



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут

Лукашов В. К.

УСТАТКУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

Конспект лекцій

Суми
Сумський державний університет
2021

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут

УСТАТКУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

Конспект лекцій

для студентів спеціальності

161 *«Хімічні технології та інженерія»*

за спеціалізацією *«Хімічні технології високомолекулярних сполук»*

Затверджено
на засіданні кафедри
хімічної технології
високомолекулярних сполук
як конспект лекцій із дисципліни
*«Технологія виробництва спеціальних
високомолекулярних сполук»*.
Протокол № 3 від 25.10.2019.



Суми
Сумський державний університет
2021

Устаткування виробництва високомолекулярних сполук :
конспект лекцій / укладач В. К. Лукашов. – Суми : Сумський дер-
жавний університет, 2021. – 275 с.

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук
ШІ СумДУ

ЗМІСТ

	С.
Вступ	7
1 Загальні відомості про устаткування виробництв високомолекулярних сполук.....	9
1.1 Вимоги до устаткування виробництв високомолекулярних сполук.....	9
1.2 Принципи розробки устаткування.....	10
1.3 Відомості про конструкційні матеріали, які використовують для виготовлення устаткування	11
1.3.1 Чорні метали і сплави.....	11
1.3.2 Кольорові метали.....	15
1.3.3 Неметалічні матеріали.....	17
1.4 Характеристики міцності і корозійні характеристики ...	18
2 Ємнісне устаткування.....	20
2.1 Класифікація ємнісного устаткування.....	20
2.2 Типовий ємнісний апарат і його елементи.....	22
2.3 Ємнісні апарати, що працюють під високим тиском.....	29
2.4 Розрахунок ємнісних апаратів.....	31
2.4.1 Технологічний розрахунок ємнісних апаратів.....	31
2.4.2 Міцнісний розрахунок ємнісних апаратів.....	33
2.4.2.1 Розрахунок тонкостінних апаратів, що працюють під внутрішнім тиском.....	33
2.4.2.2 Розрахунок тонкостінних апаратів, що працюють під зовнішнім тиском.....	39
2.4.3 Розрахунок апаратів, що працюють під високим тиском.....	43
3 Ємнісні змішувачі і реактори для рідких середовищ.....	47
3.1 Елементи теорії змішування, способи перемішування рідких середовищ.....	47
3.2 Облаштування ємнісного змішувача (реактора).....	50
3.2.1 Загальна компоновка апарата.....	50
3.2.2 Основні елементи апарата.....	51
3.3 Розрахунок ємнісного реактора.....	68
3.3.1 Технологічний розрахунок реактора.....	68
3.3.2 Розрахунок перемішувального пристрою.....	73

3.3.2.1	Швидкість обертання мішалки.....	73
3.3.2.2	Потужність привода.....	74
3.3.2.3	Міцнісний розрахунок мішалки.....	80
3.3.3	Тепловий розрахунок ємнісного реактора.....	84
3.3.3.1	Площа поверхні теплообмінного пристрою.....	84
3.3.3.2	Витрата теплоносія під час роботи реактора.....	91
3.3.3.3	Пускові характеристики реактора.....	92
3.3.3.4	Визначення конструктивних розмірів теплообмінних пристроїв реакторів.....	93
3.4	Приклади змішувачів і реакторів, що застосовують у виробництвах високомолекулярних сполук.....	95
3.4.1	Виробництво нітратів целюлози.....	95
3.4.2	Виробництво поліетилену.....	102
3.4.3	Виробництво полістиролу.....	104
3.4.4	Виробництво полівінілхлориду.....	106
3.4.5	Виробництво фенолоформальдегідних полімерів.....	107
3.4.6	Виробництво поліамідів.....	110
4	Устаткування для змішування сипких матеріалів.....	113
4.1	Основні характеристики сипких матеріалів.....	113
4.2	Оцінювання ступеня змішування сипких матеріалів....	118
4.3	Елементи теорії змішування.....	119
4.3.1	Періодичний процес змішування.....	119
4.3.2	Безперервний процес змішування.....	120
4.4	Типи й облаштування устаткування для змішування сипких матеріалів.....	121
4.4.1	Основні типи й облаштування змішувачів періодичної дії.....	122
4.4.1.1	Барабанні змішувачі з обертовим корпусом.....	122
4.4.1.2	Змішувачі з нерухомим корпусом.....	125
4.4.1.3	Статичні змішувачі періодичної дії.....	131
4.4.2	Безперервнодійні змішувачі сипких матеріалів.....	134
4.4.2.1	Прямоточні змішувачі.....	134

4.4.2.2	Змішувачі об'ємного змішування.....	137
4.5	Розрахунок барабанного змішувача з обертовим корпусом.....	138
4.5.1	Швидкість обертання барабана.....	138
4.5.2	Продуктивність змішувача.....	139
4.5.3	Розміри барабана.....	142
4.5.4	Потужність привода барабанного змішувача.....	142
4.5.5	Міцнісний розрахунок барабанного змішувача.....	145
5	Устаткування для змішування високов'язких пластичних мас.....	148
5.1	Теорія процесу змішування.....	148
5.2	Облаштування і робота змішувального обладнання.....	152
5.2.1	Дваторторний змішувач із Z-подібними лопатями.....	153
5.2.2	Дваторторний змішувач закритого типу.....	160
5.2.3	Валкові змішувачі.....	164
5.2.4	Змішувальне устаткування, що застосовують у спеціальних виробництвах.....	168
5.3	Розрахунок змішувального устаткування.....	173
5.3.1	Розрахунок дваторторного змішувача періодичної дії.....	173
5.3.2	Розрахунок валкового змішувача.....	180
6	Пресове устаткування.....	182
6.1	Основні способи пресування полімерних матеріалів.....	182
6.2	Види й облаштування пресового устаткування.....	185
6.2.1	Гідравлічні преси.....	185
6.2.1.1	Облаштування гідравлічного преса.....	186
6.2.1.2	Основні вузли і комплектувальне обладнання гідравлічного преса.....	192
6.2.2	Механічні преси.....	202
6.2.3	Шнекові преси.....	207
6.2.3.1	Облаштування і робота типового шнекового преса (екструдера).....	207
6.2.3.2	Багатошнекові і спеціальні преси.....	215
6.2.4	Безшнекові екструдери.....	219
6.3	Розрахунок пресового устаткування.....	221

6.3.1	Визначення величини тиску пресування.....	221
6.3.2	Розрахунок гідравлічного преса.....	225
6.3.2.1	Зусилля і швидкість пресування.....	225
6.3.2.2	Розрахунок робочого циліндра і колон преса.....	228
6.3.3	Розрахунок шнекового екструдера.....	229
6.3.3.1	Визначення геометричних параметрів і частоти обертання шнека.....	229
6.3.3.2	Розрахунок продуктивності екструдера.....	234
6.3.3.3	Визначення потужності привода екструдера.....	237
6.3.3.4	Міцнісний розрахунок шнека.....	239
7	Устаткування для гранулювання полімерних матеріалів....	242
7.1	Загальні уявлення про процеси гранулювання.....	242
7.2	Елементи теорії подрібнення і види подрібнювального обладнання.....	243
7.3	Способи гранулювання полімерних матеріалів. Облаштування грануляційних апаратів.....	249
7.3.1	Способи та обладнання первинного гранулювання полімерів.....	250
7.3.2	Гранулятори для переробки відходів полімерних матеріалів (вторинного гранулювання).....	253
7.3.3	Устаткування для гранулювання порохів.....	2550
7.3.3.1	Гранулювання нітратцелюлозних порохів.....	2550
7.3.3.2	Гранулювання димного пороху.....	267
	Список літератури.....	272

ВСТУП

Складність технологічних процесів, велика номенклатура саме зараз полімерів, а також способів і технологічних схем їхнього отримання є причиною різноманітності устаткування, яке застосовують у їхньому виробництві. Воно різниться за призначенням, принципом дії, облаштуванням і характеристиками. Його вивчення за наявності в технологічній схемі кожного конкретного виробництва є неможливим. Для цього все зазначене обладнання потрібно розділити на групи залежно від призначення і конструктивних ознак. У цьому курсі вивчатимемо такі групи обладнання:

- ємнісне обладнання;
- ємнісні змішувачі та реактори для рідких середовищ;
- обладнання для змішування сипких матеріалів;
- обладнання для змішування високов'язких пластичних мас;
- пресове обладнання;
- обладнання для гранулювання полімерних матеріалів

До цього переліку не входить обладнання, репрезентоване в курсі «Процеси й апарати хімічних виробництв», але його використовують у виробництвах високомолекулярних сполук (теплообмінники, насоси, компресори, фільтри, сушарки тощо).

У кожній із зазначених груп розглядають типове обладнання, характерне для цієї групи як універсальне, тобто таке, що застосовують для здійснення різних технологічних процесів і виробництва різних продуктів, так і спеціально створене для конкретних процесів і операцій. Репрезентоване також обладнання, що застосовують у виробництвах спеціальних полімерів і матеріалів (нітратів целюлози, порохів, твердих ракетних палив).

Цей конспект лекцій призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія», під час підготовки бакалаврів зі спеціалізацією «Хімічні технології високомолекулярних сполук» і орієнтацією на виробництва полімерних матеріалів, порохів і твердих ракетних палив.

Устаткування, що застосовують у цих виробництвах, використовують для проведення технологічних процесів отримання (синтезу) полімерів, приготування на їхній основі пластичних мас і переробки до відповідних виробів. Знання облаштування, принципу дії та елементів розрахунку обладнання необхідно інженерам-технологам для обґрунтування їхнього вибору і раціональної організації технологічних процесів. Конспект відповідає робочій навчальній програмі з дисципліни «Устаткування виробництва високомолекулярних сполук».

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО УСТАТКУВАННЯ ВИРОБНИЦТВ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

1.1 Вимоги до устаткування виробництв високомолекулярних сполук

Устаткування, що застосовують у виробництвах високомолекулярних сполук, має задовольняти такі вимоги:

- мати характеристики, що забезпечують проведення технологічного процесу із заданою продуктивністю;
- мати низьке енергоспоживання;
- мати достатню міцність, бути надійним (поломки можуть призвести не тільки до економічних втрат, але можуть бути небезпечними для обслуговчого персоналу);
- мати необхідну довговічність, що пов'язано із зносом обладнання та його корозійною стійкістю;
- має бути зручним в обслуговуванні;
- бути ремонтопридатним, транспортабельним;
- задовольняти вимоги технічної естетики;
- має бути безпечним під час експлуатації.

Питання безпеки устаткування особливо гостро стоять у виробництвах таких полімерів і полімерних матеріалів, як нітрати целюлози, порохи і тверді ракетні палива. Це устаткування повинно передбачати ефективні заходи щодо попередження можливого загоряння продукту в процесі виробництва. До таких заходів належать:

- недопущення застійних зон, де можуть накопичуватися вибухонебезпечні продукти або їхні пари, відповідно жорсткі вимоги до зварних швів, вони не повинні мати пори, тріщини, шлакові включення;
- забезпечення мінімального завантаження устаткування вибухонебезпечним продуктом;
- усунення ударної взаємодії деталей обладнання за наявності продукту, якщо це не вдається, то вузли та деталі повинні бути виготовлені з матеріалів, що не дають іскри (різної твердості, наприклад, сталь, кольоровий метал);

– винесення електропривода з технологічного приміщення, у цьому разі зв'язок із приводом здійснюється за допомогою вала, що проходить через стінку із сальниковим ущільненням.

Якщо загоряння продукту можливе, то необхідні заходи, що попереджають перехід горіння у вибух. Для цього використовують спеціальні пристрої, що дозволяють скидати тиск із замкнутого об'єму (розривні мембрани, запобіжні клапани). У разі можливого загоряння або вибуху на одній із фаз повинні бути передбачені заходи щодо нерозповсюдження їх на сусідні ділянки. Для цього застосовують розриви між фазами з використанням спеціальних транспортних засобів.

1.2 Принципи розробки устаткування

Розробка устаткування починається з вибору його принципу дії і конструкції, які забезпечують проведення технологічного процесу. Цей вибір залежить від різних чинників, насамперед техніко-економічних. Варто враховувати, що один і той самий технологічний процес може здійснюватися з устаткуванням різного конструктивного виконання. Наступним етапом виконують розрахунок устаткування, потім розробляють його елементи.

Під час розроблення нових зразків устаткування необхідно враховувати, що частина вузлів устаткування водночас уніфікована і стандартизована. Є нормативна документація, стандарти, каталоги, у яких репрезентовані вже розроблені окремі види обладнання, вузли, деталі. Під час створення нового устаткування потрібно максимально використовувати стандарти, нормалізовані і стандартизовані елементи. Це скорочує терміни і трудомісткість його створення, полегшує ремонт і, відповідно, експлуатацію.

