021.228078>

Електронне мережне навчальне видання

Щербина Валерій Юрійович
Сівецький Володимир Іванович
Гондлях Олександр Володимирович

**МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ І ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА
ПОЛІМЕРНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ**

**ПІДГОТОВКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ
ЗМІШУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інжиніринг обладнання виробництва
полімерних та будівельних матеріалів і виробів»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*

Комп'ютерна правка та верстка – авторські