Загалом розрахунок устаткування містить як складові розділи такі розрахунки: технологічний, гідравлічний, тепловий, визначення потужності електропривода, механічний. Необхідність того чи іншого розрахунку залежить від типу і призначення устаткування. Під час технологічного розрахунку складають матеріальні баланси, визначають рушійну силу проведеного

процесу, встановлюють його кінетичні параметри. Цей розрахунок дозволяє визначити потоки, що проходять через устаткування, продуктивність, розміри обладнання та його елементів. У гідравлічному розрахунку визначають гідравлічний опір, витрати енергії на проходження через устаткування робочих середовищ. Тепловий розрахунок містить складання теплового балансу, визначення поверхні теплообміну, витрат теплоносіїв. Унаслідок цього розрахунку визначають розміри елементів устаткування, енерговитрати. Метою механічного розрахунку є визначення розмірів елементів устаткування, які забезпечують йому необхідну міцність (міцнісний розрахунок), а також їхньої стійкості, кінематичних і динамічних характеристик. Для міцнісного розрахунку необхідно знати характеристики матеріалу, з якого виготовляють устаткування (конструкційний матеріал).

1.3 Відомості про конструкційні матеріали, які використовують для виготовлення устаткування

Специфічні умови хімічних виробництв, зокрема виробництво високомолекулярних сполук (високий тиск, температура, агресивність середовища), визначають такі вимоги до конструкційних матеріалів, що використовують для виготовлення обладнання, як необхідна міцність, достатня корозійна стійкість, низька вартість. Від матеріалу обладнання часто залежить технологія його виготовлення, а іноді і конструкція.

Як конструкційні матеріали для устаткування виробництва високомолекулярних сполук використовують: чорні метали (сталь, чавун), кольорові метали і сплави (алюміній, латунь, бронза та ін.), неметалеві матеріали (полімерні, силікатні та ін.).

1.3.1 Чорні метали

Сталь. З матеріалів, які використовують для виготовлення обладнання, найбільше значення мають сталі, які поставляють на машинобудівні заводи у вигляді листів, прокату, поковок, труб, дроту. Сталь – це сплав заліза з вуглецем, вміст якого приблизно 2 % і менше (0,08–2,14 %). Конструкційні сталі поділяють на вуглецеву і леговану. Вуглецева сталь може бути звичайної

якості і якісною, легована – низьколегованою, легованою і високолегованою.

Вуглецеву сталь звичайної якості в процесі виплавки очищують від домішок і застосовують для неагресивних середовищ до температури $+420^{\circ}\text{C}$ і тиску 5 МПа. За призначенням і властивостями вона підрозділяється на три групи: А – з гарантованими механічними властивостями; Б – з гарантованим хімічним складом, В – з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом. Вуглецеву сталь звичайної якості позначають буквами «Ст.» і цифрою від 0 до 7 (номер марки), яка вказує на механічні характеристики для сталей групи А, вміст вуглецю для групи Б та інше для групи В. Для групи Б і В вказують спосіб виробництва (М – мартенівський; Б – бесемерівський; К – конверторний).

Приклад позначення вуглецевих сталей звичайної якості: Ст. 3 – сталь групи А, марки 3 ($\sigma_{\text{в}} = 380 - 470$ МПа); МСт 1 – сталь групи Б, марки 1 (вміст вуглецю 0,06–0,12 %), вироблена мартенівським способом; ВК Ст. 2 – сталь групи В, марки 2 ($\sigma_{\text{в}} = 340 - 420$ МПа, вміст вуглецю 0,09–0,15 %), вироблена конверторним способом. Із сталі звичайної якості виготовляють мало-відповідальні деталі машин і апаратів, що працюють за порівняно невеликого навантаження (корпуси ємностей, втулки, болти, гайки тощо).

Якісну вуглецеву сталь у процесі виробництва ретельно очищують від шкідливих домішок (особливо сірки і фосфору), у ній контролюють вміст вуглецю. Застосовують для неагресивних середовищ до температури $+475^{\circ}\text{C}$ і тиску 10 МПа. Позначають словом «Сталь» і числом 08; 10; 15 тощо, яке характеризує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Найбільшого поширення набули середньовуглецеві сталі (вміст вуглецю – 0,30–0,50 %) у зв'язку з тим, що мають високу міцність, достатню пластичність, добре обробляються різанням, прокатуються. Якісну вуглецеву сталь використовують для виготовлення відповідальних деталей: валів, шестерень, гідроциліндрів, автоклавів тощо. Приклад позначення: сталь 15, де 15 – середній вміст вуглецю 0,15 % (допустимі межі – 0,12–0,19 %).

Легована сталь характеризується наявністю легувальних добавок, які по-різному впливають на її механічні та фізико-хімічні властивості. Наприклад, хром підвищує міцність, твердість; нікель зміцнює сталь і одночасно надає їй високої пластичності, підвищує корозійну стійкість; марганець підвищує зносостійкість тощо.

Низьколеговані сталі містять легувальні елементи до 2,5 %. Їх застосовують для неагресивних середовищ за температури від $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $475\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 10 МПа. Більшість цих сталей добре зварюється, обробляється штампуванням, має низьку вагитість; добавки хрому, нікелю забезпечують їм корозійну стійкість в атмосферних умовах.

Леговані сталі відрізняються від низьколегованих вмістом легованих елементів від 2,5 % до 10 %. Застосовують для слабоагресивних середовищ за температури від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $560\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Високолеговані сталі характеризуються великим вмістом легувальних елементів – 10 % і більше. Залежно від призначення вони поділяються на групи: корозійностійкі (нержавіючі) сталі, що мають високий опір електрохімічної корозії (атмосферної, кислотної, лужної, сольової тощо); жаростійкі сталі, здатні у слабонавантаженому стані чинити опір хімічному руйнуванню в газових середовищах за температури вище ніж $550\text{ }^{\circ}\text{C}$; жароміцні сталі здатні працювати під навантаженням за температури вище ніж $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ тощо.

Леговані сталі маркують за буквено-цифровою системою. Літерами позначають легувальні елементи: Х – хром, Н – нікель, Г – марганець, М – молібден, Т – титан, Б – ніобій, Ю – алюміній, Д – мідь, С – кремній, В – вольфрам, К – кобальт, Ц – цирконій, Ф – ванадій. Цифри показують вміст вуглецю і легувальні елементи. Перші дві цифри, що стоять на початку позначення, вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, а цифри, що йдуть за буквами, – середній вміст даного легувального елемента в цілих відсотках. Якщо вміст вуглецю у сталі 1 % і більше, а легувального елемента 1 % і менше, то цифри відсутні.

Приклади позначення: Сталь 14 Г – низьколегована марганцевиста сталь, що містить 0,14 % вуглецю і менше ніж 1 %

марганцю; Сталь 12 ХМ – низьколегована хромомолібденова сталь, що містить 0,12 % вуглецю, менше ніж 1 % хрому і менше ніж 1 % молібдену; сталь 12Х18 НІОТ – високолегована сталь, що містить 0,12 % вуглецю, 18 % хрому, 10 % нікелю і менше ніж 1 % титану.

Відома двошарова листовая сталь, що складається з двох шарів: перший – звичайна сталь, другий – легована. Крім конструкційних сталей, існують й інші види сталей, що застосовують під час виготовлення устаткування виробництва ВМС, наприклад, інструментальна, шарикопідшипникова.

Чавун – являє собою сплав заліза з вуглецем, вміст якого становить від 2 % до 4 %. Чавун має гарні ливарні властивості, тому його застосовують у тому разі, коли обладнання виготовляють методом лиття. Добре обробляється різанням, але погано зварюється. Його недолік – крихкість. Застосовують за тиску не більше ніж 2,5 МПа. Але багато видів чавуну мають високу корозійну стійкість і жаростійкість.

Найбільш поширені види чавунів: сірий, ковкий, лужно-стійкий, висококремнистий.

Сірий чавун має на зламі сірий або темно-сірий колір, що пов'язане з великим змістом вільного графіту. Він має такі високоливарні властивості: малу усадку, гарну рідкоплинність, порівняно невисоку температуру плавлення (≈ 1200 °С). Позначають: СЧ 12-28, – сірий чавун, межа міцності за умови розтягування – 120 МПа, межа міцності за умови вигину – $\sigma_b = 280$ МПа. Із сірого чавуну виготовляють корпуси хімічних апаратів, рами машин, колінчасті вали, зубчасті колеса.

Ковким чавун назвали умовно, оскільки він має більш високу пластичність, ніж інші види чавуну. Має велику міцність порівняно із сірим чавуном, тому його застосовують для виготовлення відповідальних деталей хімічного устаткування. Позначають буквами КЧ і двома числами, перше з яких показує межу міцності під час розтягування, друге – відносне подовження. Наприклад, КЧ 37-12 – ковкий чавун, межа міцності якого $\sigma_b = 370$ Мпа, відносне подовження $\delta = 12$.

Лужно-стійкий чавун належить до легованих чавунів, тобто містить добавки, які забезпечують йому гарну стійкість у розчинах і розплавах їдких лугів. Тому його широко застосовують в хімічному машино- й апаратобудуванні. Наприклад, чавун марки СЧЦ-1 містить 3,2–3,6 вуглецю, 0,8–1,0 нікелю, а також інші легувальні елементи (кремній, марганець, фосфор, хром). Число після буквеного позначення вказує зразковий вміст нікелю.

Висококремнистий чавун. Для виготовлення хімічної апаратури, яка підлягає впливу сірчаної та азотної кислот, нітратів та інших агресивних середовищ, застосовують висококремністі чавуни: феросиліди й антихлор. Феросилід С-15 містить 0,5–0,8 % вуглецю, 14,5– 6,0 % кремнію і 0,3–0,8 % марганцю; феросилід С-17 – відповідно 0,3–0,5 % вуглецю, 16,0–18,0 % кремнію і 0,3–0,8 % марганцю; антихлор МФ-15 містить 0,5–0,6 % вуглецю, 14,5–16,0 % кремнію, крім того, у нього входять марганець і молібден. Феросиліди придатні для роботи в агресивному середовищі за нагрівання до 850–900 °С. Антихлор стійкий у соляній кислоті, що інтенсивно руйнує більшість металів, зокрема і феросиліди. Проте висококремністі чавуни дуже крихкі, майже не піддаються обробці різанням, мають низькі показники ливарних властивостей.

1.3.2 Кольорові метали і сплави

З кольорових металів і сплавів найбільше застосування мають мідь, латунь, бронза, алюміній, титан.

Мідь має порівняно невисоку механічну міцність. На поверхні не утворює захисних оксидних плівок, тому і не має хімічної стійкості в більшості кислот і солей. Багато газів (сірководень, діоксид вуглецю, аміак, сірнистий ангідрид та ін.) руйнують мідь. Але на неї майже не діють розчини лугів. За низької температури міцність міді зростає, що робить її незамінним матеріалом для виготовлення апаратів глибокого охолодження.

Латунь являє собою сплав міді з цинком, вміст якого досягає 45 %. Звичайні латуні пластичні, досить міцні, добре обробляються тиском, різанням. Їх позначають літерою Л і цифрою, що вказує вміст міді, наприклад, Л 96 – латунь що містить

95–97 % міді. Механічні і технологічні властивості, опір корозії, теплостійкість латуні можуть бути поліпшені введенням легувальних елементів, таких як алюміній, залізо, марганець та ін. Називають такі латуні за назвою легувальних добавок, які також вводять у позначення, наприклад, залізо-марганцева ЛЖ Мц 59-1-1 містить 59 % міді, 1 % заліза, 1 % марганцю, решта цинк (39 %).

Бронза – це сплав міді з іншими кольоровими металами. Залежно від вмісту кольорового металу розрізняють бронзи олов'яні (містять олово) і безолов'яні (без олова): алюмінієві, марганцеві, свинцеві та ін. Олов'яні бронзи містять 2–14 % олова і відрізняються високими механічними, ливарними, антифрикційними властивостями, а також корозійною стійкістю в багатьох агресивних середовищах, морозостійкістю, гарною зварюваністю. Однак ці бронзи застосовують рідко через високу вартість олова. Властивості безолов'яних бронз залежать від виду і кількості кольорових металів, що вводять. Бронзи позначають буквами Бр, після яких ідуть букви, що вказують введені кольорові метали, потім цифри, що показують середній вміст кольорових металів у цілих відсотках (решта мідь). Наприклад, Бр. ОЦ 4-3 – бронза олов'яно-цинкова, що містить 4 % олова, 3 % цинку, решта мідь (93 %); Бр. АЗ 9-4 – бронза алюмінієво-залізна, що містить 9 % алюмінію, 4 % заліза, решта мідь (87 %).

Алюміній має низьку щільність, високу пластичність, але через малу міцність ($\sigma_{\text{в}} = 80 \text{ МПа}$) його обмежено застосовують як конструкційний матеріал. Можна використовувати для виготовлення ємнісного устаткування для середовищ із підвищеною агресивністю, що пов'язане з його здатністю утворювати на поверхні захисну оксидну плівку. Перевагою є його здатність працювати в широкому діапазоні температур від $-196 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150 \text{ }^{\circ}\text{C}$. На основі алюмінію створили і застосовують велику кількість сплавів із різними властивостями.

Титан дуже перспективний конструкційний матеріал. Легкий, міцний він має високу корозійну стійкість у багатьох агресивних середовищах і з огляду на це перевершує більшість легованих сталей, але дорогий і тому для виготовлення хімічного обладнання його застосовують обмежено.

1.3.3 Неметалічні матеріали

З неметалічних матеріалів для виготовлення хімічного обладнання й окремих його елементів використовують полімерні матеріали (пластмаси, гума), скло, кераміка, природні кислототривкі (андезит, діабаз).

До пластмас, що застосовують у хімічному обладнанні, належать фаоліт, вініпласт, фторопласти. **Фаоліт** отримують із термореактивної фенолформальдегідної смоли і кислотостійкого наповнювача. Його ділять на марки: А – наповнювачем служить азбест, Г – графіт, П – кварцовий пісок. Застосовують в діапазоні температур від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вініпласт є термопластичною пластмасою на основі полівінілхлориду. Цей матеріал має досить високу міцність ($\sigma_{\text{в}} = 40\text{--}60\text{ МПа}$), може піддаватися механічній обробці, зварюватися. Він стійкий до кислот (крім концентрованої азотної кислоти, олеума), лугів, розчинів солей, не розчиняється в багатьох органічних розчинниках. Але вініпласт має низьку теплостійкість (до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

У хімічному обладнанні широко застосовують фторопласти – галогенопохідні етилену: тетрафторетилен (фторопласт-4), трифторхлоретилен (фторопласт-3).

Фторопласт-4 не змочується і не набухає у воді, не розчиняється в жодному розчиннику, стійкий до впливу концентрованих кислот і лугів. Але має низьку твердість, не зварюється, не склеюється. **Фторопласт-3** має більш високу міцність, стійкий до сірчаної, соляної, азотної кислот, розчинів лугів до температури $50\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розчиняється в окремих видах органічних розчинників.

Гуму застосовують для прокладок у фланцевих з'єднаннях, а також для захисту металевих поверхонь від агресивних середовищ. Нанесення такого захисту називають гумуванням. Гума стійка до кислот (сірчана кислота до 70 %), дії рідких розчинників. Температурні межі застосування – $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Керамічне обладнання виготовляють з певних сортів глини з подальшим випалюванням. Кераміка стійка до сильно-

дійних кислот, крім плавикової, менш стійка до лугів. Недолік кераміки – крихкість. Застосовують для виготовлення невеликих апаратів, деталей хімічного обладнання, а також для захисту металевого обладнання від сильно агресивних середовищ. Витримує високі температури (до 400 °С).

Захист внутрішніх поверхонь металевого ємнісного обладнання керамічною плиткою називають футеруванням. Футерування також здійснюють андезитовою і діабазовою плитками, що виготовляють із гірських порід. Як єднальний матеріал під час укладання таких плиток використовують спеціальні андезитові або діабазові замазки.

Скло у виробничих умовах через його крихкість застосовують дуже рідко. Найчастіше склоподібні склади використовують для захисту внутрішньої поверхні апаратів від агресивних середовищ. Нанесення покриття зі скла на металеву поверхню називають емальюванням. Емальоване обладнання застосовують до температури +250 °С.

Під час футерування й емальювання обладнання може виготовлятися з низьковуглецевої сталі і чавуну, що здешевлює його.

Недолік футерування й емальювання – низька міцність. Пошкодження емалі в одному місці призводить до руйнування всієї поверхні.

1.4 Характеристики міцності і корозійні характеристики

Основними характеристиками матеріалів, що визначають їхню міцність, є межа міцності (тимчасовий опір) і межа плинності. Межа міцності σ_b – це напруження, що виникає в зразку матеріалу і відповідна найбільшому навантаженню, перевищення якої призводить до руйнування зразка. Межа плинності σ_t – це найменше напруження за якого деформація матеріалу зростає без збільшення навантаження.

σ_b є характеристикою крихких матеріалів, а σ_t – пластичних. В обладнанні, що працює, дійсні напруження не повинні доходити до граничного напруження, тому введено поняття допустимого

напруження $\sigma_{\text{доп}}$, за якого забезпечують роботу обладнання без руйнування і перевитрат матеріалу

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{г}}}{n_{\text{г}}}; \quad \sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{т}}}{n_{\text{т}}},$$

де $n_{\text{г}}$ – коефіцієнт запасу міцності на межі міцності; $n_{\text{т}}$ – коефіцієнт запасу міцності на межі плинності.

Ці коефіцієнти залежать від різних чинників, їх призначає конструктор. Для обладнання, що містить небезпечні речовини, вводять поправний коефіцієнт $\eta = 0,85 - 1,0$. У цьому разі

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{г}}}{n_{\text{г}}} \eta.$$

Корозією називають руйнування металу внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з контактувальним середовищем.

Під час виконання розрахунків на міцність необхідно враховувати корозійні дії середовища на обладнання. Для цього до товщини стінки апарата, яку визначають із міцнісного розрахунку, додають товщину (надбавку на корозію), що розраховують як

$$C = v \tau,$$

де v – швидкість корозії (довідкова величина);

τ – термін служби обладнання (зазвичай вважають 10–20 років).

За швидкістю корозії матеріали ділять на групи залежно від виду матеріалу, його складу і активного середовища: досить стійкі – 0,001–0,01 мм/рік, стійкі – 0,01–0,1 мм/рік, зниженою стійкості – 0,1–1, 0 мм/рік, малостійкі – 1,0–10 мм/год.

Для зменшення корозійної дії середовища, що контактує з металом, застосовують різні способи захисту обладнання від корозії [1].

2 ЄМНІСНЕ УСТАТКУВАННЯ

Ємнісне устаткування (ємнісні апарати) – це устаткування, основним елементом якого є ємність – пристрій, що являє собою оболонку, яка містить певний простір. У цьому розділі будемо розглядати ємнісні апарати без внутрішніх пристроїв: ємностей, судин, резервуарів. Таке обладнання широко використовують у хімічній промисловості, зокрема виробництві високомолекулярних сполук. Крім того, ємність є елементом більшості хімічного обладнання (реакторів, сушарок, колонних апаратів тощо).

2.1 Класифікація ємнісного устаткування

Ємнісні апарати можуть бути вертикальними і горизонтальними, мати різну форму: циліндричну, прямокутну, конічну, кульову.

Вертикальне розташування таких апаратів застосовують у разі обмеженості виробничої площі, горизонтальне – висоти (рис. 2.1).

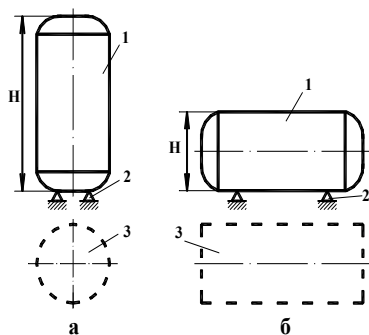


Рисунок 2.1 – Вертикальні (а) і горизонтальні (б) ємнісні апарати: 1 – ємність, 2 – опори; 3 – займана ними площа.

Найбільше застосування мають ємнісні апарати циліндричної форми (рис. 2.2 а).

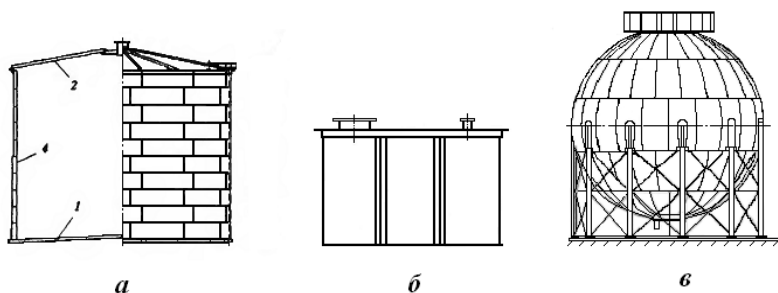


Рисунок 2.2 – Ємнісні апарати різної форми:
 а – циліндричної; б – прямокутної; в – кульової

Циліндричні ємності більш технологічні у виготовленні, витримують більший тиск і менш металовмісні порівняно з ємностями прямокутної форми. Ємності прямокутної форми (рис. 2.2 б) застосовують у тому разі, коли виникає необхідність їхнього виготовлення на місці установки. Вони погано тримають тиск і їх використовують переважно для наливання рідин. Ємнісне устаткування кульової форми застосовують для зберігання під тиском легколетких рідин або зріджених газів (рис. 2.2 в), конічної – для зберігання сипких матеріалів або забруднених рідин (що містять тверду дисперсну фазу).

За призначенням ємнісне устаткування без внутрішніх пристроїв підрозділяють так:

- сховища – для зберігання рідин, газів (газгольдери), сипких матеріалів (бункери);
- збірники – для збирання рідин, що надходять з інших апаратів (рис. 2.3 а); можуть служити буферними посудинами, що згладжують коливання витрати, для газів таку ємність називають ресивером (рис. 2.3 б);
- напірні баки – для забезпечення постійного тиску рідини (рис. 2.3 в);
- мірники – для періодичного відмірювання (дозування) заданих об’ємів рідини.

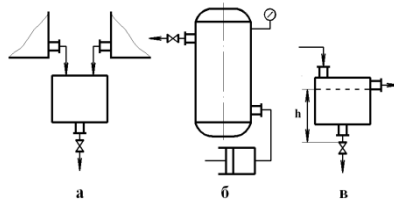


Рисунок 2.3 – Схеми ємнісного обладнання різного призначення: а – збірник; б – ресивер; в – напірний бак;

Ємнісне устаткування має й інше призначення [5].

2.2 Типовий ємнісний апарат і його елементи

Схема типового, тобто характерного для такого типу обладнання (має основні ознаки такого типу) ємнісного апарата наведена на рисунку 2.4.

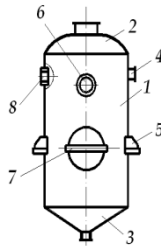


Рисунок 2.4 – Схема типового ємнісного апарата:
1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – штуцер; 5 – опори;
6 – оглядове вікно; 7 – люк; 8 – бобишка

Основними елементами ємнісного апарата є корпус 1, кришка 2, днище 3, штуцер 4, опори 5. Додатково апарат може мати оглядові вікна 6 (якщо необхідне візуальне спостереження за середовищем, що міститься в апараті), люк 7 (за необхідності огляду і чищення всередині апарата), бобишки 8 (для установки первинних перетворювачів (датчиків) контрольно-вимірювальних пристроїв).

Корпус ємнісного апарата може бути цілісним або складатися з частин, які називають обичайками (рис. 2.5 а) у разі його суцільнозварної конструкції, або царгами (рис. 2.5 б, в) за

умови роз'ємнофланцевої конструкції. Часто сам корпус суцільнозварний називають обичайкою.

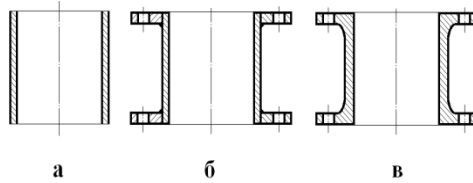


Рисунок 2.5 – Частина корпусу ємнісного апарата:
а – обичайка; б – зварна царга; в – лита царга

Кришки і днища ємнісного апарата зазвичай мають однакову конструкцію, яку в разі приєднання зверху корпусу називають кришкою, знизу – днищем. Кришки і днища за формою поділяються на плоскі, еліптичні, сферичні (напівкульові), конічні. Плоскі, сферичні і конічні кришки можуть бути з відбортовкою на циліндр (відбортовані) і без відбортовки. Стандартні еліптичні виготовляють тільки з відбортовкою.

Плоскі кришки і днища являють собою пластини, що приєднують до обичайки зварюванням або за допомогою фланцевого з'єднання (рис. 2.6).

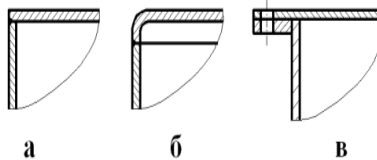


Рисунок 2.6 – Плоскі кришки ємнісних апаратів:
а – у разі з'єднання зварюванням без відбортовки;
б – з відбортовкою; в – фланцева кришка

Такі кришки застосовують у ємнісних апаратах, що працюють під атмосферним тиском, а також для люків і заглушок на штуцерах.

Сферичні (напівкульові) кришки з відбортовкою (коробові) і без відбортовки (тарілчасті) сьогодні мають обмежене

застосування. Вони складні у виготовленні, тому що їх не можна штампувати з цілісного листа (зварюють з окремих штампованих елементів). Застосовують їх для великих апаратів (діаметром понад 4 000 мм) за тиску до 1,6 МПа.

Конічні днища (рис. 2.7) застосовують у вертикальних апаратах, з яких необхідно видаляти сипкий матеріал або рідину з твердим осадом.

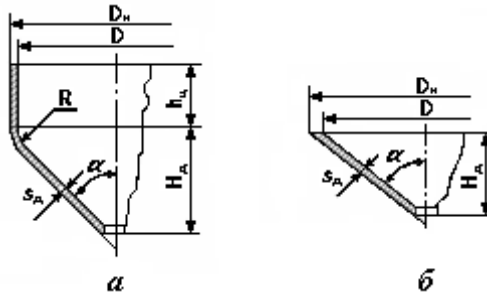


Рисунок 2.7 – Конічне днище:
а – з відбортовкою; б – без відбортовки

Така форма днища полегшує видалення цих матеріалів з апарата.

Еліптичні кришки і днища набули найбільшого поширення. Вони мають форму еліпса (рис. 2.8), витримують високі тиски, виготовляються штампуванням із цілісного листа, стандартизовані.

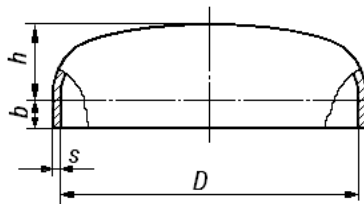


Рисунок 2.8 – Еліптичні кришки (днище)

До корпусу апарата еліптичні кришки і днища приєднують (рис. 2.9) зварюванням (нероз’ємне з’єднання), утворюючи

цілісний корпус, або за допомогою фланцевого з'єднання (роз'ємне з'єднання).

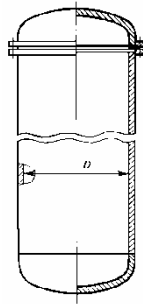


Рисунок 2.9 – З'єднання еліптичної кришки і днища з корпусом апарата

Штуцер. Складається з патрубк (короткої труби) і фланця (рис. 2.10).

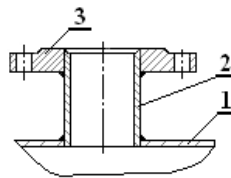


Рисунок 2.10 – Штуцер:

1 – стінка апарата; 2 – патрубок; 3 – фланець

До штуцера за допомогою фланцевого з'єднання приєднують трубопроводи або інші пристрої. Мінімальна довжина патрубк повинна забезпечувати установку болтів під час монтажу трубопроводу. Таке саме призначення мають **бобишки**, частіше вживані для установки контрольно-вимірювальних приладів (рис. 2.11).

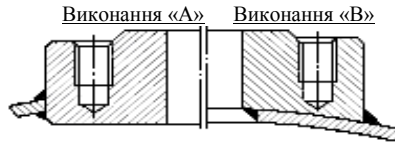


Рисунок 2.11 – Бобишка

Люки служать для завантаження сировини, огляду і чищення внутрішньої порожнини апарата, монтажу і демонтажу внутрішніх пристроїв. Люк являє собою патрубок великого діаметра, закритий кришкою (рис. 2.12). Кришка може бути з кріпленням на болтах або відкидною на завісах (поворотній скобі), а також мати інші конструкції.

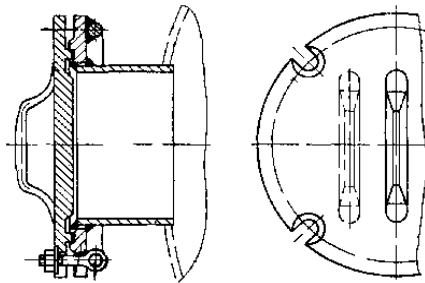


Рисунок 2.12 – Люк

У разі діаметра люка більше ніж 750 мм через нього всередину апарата може влізати робочий із метою огляду, чищення, монтажу і демонтажу пристроїв. Такий люк часто називають **лаз**.

Оглядовими вікнами ємнісні апарати забезпечують у тому разі, коли необхідний візуальний контроль середовища, що міститься всередині апарата. Зазвичай вони являють собою бобишку, у яку встановлено скло, закріплене за допомогою фланця і прокладок (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Оглядове вікно ємнісного апарата

Опори. Для установки ємнісних апаратів на фундамент або несучу конструкцію (майданчик, раму) вони повинні мати опори. Застосовують різні типи опор залежно від конструкції апарата, навантаження й умов установки (рис. 2.14).

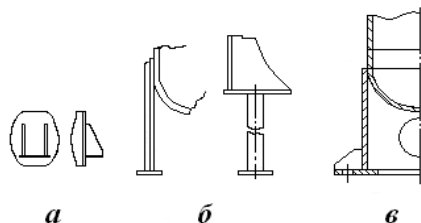


Рисунок 2.14 – Опори ємнісних апаратів:

а – опорні лапи; б – стояки з труб і куточків; в – опорна обичайка

Під час розміщення вертикальних апаратів на несучій конструкції застосовують опорні лапи (рис. 2.14 а), на підлозі або фундаменті – опорні обичайки (рис. 2.14 в). Невеликі апарати іноді встановлюють на стояках із труб або куточків (рис. 2.14 б). Горизонтальні апарати укладають, зазвичай, на сідлові опори, типова конструкція яких подана на рисунку 2.15.

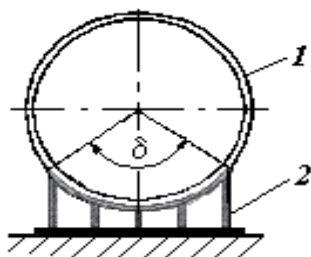


Рисунок 2.15 – Сідлова опора горизонтального ємнісного апарата:

1 – корпус апарата; 2 – опора

Ущільнення рознімних з'єднань ємнісних апаратів. Найбільш поширеним видом рознімного з'єднання ємнісних апаратів є фланцеве з'єднання. Для забезпечення герметичності його ущільнюють за допомогою прокладок. Призначення прокладки – усунути зазор між поверхнями ущільнювачів фланців

і витік рідини або газу. Вибір матеріалу для прокладок залежить від температури, тиску й агресивності середовища, що містяться в апараті. Найбільш використовуваними прокладними матеріалами є картон, гума, пароніт, полімерні матеріали, а також метали і сплави. Наприклад, картон (простий і просочений) застосовують для пасивних середовищ за тисків до 0,4 МПа і температур до 120°C. Звичайні сорти гуми придатні для температур до 100 °С, спеціальні – до 200 °С. Пароніт використовують переважно для води і пари за температур до 450 °С і тиску до 5 МПа, азбестовий картон – для агресивних середовищ за тисків до 2,5 МПа і температур до 500°C. Види ущільнень фланцевих з'єднань подано на рисунку 2.16.

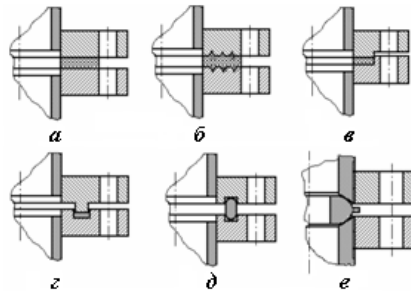


Рисунок 2.16 – Види ущільнень фланцевих з'єднань:
 а – плоске; б – плоске з ризиками; в – виступ – западина;
 г – шип – паз; д – із шліфованим кільцем; е – лінзовий

Ущільнення фланцевих з'єднань може бути (рис. 2.16 б): із плоскими поверхнями ущільнювачів фланців, що застосовують до умовного тиску 2,5 МПа; з ризиками на ущільнювальних поверхнях, що збільшують зчеплення з прокладкою; з виступом – западиною, що застосовують до тисків 16 МПа і до $Dy = 800$ мм (до 20 МПа і до $Dy = 250$ мм); шип – паз, що застосовують до тисків 10 МПа і до $Dy = 800$ мм (за менших тисків можуть застосовувати для великих діаметрів); зі шліфованим металевим кільцем – до 20 МПа; лінзове ущільнення – до 100 МПа.

2.3 Ємнісні апарати, що працюють під високим тиском

Високим тиском у застосуванні до підприємств хімічної промисловості зазвичай вважають тиск більше ніж 10 МПа. Апарати, що працюють за такого тиску, застосовують у виробництві поліетилену та інших хімічних продуктів (аміаку, сечовини тощо). Високий тиск зумовлює форму апаратів: вони мають порівняно малий діаметр, що знижує зусилля, яке діє зсередини на корпус, і менший периметр ущільнення кришки. Необхідний технологічний обсяг у цьому разі забезпечують завдяки довжині (висоті) апарата, у зв'язку з чим апарати, що мають значну довжину (висоту), називають колонами. Товщина стінки таких апаратів вибирають з умови $D_n/D_v > 1,2$; відношення діаметра корпусу до його довжини $D_n/L = 1 : (10 \div 15)$. Апарати, що працюють під високим тиском, можуть мати різне конструктивне виконання: єдиний корпус із днищем і горловиною, діаметр якої менше, ніж діаметр апарата (рис. 2.17 а), або корпус із роз'ємними кришками, діаметр яких дорівнює діаметру апарата (рис. 2.17 б).

Апарати з горловиною менше, ніж діаметр апарата, застосовують у тому разі, якщо внутрішній устрій значно менше, ніж діаметр апарата. Вона має перевагу, пов'язану з тим, що її периметр ущільнення менше, ніж діаметр апарата.

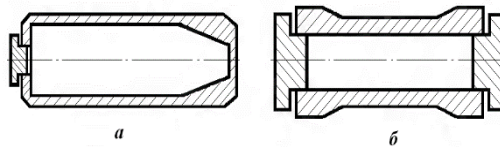


Рисунок 2.17 – Конструкції корпусу апарата високого тиску:
а – корпус із днищем і горловиною; б – із двома кришками

Корпус апарата залежно від способу виготовлення може бути литим, кованим, звареним і багатошаровим. Литий корпус найбільш простий у виготовленні, але його міцність приблизно на 40 % менше, ніж у кованого. Зварений корпус зварюють із штампованих напівобичайок або обичайок, кований – з цільної

сталевій виливці. Кований корпус є найбільш міцним з огляду на те, що під час кування усувають дефекти (раковини і порожечки), що виникають під час лиття. Високу міцність має багатошаровий корпус, який дешевше за суцільнокований на 25–30 %. Багатошаровий корпус збирають за допомогою зварювання з окремих обичайок (рис. 2.18). Кожна обичайка має внутрішню гільзу і кілька шарів, звальцьованих із сталевих листів. Така конструкція корпусу дозволяє мати необмежену товщину стінки і розміри апарата.

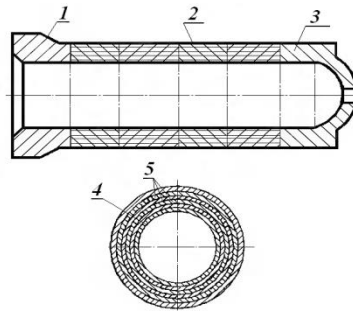


Рисунок 2.18 – Багатошаровий корпус апарата високого тиску:
1 – фланець; 2 – обичайка; 3 – днище; 4 – гільза;
5 – концентричні шари

У корпусі будь-якої конструкції апарата високого тиску не рекомендують робити отвори для штуцерів і бобишок, тому що вони знижують міцність корпусу. Вводи і виводи здійснюють через кришку. За наявності перемішувального пристрою в апаратах, що працюють під тиском більш ніж 100 МПа, застосовують безсальниковий герметичний привід, розміщений всередині апарата.

Ущільнення кришки з корпусом в апараті високого тиску забезпечують за допомогою обтюратора – прокладки спеціальної конструкції (рис. 2.19).

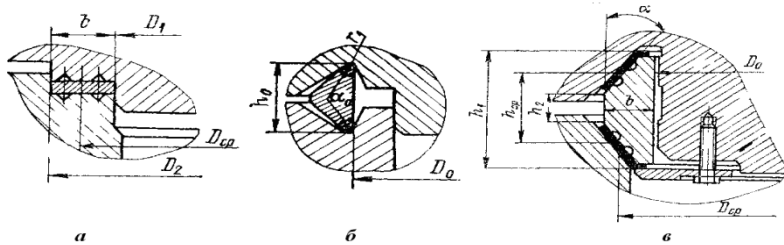


Рисунок 2.19 – Конструкції вузлів ущільнення:
 а – примусового ущільнення з obtюратором із м'якого металу;
 б – вузол з осьовим самоущільненням; в – вузол із радіальним самоущільненням

За типом obtюратора вузли ущільнення розрізняють: з пластичним obtюратором із м'якого металу (мідь, алюміній), який у разі герметизації доводять до пластичного стану; із пружним obtюратором, який працює в області пружних деформацій. Залежно від способу obtиску obtюратора вузли ущільнення поділяють на дві групи: з примусовим ущільненням, у яких obtиснення відбувається кріпильними шпильками (рис. 2.19 а) і самоущільнювані вузли, у яких obtюратор obtискається тиском всередині апарата (рис. 2.19 б і в).

2.4 Розрахунок ємнісних апаратів

Розрахунок ємнісного апарата містить технологічний і міцнісний розрахунки. Завданням технологічного розрахунку є визначення основних розмірів: діаметра (для апаратів циліндричної і конічної форм) і висоти (довжини для горизонтальних апаратів). Міцнісний розрахунок дозволяє визначити товщину стінки за надмірного тиску всередині і поза апаратом або допустимий тиск за заданої товщини стінки.

2.4.1 Технологічний розрахунок ємнісних апаратів

Діаметр циліндричного ємнісного апарата розраховують як геометричну величину

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}}, \quad (2.1)$$

де V – об'єм апарата ; H – висота (довжина).

Значення висоти (довжини) визначають на підставі умов розміщення апарата в приміщенні або з інших міркувань, наприклад, раціональних витрат металу під час виготовлення апарата [2]. Під час визначення висоти апарата можуть бути і технологічні міркування, наприклад, у варіанті напірного бака, де висота визначає напір рідкого середовища. Якщо за технологічними умовами діаметр апарата відомий, то висоту виражають із формули (2.1).

Обсяг апарату визначають на підставі його функціонального призначення. Як приклад розглянемо такі варіанти ємнісних апаратів.

Сховище. Об'єм апарата, призначеного для зберігання рідкого середовища, дорівнює

$$V = \frac{g\tau}{\rho},$$

де g – масова витрата середовища; τ – час роботи; ρ – густина середовища.

Під час розрахунку необхідно враховувати вплив на обсяг температурних режимів зберігання, а в разі зберігання газів також і залежність густини від тиску газу.

Мірник. Обсяг апарата визначають за формулою

$$V = \frac{m n \tau}{\rho},$$

де m – маса однієї дози; n – кількість доз за одиницю часу; τ – час роботи апарата.

У цьому разі під час розрахунку потрібно враховувати також відношення H/D , що впливає на точність вимірювання дози.

Напірний бак. Основною характеристикою в цьому разі є висота стовпа рідини, яку визначають як

$$H_{ж} = \frac{P}{\rho g},$$

де P – необхідний напір середовища; g – прискорення вільного падіння.

Обсяг напірного бака задають на підставі експлуатаційних умов, наприклад, рівномірної подачі середовища або умов розміщення апарата.

2.4.2 Міцнісний розрахунок ємнісних апаратів

2.4.2.1 Розрахунок тонкостінних апаратів, що працюють під внутрішнім тиском

Під час розрахунку на міцність здебільшого ємність розглядають як тонкостінну оболонку. Унаслідок розрахунку визначають товщину стінки.

Існує два методи розрахунку тонкостінних ємнісних апаратів:

- безмоментної теорії;
- крайового завдання (моментної теорії).

Метод безмоментної теорії. Цей метод можна застосовувати тільки за певних умов. Такими умовами є:

1) товщина стінки повинна бути дуже малою порівняно з іншими розмірами апарата. На практиці виходять із такого співвідношення

$$\frac{\delta}{R} \leq 0,1,$$

де δ – товщина стінки; R – радіус перерізу апарата;

2) ємність повинна являти собою тіло обертання, тобто утворена обертанням лінії навколо осі, що лежить в її площині (відповідно ємність прямокутної форми не розраховують);

3) навантаження повинно бути симетричним щодо осі обертання (рис. 2.20);

4) стінки апарата не повинні мати різких переходів, жорстких кріплень, навантаження у вигляді згинального моменту.

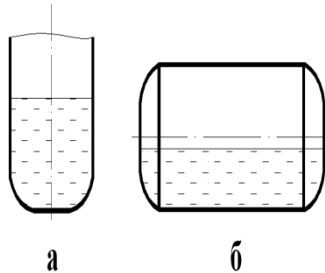


Рисунок 2.20 – Розташування навантаження щодо осі обертання:
а – симетрично; б – несиметрично

Розрахунок заснований на рівнянні Лапласа, яке виводять з умови рівноваги елемента стінки апарата, одержуваного перетином двох меридіальних і двох горизонтальних площин (рис. 2.21).

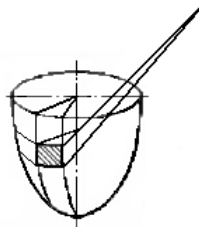


Рисунок 2.21 – Схема виділення елемента стінки апарата

Розглянемо ємність, навантажену внутрішнім тиском P .

У стінці такої ємності виникають напруги як реакції дії на вказаний елемент умовно відокремлених стінок (рис. 2.22).

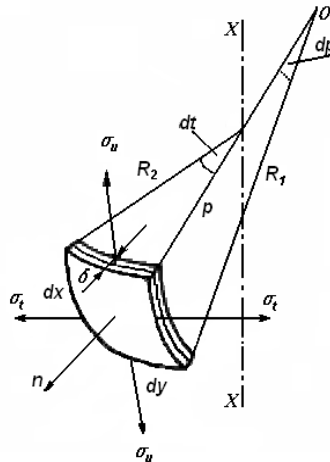


Рисунок 2.22 – Схема рівноваги елемента стінки

Залежно від напрямку дії ці напруги різняться за величиною, їх позначають: σ_t – тангенціальні (кільцеві); σ_u – меридіальні; σ_r – радіальні. Рівновага елемента виражається рівнянням, яке отримують з умови, що сума проєкції всіх напруг на нормаль n дорівнює нулю. Водночас не враховують наявність ради-

кальної напруги у зв'язку з тим, що вона мало порівняна з іншими. Таке рівняння після відповідних перетворень має вигляд

$$\frac{\sigma_u}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{P}{\sigma}$$

і називається рівнянням Лапласа [3].

Щоб забезпечити достатню міцність і уникнути необгрунтованого обважнення ємнісного апарата під час розрахунку, необхідно виконати умову

$$\Sigma_{\text{екв}} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

де $\sigma_{\text{екв}}$ – напруга, еквівалентна спільній дії σ_t і σ_u ; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустима напруга для конкретного матеріалу.

Відповідно до теорії міцності еквівалентну напругу можна виразити так (третя теорія міцності [4]):

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}.$$

У цьому разі (метод безмоментної теорії) $\sigma_t \geq \sigma_u$, відповідно, $\sigma_{\text{max}} = \sigma_t$; $\sigma_{\text{min}} = \sigma_u = 0$ і $\sigma_{\text{екв}} = \sigma_t$. Умова міцності в цьому разі

$$\sigma_t \leq \sigma_{\text{доп}}.$$

Застосуємо отриманий результат до конкретних елементів ємнісного апарата.

1. Циліндрична обичайка, для якої

$$R_1 = \infty; R_2 = R.$$

Рівняння Лапласа в цьому разі має вигляд

$$\frac{\sigma_t}{R} = \frac{P}{\delta}.$$

Використовуючи умови міцності, з цього рівняння отримуємо

$$\delta = \frac{P R}{\sigma_{\text{доп}}}.$$

Під час практичних розрахунків зручніше перейти від радіуса обичайки до діаметра.

Крім цього, введемо коефіцієнт міцності зварного шва і прибавку на корозію. Унаслідок отримаємо розрахункову формулу для визначення товщини стінки обичайки

$$\delta = \frac{P D_{\text{в}}}{2\sigma_{\text{доп}}\varphi - P} + C,$$

де φ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Величину φ обирають залежно від типу зварного шва і способу зварювання:

$\varphi = 1$ – двосторонній шов за умови автоматичного зварювання;

$\varphi = 0,95$ – двосторонній шов за умови ручного зварювання;

$\varphi = 0,8$ – односторонній шов за умови автоматичного зварювання;

$\varphi = 0,7$ – односторонній шов за умови ручного зварювання.

За тисків, близьких до атмосферного тиску, ця формула дає занадто малу товщину, яка не забезпечує жорсткість конструкції (може деформуватися під час транспортування, випадкових навантажень). Тому для апаратів, що працюють під атмосферним тиском або під налив, необхідно, незважаючи на результат розрахунку, брати товщину стінки не менше ніж 3 мм.

2. Еліптична кришка (днище).

Застосовуючи аналогічний підхід, можна отримати розрахункову формулу для визначення товщини стінки еліптичної кришки, яка має вигляд

$$\delta = \frac{P R}{2\sigma_{\text{доп}}\varphi - 0,5\rho} + C,$$

де $R = \frac{D_{\text{в}}^2}{4H}$ (див. рис. 2.8) и для стандартної кришки $H = 0,25 D_{\text{в}}$;

$R = D_{\text{в}}$.

3. Конічне днище (кришка).

Товщину стінки конічного днища розраховують за формулою

$$\delta = \frac{PD}{(2\sigma_{дон}\varphi - P)\cos\alpha}.$$

Кут розкриття конуса α (див. рис. 2.7) беруть таким, що дорівнює $\alpha \approx 45^\circ$. За необхідності вивантажувати сипучий матеріал кут α визначають з умови $(90^\circ - \alpha) > \mu$, де μ – кут природного укосу сипкого матеріалу.

4. Плоска кришка.

Формула для розрахунку товщини плоскої кришки і днища має вигляд

$$\delta = KD\sqrt{\frac{P}{\sigma_{дон}}} + C,$$

де K – коефіцієнт, який залежить від способу їхніх з'єднань із корпусом.

Для варіантів, поданих на рисунку 2.6, цей коефіцієнт дорівнює: а – $K = 0,52$; б – $K = 0,44$; в – $K = 0,40$.

Метод крайового завдання. Розглянутий метод розрахунку тонкостінних ємнісних апаратів, що працюють під внутрішнім тиском, метод безмоментної теорії не застосовують, якщо в стінках виникають так звані крайові ефекти.

Вони виникають у тому разі, коли:

1) різна жорсткість з'єднаних частин ємності, наприклад, з'єднання обичайок із різних матеріалів або різної товщини (рис. 2.23 а);

2) закладення краю обичайки в недеформувальну основу (фланець, трубна дошка) (рис. 2.23 б), насадження на обичайку бандажа (рис. 2.23 в);

3) сполучення обичайок під кутом, наприклад, з'єднання «циліндр – конус» (рис. 2.23 г), приварка теплообмінної сорочки;

4) раптова зміна за меридіаном будь-якого силового або фізичного параметра (тиску, температури).

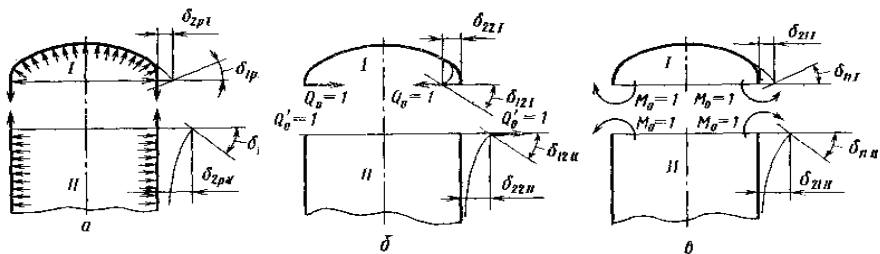


Рисунок 2.23 – Схема крайового ефекту в ємнісному апараті:
 а – деформація країв умовнорозділених елементів апарата;
 б – крайові сили, що діють у сполучених елементах;
 в – крайові моменти, що діють у сполучених елементах

У цьому разі у стінках ємнісного апарата з'являються крайові сили Q_k і моменти M_k . Вони є реакціями сполучення країв елементів апарата, які заважають вільно деформуватися (рис. 2.24).

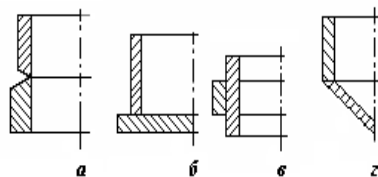


Рисунок 2.24 – Елементи конструкції, які створюють крайовий ефект:
 а – сполучення різної товщини; б – закладення в трубку дошку або фланець; в – насадка бандажа; г – стиковка циліндра і конічних обичайок

Але напруги, що виникають унаслідок дії крайових сил і моментів, швидко згасають у разі віддалення від краю, тобто мають місцевий ефект (рис. 2.25).

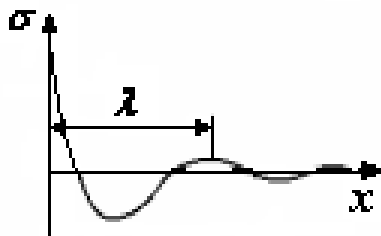


Рисунок 2.25 – Характер змін крайових напруг

Рівняння затухання напруг має вигляд

$$\sigma = Ae^{-kx}(\sin kx \pm \cos kx),$$

де A – параметр, що залежить від виду навантаження; k – коефіцієнт загасання, функція добутку $R \delta$; x – відстань від краю до розглянутого перетину. За наявними даними на відстані $x = 1,1 \div 2,5$ крайовим ефектом можна знехтувати і розрахунок вести за методом безмоментної теорії. Розрахунки крайових ефектів подані в літературі [4].

2.4.2.2 Розрахунок тонкостінних апаратів, що працюють під зовнішнім тиском

На практиці трапляються випадки, коли на корпус ємнісного апарата тиск діє із зовнішнього боку, наприклад, коли апарат працює під вакуумом або має парову сорочку (рис. 2.26).

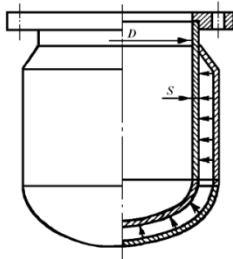


Рисунок 2.26 – Схема ємнісного апарата під зовнішнім тиском

У разі дії такого тиску в стінках корпусу апарата виникають стискальні напруження. Товщину стінки вразі розраховують за тими самими формулами і з тими самими запасами міцності, що і в апаратах із внутрішнім тиском. Коефіцієнт міцності зварного шва в цьому разі можна вважати $\phi = 1$.

Однак для апаратів, що перебувають під зовнішнім тиском, одного розрахунку на міцність недостатньо. Такі апарати за певного значення зовнішнього тиску, яке називають критичним, можуть втрачати стійкість, що виражається в зміні форми апарата (вдавнення стінок всередину апарата) (рис. 2.27).

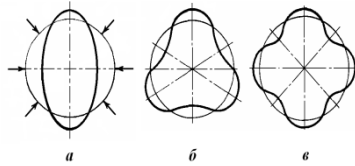


Рисунок 2.27 – Можливі варіанти зміни форми обичайки під дією зовнішнього тиску

Поперечний переріз спочатку круглої обичайки починає спотворюватися, набуваючи хвилеподібної форми, водночас кількість хвиль може дорівнювати двом, трьом, чотирьом тощо. Визначення товщини стінки ємнісного апарата в цьому разі разом із розрахунком на міцність містить розрахунок апарата на стійкість. Водночас потрібно розрізнити два види обичайок: довгої і короткої.

Розглянемо розрахунок на стійкість довгої обичайки. У цьому разі під дією зовнішнього тиску виникає всього дві хвилі, тобто обичайка просто сплющується. Критичний тиск, за якого це відбувається, визначають таким рівнянням:

$$P_{кр} = \frac{2E}{1-\mu^2} \left(\frac{\delta}{D} \right)^3,$$

де E – модуль пружності за розрахункової температури; μ – коефіцієнт Пуассона; D – діаметр обичайки.

Насправді працювати за тиску, що дорівнює або близький до критичного, неприпустимо. Досвід доводить, що через дефекти форми реальних труб і довгих обичайок їхнє сплющування відбувається за тисків у 1,5–2 рази менше, ніж критичний. Тому робочий тиск має дорівнювати

$$P_{раб} = \frac{P_{кр}}{m},$$

де m – коефіцієнт запасу стійкості.

Величину запасу стійкості за аналогією із запасом міцності вибирають з урахуванням всіх чинників, що визначають роботу апарата в конкретних умовах (є рекомендації вважати $m = 4-5$).

Розрахунок на стійкість коротких обичайок значно ускладнюється у зв'язку із впливом на стійкість закладення країв обичайки. Унаслідок цього може утворюватися не дві, а кілька хвиль, і різній кількості хвиль відповідає різний критичний тиск, що ускладнює визначення $P_{кр}$. У літературі є відповідні розрахункові рівняння, які через їхню громіздкість тут не наведені.

Також, як і в разі розрахунків на міцність, практичний розрахунок ємнісного апарата на стійкість полягає у визначенні товщини стінки корпусу. Ця товщина повинна забезпечувати стійкість корпусу апарата. Але для такого розрахунку попередньо необхідно знати вид обичайки: довга або коротка.

Існують різні методики визначення виду обичайки, вони досить складні і, зазвичай, вимагають попередньо задавати значення товщини стінки з подальшим її уточненням. Для наближеного визначення виду обичайки можна використовувати найпростішу методику, яка полягає в розрахунку значення L/D за рівнянням

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{расч} = 7,68 \sqrt[6]{\frac{10^{-6} E}{P}},$$

де L – розрахункова довжина обичайки; D – діаметр обичайки; E – модуль пружності; P – тиск, що діє на обичайку.

Якщо

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{факт} \leq \left(\frac{L}{D}\right)_{расч},$$

то обичайка коротка, і її товщину розраховують за формулою

$$\delta = 0,47 \frac{D}{100} \left(\frac{P}{10^{-6} E} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0,4} + C.$$

За умови $\left(\frac{L}{D}\right)_{факт} > \left(\frac{L}{D}\right)_{расч}$ обичайка довга і розрахунок

відбувається за формулою

$$\delta = 1,06 \frac{D}{100} \sqrt[3]{\frac{P}{10^{-6} E}} + C.$$

Розрахунковою довжиною обичайки тут є відстань між двома елементами жорсткості (приварені фланці, кришки або днища, місце приварювання сорочки тощо).

Якщо апарат не витримує необхідного зовнішнього тиску і немає можливості збільшити товщину стінки, то на корпус апарата встановлюють кільця жорсткості (рис. 2.28). У цьому разі за розрахункову довжину обичайки беруть найбільшу відстань між кільцями жорсткості.

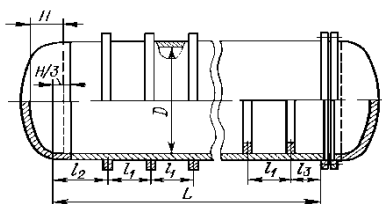


Рисунок 2.28 – Установка кілець жорсткості на ємнісних апаратах

Кільця жорсткості виготовляють зі смуги, як продемонстровано на рисунку 2.29, або з прокату (куточка, тавра, швелера).

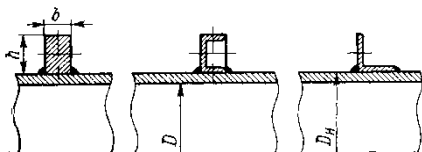


Рисунок 2.29 – Форма кілець жорсткості

Вони можуть розташовуватися як зовні апарата, так і всередині. Розміри кілець жорсткості та їхнє розміщення розраховують за методиками, описаними в літературі [5].

Товщину стінки еліптичної кришки (днища), що працює під зовнішнім тиском, розраховують за формулою

$$\delta = \frac{k_2 R}{300} \sqrt{\frac{P}{10^{-6} E}} + C,$$

де k – коефіцієнт, що залежить від відносин $\frac{H}{D}$ і $\frac{R}{\delta - C}$, беруть із довідника; R – радіус кривизни верхньої кришки.

Під час розрахунку товщину стінки беруть попередньо, визначають за довідковими даними коефіцієнт k , потім після розрахунку порівнюють з отриманим результатом.

Конічні дніща розраховують на зовнішній тиск так само, як і короткі циліндричні обичайки, вважаючи за розрахункову довжину L висоту конуса, а діаметр обчислюють за формулою

$$D = \frac{0,9D_1 + 0,1D_0}{\cos \alpha},$$

де D_1 и D_0 – діаметри більшої і меншої основ конуса.

2.4.3 Розрахунок апаратів, що працюють під високим тиском

Циліндрична обичайка. На відміну від тонкостінної обичайки, в цьому разі матеріал обичайки є у складному тривісному напруженому стані (рис. 2.30).

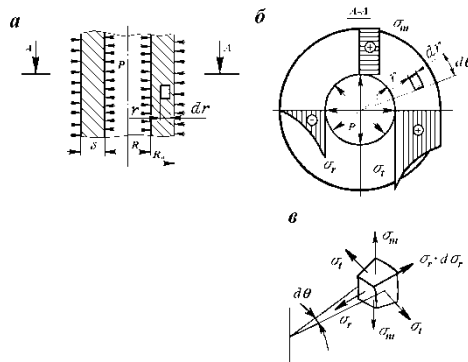


Рисунок 2.30 – Розрахункова схема товстостінної обичайки (а), епюри напруг (б) і схема дії напруг на елемент обичайки (в)

У товстостінній обичайці не можна нехтувати радіальними напруженнями і вважати рівномірним розподіл кільцевих (тангенціальних) напруг. Розподіл напружень σ_t , σ_n , σ_r за товщиною стінки розраховують на підставі розв’язання задачі Ляме [6]

$$\sigma_t = \frac{P R_6^2}{R_n^2 - R_6^2} \left(1 + \frac{R_n^2}{r^2} \right); \quad \sigma_n = \frac{P R_6^2}{R_n^2 - R_6^2};$$

$$\sigma_r = \frac{P R_6^2}{R_n^2 - R_6^2} \left(1 - \frac{R_n^2}{r^2} \right).$$

Значення напруг на внутрішній поверхні стінки $r = R_6$.

$$\sigma_t = P \frac{R_n^2 + R_6^2}{R_n^2 - R_6^2}; \quad \sigma_n = \frac{R_6^2}{R_n^2 - R_6^2}; \quad \sigma_r = -P,$$

на зовнішній поверхні

$$\sigma_t = 2P \frac{R_6^2}{R_n^2 - R_6^2}; \quad \sigma_n = \frac{R_6^2}{R_n^2 - R_6^2}; \quad \sigma_r = 0.$$

Для розрахунку товщини стінки апарата необхідно за однією з теорій міцності визначити еквівалентне напруження. Найбільшого поширення для цього варіанта отримала четверта (енергетична) теорія міцності [6], згідно з якою

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{0,5 \left[(\sigma_t - \sigma_u)^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_u - \sigma_r)^2 \right]}.$$

Після підстановки в наведену залежність значень напруг для найбільш навантаженої внутрішньої поверхні стінки і відповідних перетворень ця залежність має вигляд

$$\sigma_{\text{екв}} = P \frac{\sqrt{3} R_n^2}{P_n^2 - P_6^2}.$$

Використовуючи умови міцності, отримаємо формулу, що дозволяє за заданого значення R_6 (визначають технологічним розрахунком для конкретного процесу) розрахувати зовнішній радіус обичайки

$$R_n = R_6 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{дон}} - \sqrt{3} P}}.$$

Згідно з чинними нормами товщину стінки обичайки апарата високого тиску можна розрахувати за формулою

$$\delta = 0,5 D_6 (\beta - 1) + C,$$

де $\beta = \frac{D_u}{D_e}$ – коефіцієнт товстостінності.

Величину коефіцієнта товстостінності визначають із рівняння

$$\ln \beta = \frac{P}{\sigma_{\text{доп}}} \varphi.$$

Коефіцієнт міцності зварного шва беруть:

- для цільнокованих і багат шарових обичайок $\varphi = 1$;
- для штампованих: з маловуглецевих і низьколегованих сталей $\varphi = 0,95$, із середньолегованих $\varphi = 0,85$.

Днище і кришка. В апаратах високого тиску застосовують переважно плоскі днища и кришки (рис. 2.31).

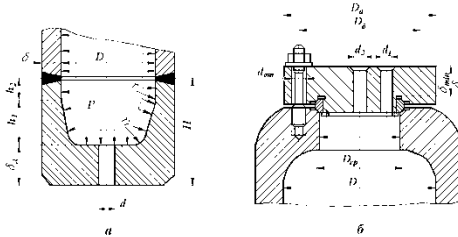


Рисунок 2.31 – Розрахункові схеми: а – днища; б – кришки

Розрахункову товщину плоского відбортованого днища з $H_d/D_v \leq 0,25$ визначають за такою формулою [7]:

$$\delta_d = 0,45 D_e \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{доп}} \psi_0}} + C,$$

де ψ_0 – коефіцієнт ослаблення днища отворами, який визначають як

$$\psi_0 = \frac{1 - \frac{\sum d_i}{D_e}}{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_e} \right)^3}.$$

Тут $\sum d_i$ – сума діаметрів отворів у днищі. За умови $\sum d_i/D > 0,6$ потрібно вважати $\psi_0 = 0,4$.

Радіуси сполучення і висоти окремих конструктивних частин днища (рис. 2.31 а): $r \geq \delta$; $r_1 \geq 1,8\delta$; $h_1 \geq 1,8\delta$; $h_2 \geq \delta$; де δ – розрахункова товщина обичайки корпусу.

Товщину плоскої кришки без приварних штуцерів розраховують за формулою [7]

$$\sigma_{\kappa} \geq 0,45 \sqrt{\frac{3,8F(D_6 - D_{cp}) + PD_{cp}^3}{(D_a - 2d_{ow} - \sum d_i)\sigma_{don}}} + C,$$

де F – осьове зусилля від тиску, що діє на кришку; D_6 – діаметр окружності центрів шпильок; D_{cp} – діаметр ущільнювальної поверхні; D_a – зовнішній діаметр кришки; d_{ow} – діаметр отвору під кріпильну шпильку; $\sum d_i$ – найбільша сума довжин хорд отворів за січною, проведеною через максимальну їхню кількість (найбільш ослаблений перетин кришки).

3 ЄМНІСНІ ЗМІШУВАЧІ І РЕАКТОРИ ДЛЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

У хімічній технології, зокрема виробництві високомолекулярних сполук, часто виникає необхідність змішування двох або декількох рідких компонентів, рідкого з твердим дисперсним компонентом. Це необхідна умова проведення багатьох технологічних процесів (зокрема хімічних), у яких взаємодійні речовини повинні максимально контактувати між собою. Такого контактування досягають унаслідок перемішування рідкого середовища в спеціальному обладнанні: змішувачах або реакторах.

Ємнісний змішувач являє собою ємність із перемішувальним і іншими пристроями, необхідними для проведення фізико-хімічних і теплових процесів. У тому разі, коли такий змішувач застосовують для проведення хімічної реакції, його називають ємнісним реактором.

3.1 Елементи теорії змішування. Способи перемішування рідких середовищ

Змішування – це процес, у якому два або кілька компонентів утворюють тією чи іншою мірою однорідну суміш унаслідок розподілу часток одного компонента між частинками інших компонентів. Сутність змішування в найпростішому варіанті, наприклад двох компонентів, подана на рисунку 3.1.

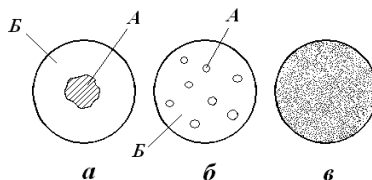


Рисунок 3.1 – Схема змішування двох компонентів:
а – вихідний стан; б – акт змішування; в – завершення процесу

У цьому разі компонент А (розподільний компонент) змішується з компонентом Б (середовище, у якому розподіляється

компонент А) (рис. 3.1 а). Змішування полягає в поділі компонента А на частини (для рідких компонентів відбувається, зазвичай, у процесі змішування) і розподіл цих частин (часток) у перемішуваному об'ємі (рис. 3.1 б) з подальшим багаторазовим повторенням такого акту до утворення однорідної суміші (рис. 3.1 в). Поділ компонентів на частини і їхній розподіл в об'ємі суміші відбувається внаслідок інтенсивного руху потоків рідкого середовища під дією зовнішніх сил, що створюються в середовищі пристроєм. Відповідно процес змішування залежить від гідродинамічного режиму рухом рідкого середовища і супроводжується витратами енергії.

У разі повного (ідеального) змішування склад суміші в будь-якій точці (елементі) перемішуваного об'єму точно відповідає складу всієї суміші, що визначається завантаженням компонентів (розрахунковим складом). У реальних умовах домогтися такого ідеального змішування досить складно. За неповного змішування зміст (концентрація) будь-якого обраного i -го компонента в пробах суміші, відібраних із різних точок перемішуваного об'єму, відрізняється від розрахункового. Оцінити рівномірність розподілу цього компонента (ступінь змішування) можна на підставі співвідношення

$$I = \frac{C_0 - C_i}{C_0}, \quad (3.1)$$

де I – ступінь змішування; C_0 – розрахункова концентрація i -го компонента в суміші; C_i – концентрація i -го компонента в окремій пробі суміші.

У разі повного змішування $I = 0$.

На практиці для визначення ступеня змішування використовують статистичні методи. Для цього відбирають проби з різних точок обсягу змішувача, визначають у них концентрацію i -го компонента і розраховують середньоквадратичне відхилення

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - C_{cp})^2}, \quad (3.2)$$

де n – кількість проб; C_{cp} – середня концентрація i -го компонента в пробах, що являє собою середнє арифметичне значення його концентрацій у пробах

$$C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \quad (3.3)$$

Ступінь змішування (параметр неоднорідності) визначають як статистичний коефіцієнт варіації [8]

$$V_c = \frac{S}{C_{cp}} 100. \quad (3.4)$$

Однак ступінь змішування не дає повної характеристики змішувального обладнання. Для порівняння різних типів і конструкцій цього устаткування часто необхідно знати, за який час досягають заданого ступеня змішування і які енерговитрати будуть потрібні для його досягнення. Тому вводять такі поняття, як інтенсивність і ефективність роботи змішувального обладнання.

У зв'язку з тим, що в літературі немає однозначного визначення цих характеристик, інтенсивністю змішування (перемішування) будемо вважати час досягнення заданого ступеня змішування або заданого технологічного результату. Ефективність змішування (перемішування) будемо характеризувати енергією, витраченою на досягнення цього результату.

Способи перемішування рідких середовищ визначають видом силового впливу на середовище, яке створює в ній перемішувальні потоки. Залежно від виду цього впливу розрізняють такі способи (рис. 3.2): циркуляційний, пневматичний (барботажний), механічний.

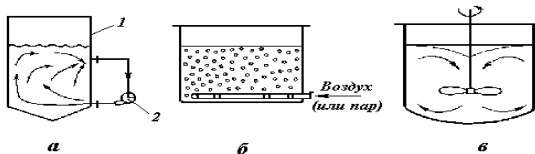


Рисунок 3.2 – Схеми способів перемішування рідких середовищ: а – циркуляційний; б – пневматичний; в – механічний

Під час циркуляційного перемішування створення потоків у середовищі відбувається завдяки її циркуляції через зовнішній циркуляційний контур (рис. 3.2 а), що складається з насоса 2 і трубопроводу 3. Рідину відбирають із ємності 1 і за допомогою насоса повертають назад. Важливим чинником тут є швидкість зворотного введення рідини. За чималої величини цієї швидкості в обсязі рідкого середовища виникає струминна течія, що забезпечує інтенсивне перемішування.

Пневматичне перемішування здійснюють за допомогою введення в рідке середовище повітря (газу, пари). Перемішування може відбуватися як завдяки струменевому введенню повітря, так і його розподілу в нижній частині апарата за допомогою барботера, що являє собою трубу з рядом отворів (рис. 3.2 б). Повітря в останньому випадку виходить у вигляді окремих бульбашок (барботує), рух яких через шар рідкого середовища сприяє його перемішуванню.

Описані способи мають порівняно низьку інтенсивність перемішування, їх застосовують у спеціальних випадках, наприклад, для агресивних або вибухонебезпечних середовищ.

Найбільш поширеним є спосіб перемішування за допомогою механічного пристрою. Робочим органом такого пристрою, є мішалка (рис. 3.2 в), яка внаслідок обертального руху впливає на середовище (відомі мішалки зі зворотно-поступальним рухом [9]). Під час обертання мішалки перемішування відбувається внаслідок переміщення об'ємів рідини, а за великої швидкості обертання – і завдяки відриву пограничного шару з поверхні мішалки й утворення за нею турбулентного кормового сліду. Крім того, під час обертання мішалки за її лопатями виникають зони зниженого тиску, куди спрямовується рідина. Ця течія і радіальні потоки, які утворюються під дією відцентрових сил, сприяють інтенсифікації перемішування рідкого середовища.

3.2 Облаштування ємнісного змішувача (реактора)

3.2.1 Загальна компоновка апарата

Облаштування типового ємнісного змішувача (реактора) для рідких середовищ подане на рисунку 3.3.

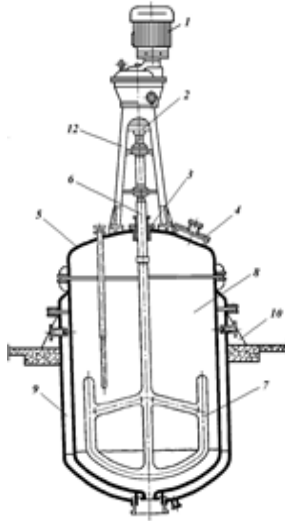


Рисунок 3.3 – Схема ємнісного змішувача: 1 – привід мішалки; 2 – муфта; 3 – вузол ущільнення; 4 – люк; 5 – кришка; 6 – вал мішалки; 7 – мішалка; 8 – корпус; 9 – сорочка; 10 – опори

Конструктивно такий апарат є ємністю, що складається з корпусу 8 і кришки 5, забезпеченою мішалкою 7. Обертання мішалки через вал 6 передається від привода 1, встановленого на кришці 5. Для герметизації отвору в кришці, через який проходить вал, змішувач має вузол ущільнення 3. Апарат забезпечений теплообмінним пристроєм у вигляді сороки 9, а також може мати додаткові пристрої (трубу перетискування, відбувні перегородки та інші).

3.2.2 Основні елементи апарата

Мішалка. Застосовують різноманітні типи мішалок, основними з яких є якірна, лопатева, турбінна, пропелерна. Ці мішалки застосовують у різних діапазонах в'язкості рідких середовищ і швидкостей обертання. Залежно від швидкостей обертання їх поділяють на низькообертні (якірна, лопатева) і високообертні (турбінна, пропелерна).

Типова якірна мішалка подана на рисунку 3.4.

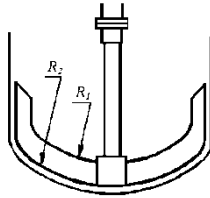


Рисунок 3.4 – Якірна мішалка

За зовнішнім виглядом ця мішалка нагадує якір і за формою відповідає нижній частині корпусу змішувача. У перетині вона може бути прямокутною або круглою. Застосовують для в'язких ($\approx 1,0$ Па с) і важких рідин, під час роботи запобігає випаданню осаду на стінки і днище, що пов'язано з малим зазором ($0,005\text{--}0,1$ Да) між лопатями мішалки і стінками корпусу апарата. Працює така мішалка в діапазоні швидкостей $0,1\text{--}1,5$ м/с ($10\text{--}60$ об./хв), діаметр описуваної окружності (діаметр мішалки) визначають співвідношенням $Da/d_m = 1,05\text{--}1,3$.

Конструкції лопатевих мішалок наведені на рисунку 3.5.

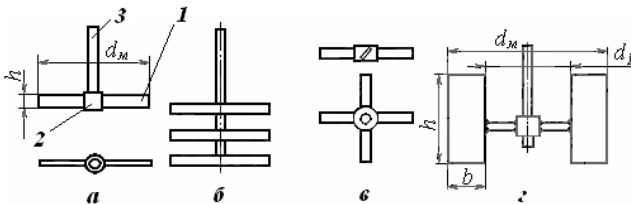


Рисунок 3.5 – Конструкції лопатевих мішалок: а – дволопатєва; б – багаторядні; в – багатолопатєві; г – з вертикальними лопатями

Найпростіша лопатна мішалка (рис. 3.5 а) має дві, зазвичай, прямокутні лопаті 1, приварені до маточини 2, закріпленої на валу 3. Така мішалка створює переважно окружний (тангенціальний) потік у рідкому середовищі в площині свого розташування і характеризується порівняно низькою перемішувальною здатністю. Для інтенсифікації перемішування лопаті часто розташовують похило (зазвичай під кутом 45°) і використовують багатолопатєві мішалки (рис. 3.5 в). У разі великої висоти апа-

рата застосовують багаторядні лопатеві мішалки (рис. 3.5 б) або з вертикальними лопатями (рис. 3.5 г).

Основні переваги лопатевих мішалок – простота облаштування і низька вартість. Їх застосовують для рідких середовищ із в'язкістю $\leq 0,5$ Пас за швидкості обертання 1,5–5,0 м/с (60–200 об./хв) і 0,5–3,0 Пас відповідно 1,5–3,0 м/с (60–120 об./хв). Діаметр і висоту лопатей для цих мішалок беруть із співвідношень $Da/d_m = 1,4–1,7$; $h/d_m = 0,1–0,2$.

Турбінна мішалка за конструкцією нагадує водяну турбину і являє собою ротор у вигляді диска, на якому закріплені лопаті (рис. 3.6).

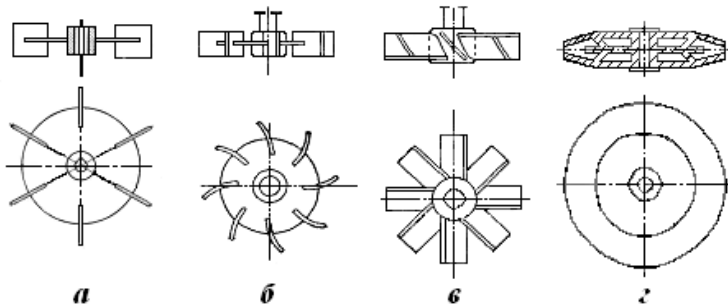


Рисунок 3.6 – Турбінна мішалка: а – з прямими лопатями; б – з вигнутими лопатями; в – з похилими лопатями; г – закрита

Турбінні мішалки відрізняються за формою і положенням лопатей: з прямими лопатями (рис. 3.6 а); вигнутими (рис. 3.6 б), що споживають під час роботи менше енергії порівняно з прямими; похилими лопатями (рис. 3.6 в). Останні поряд із радіальними потоками створюють також осьові потоки в рідкому середовищі.

Відомі закриті турбінні мішалки (рис. 3.6 г). Така мішалка має додатково два диски з отворами в центрі, приварені до лопатей, один – зверху, інший – знизу. Під час роботи мішалки рідина надходить через отвори в дисках паралельно осі вала і викидається в радіальному напрямку, що інтенсифікує процес перемішування.

Турбінні мішалки є високообертними і працюють у широкому діапазоні в'язкості. За в'язкості ≤ 10 Пас окружна швидкість обертання мішалки – 2,5–10,0 м/с, за в'язкості 10–40 Пас, відповідно, 2,5–7,0 м/с. Діаметр мішалки і висоту лопаток визначають із співвідношень $Da/d_m = 3-4$; $h/d_m = 0,4-1$, довжину лопаток – $e/d_m = 0,25$.

Пропелерна (гвинтова) мішалка має лопаті, сформовані за профілем лопатей гребного гвинта (рис. 3.7).

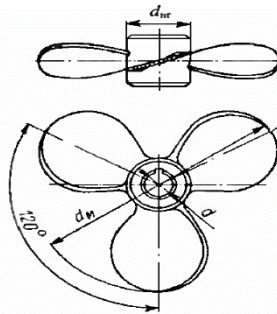


Рисунок 3.7 – Пропелерна мішалка

Пропелерна мішалка складається з маточини і лопатей, зазвичай трьох, розташованих під кутом 120° . Може мати зварену або суцільнолитую конструкцію. Під час роботи створює переважно осьові потоки, що забезпечують високу інтенсивність перемішування рідкого середовища. З усіх типів мішалок пропелерна мішалка найменш енергозатратна. Недолік – це складна конструкція і порівняно висока вартість.

Пропелерна мішалка належить до високообертних мішалок, працює в діапазоні окружних швидкостей 3–16 м/с за в'язкості $\leq 0,1$ Пас і 3–10 м/с за в'язкості 0,1–4,0 Пас. Є мішалки, частота обертання яких перевищує 2 000 об./хв.

Діаметр пропелерної мішалки вибирають зі співвідношення $Da/d_m = 3-4$. Однією з характеристик є крок $S = 1,0-3,0$ дм, відсутній в описаних вище типах мішалок.

Крім розглянутих типів мішалок, у виробництві ВМС, наприклад, полімеризаторів етилену використовують шнекові мішалки. Ця мішалка, також як і пропелерна, створює осьовий

потік у рідкому середовищі, але придатна для перемішування рідин в'язкістю до 100 Пас, неньютонівських середовищ і паст. У таких умовах вона споживає менше енергії, ніж пропелерна.

Шнекова мішалка складається з вала, на поверхні якого за гвинтовою лінією з певним кроком приварена плоска стрічка (рис. 3.8). Зазвичай вона забезпечена дифузorzом (трубою), що збільшує інтенсивність перемішування.

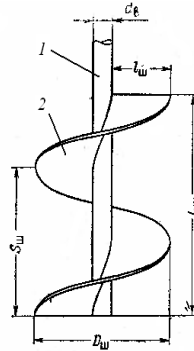


Рисунок 3.8 – Шнекова мішалка: 1 – вал; 2 – гвинтова стрічка

У разі установки шнекової мішалки в циркуляційній трубі для неї потрібно дотримуватися таких конструктивних співвідношень: $1,8 = Da/d_m \leq 2,7$; $1,05 dT/d_m \leq 1,15$; $S = d_m$. Частота обертання береться в діапазоні 60–24 об./хв.

Варто зазначити, що різноманітність типів і конструкцій мішалок, описаних у літературі, і тих, що трапляються на практиці, здебільшого пов'язано із різновидом або комбінацією розглянутих мішалок. Наприклад, так звана листова мішалка має лопатеву мішалку з широкими вертикальними лопатями, рамна мішалка – комбінацію якірної мішалки з двома лопатевими, одна з яких має вертикальні, інша – горизонтальні лопаті.

Під час використання мішалок, що обертаються з великою швидкістю, варто враховувати явище утворення центральної воронки [10]. Воно відбувається під дією відцентрових сил, результатом якого є підвищення рівня рідини в напрямку стінок апарата завдяки його зниженню в центрі (рис. 3.9).

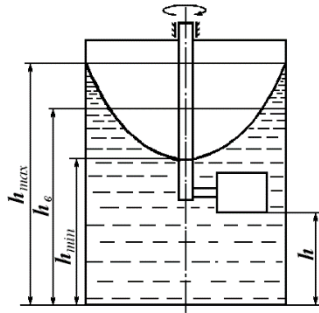


Рисунок 3.9 – Схема утворення центральної воронки

Глибина воронки збільшується із зростанням швидкості обертання, щільності і в'язкості середовища. Інтенсивність перемішування в умовах утворення воронки падає, тому для запобігання їй виникненню на внутрішніх стінках апарата встановлюють відбивні перегородки, які також сприяють утворенню вихорів у потоці і збільшують турбулентність у рідкому середовищі (рис. 3.10), а, відповідно, підвищення інтенсивності перемішування.

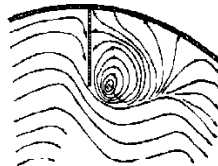


Рисунок 3.10 – Схема течії рідини за наявності відбивної перегородки

Підбір типу мішалки для конкретного завдання перемішування можна здійснювати на підставі умов її роботи, наведених у таблиці 3.1 [11].

Таблиця 3.1 – Умови роботи для різних типів мішалок

Тип мішалки	Умови роботи
Якірна (рамна)	Перемішування в'язких і важких рідин, інтенсифікація теплообміну, запобігання випадіння осаду на стінках і днищі, суспензування у в'язких середовищах
Лопатева	Перемішування взаємнорозчинних рідин, зважування твердих і волокнистих часток, змучування легких осадів, повільне розчинення кристалічних і волокнистих речовин
Турбінна	Зважування і розчинення твердих кристалічних частинок (з масовим вмістом до 80 %) і волокнистих (з масовим вмістом до 5 %), емульгування рідин із великою різницею щільності, розпорошення газу в рідині, перемішування ньютонівських рідин
Пропелерна	Зважування твердих (з масовим вмістом до 50 %) і волокнистих часток, змучування шламів, емульгування рідин: інтенсифікація теплообміну
Шнекова	Перемішування в'язких неньютонівських рідин, паст

Вал мішалки. Валом називають елемент перемішувального пристрою, на якому закріплена мішалка, що передає їй обертальний рух від привода. Вали можуть бути роз'ємними і нероз'ємними, консольними і з нижньою опорою. Характер навантаження вала значною мірою залежить від швидкості обертання мішалки. У низькообертних перемішувальних пристроях він працює переважно на кручення (передає крутний момент). За великих швидкостей унаслідок неточного балансування системи «вал – мішалка», під дією відцентрової сили додатково до крутіння може виникати прогин, що зростає зі збільшенням швидкості обертання. Вал починає здійснювати коливальний рух. Швидкість обертання, за якої вимушені коливання вала входять

у резонанс його власних коливань, називають критичною. За цієї швидкості прогин досягає максимальної величини (теоретично нескінченної) і вал може зруйнуватися. Характерно, що після переходу через критичну швидкість знову настає рівномірне обертання вала. Значення критичної швидкості залежить від довжини і прямокутності вала, його маси і маси мішалки. Для того, щоб зменшити довжину вала, апарати великої висоти іноді виготовляють із нижнім розміщенням перемішувального пристрою, вал вводять через ущільнення в днищі апарата. Однак така компоновка апарата незручна в обслуговуванні.

Вузол ущільнення. Призначення вузла ущільнення – герметизація отвору в кришці апарата, через який проходить вал мішалки. У ємнісних апаратах із перемішувальним пристроєм переважно застосовують сальникові і торцеві ущільнення.

Сальникове ущільнення (рис. 3.11) складається з корпусу 1, у нижній частині якого розташоване опорне кільце 2, сальникової набивки (сальника) 3 і натискної втулки 4, з'єднаної з корпусом за допомогою шпильок (на рисунку подані штриховими лініями).

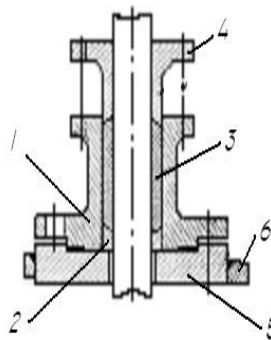


Рисунок 3.11 – Вузол сальникового ущільнення:

- 1 – корпус; 2 – опорне кільце; 3 – сальникова набивка;
- 4 – натискна втулка; 5 – бобишка; 6 – кришка апарата

Корпус закріплюють, зазвичай, на бобищі 5, ввареній у кришку 6 апарата. Герметизацію отвору досягають під час затягування гайок на шпильках завдяки дії натискної втулки 4 на

набивку 3, яка, розпираючи в горизонтальному напрямку, практично усуває зазор між набивкою і валом. За високої температури корпус ущільнення може забезпечуватися водяною сорочкою. У тому разі, коли в апараті містяться пари небезпечної речовини, використовують сальникові ущільнення з протитиском, для чого набивку поділяють кільцями і в простір між ними вводять інертний газ під тиском дещо більшим, ніж в апараті. Іноді розділові кільця використовують для змащення ущільнення, причому мастило не тільки зменшує тертя і знос набивання, але і служить гідравлічним затвором, що перешкоджає проході парів.

Як сальникову набивку застосовують азбестові або бавовняні шнури, просочені маслом, воском синтетичні матеріали з добавкою графіту. Використовують набивку з фторопласту у вигляді стружки або тонких кілець. Така набивка має гарні антифрикційні властивості і високу хімічну стійкість.

Сальникові ущільнення застосовують під час роботи апаратів із малонебезпечними середовищами, які перебувають під надлишковим тиском, що не перевищує 0,6 МПа, або під дією залишкового тиску, більшого ніж 0,04 МПа (300 мм рт. ст.) і за частоти обертання вала до 320 об./хв.

Незважаючи на широке розповсюдження через просту конструкцію, низьку вартість, сальникові ущільнення мають недоліки, а саме – вони вимагають постійного нагляду (підтяжки натискної втулки, зміни набивання), не дозволяють повністю усунути пропуск середовища, їх застосовують за порівняно низького тиску. Тому в більш відповідальних випадках використовують торцеві ущільнення.

На відміну від сальникового, у торцевому ущільненні герметизація відбувається не за поверхнею вала, а за торцевими поверхнями двох пружних кілець, одне з яких нерухоме, інше – рухоме (пов'язано з валом). За такої конструкції знос пари тертя не впливає на герметичність. Для забезпечення якості і надійності ущільнення одне з кілець виготовляють із менш твердого матеріалу, зазвичай, з антифрикційними властивостями (графіту, фторопласту), інше – з більш твердого (бронзи, сталі, кераміки).

Існує багато конструкцій торцевих ущільнень, призначених для різних умов роботи (одинарні, подвійні, з термічним затвором, сильфонні тощо). Найпростіше одинарне торцеве ущільнення, призначене для тиску до 1,6 МПа або вакууму до 20 мм рт. ст., подано на рисунку 3.12.

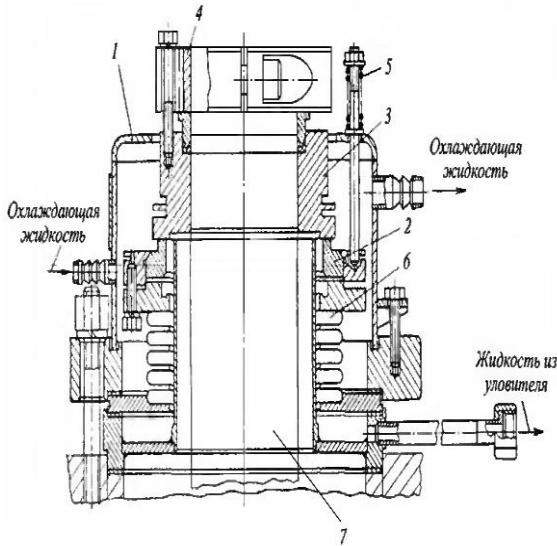


Рисунок 3.12 – Облаштування торцевого ущільнення:
 1 – корпус; 2 – нерухоме кільце; 3 – рухоме кільце; 4 – хомут;
 5 – пружини; 6 – сильфон

Ущільнення складається з корпусу 1, нерухомого кільця 2, яке за допомогою пружин 5 притискається до рухомого кільця 3, пов'язаного з валом хомутом 4.

Нерухоме кільце закріплене до корпусу за допомогою сильфона 6. Змащення пари тертя й охолодження ущільнення здійснюється проточною водою, що циркулює всередині корпусу.

Муфта. Служить для з'єднання вала мішалки з валом привода або окремих частин роз'ємного вала, а також передання між ними моменту, що крутить.

Розрізняють жорсткі і пружні муфти. За середніх і низьких швидкостей обертання мішалки вала привода і мішалки

зазвичай з'єднують жорсткими муфтами. На рисунку 3.13 наведені основні типи жорстких муфт: фланцеві, втулкові, клемові.

Фланцева муфта (рис. 3.13 а) складається з двох фланців (напівмуфт) 1 і 2, що встановлюють на кінці з'єднувальних валів і скріплюють болтами 3, поставленими без зазору (варіант I) або із зазором (варіант II). У першому варіанті крутний момент передається безпосередньо болтами, які одночасно виконують функцію центрування валів. У другому – крутний момент передається завдяки силам тертя, що виникають між фланцями, а центрування здійснюється виступом 4.

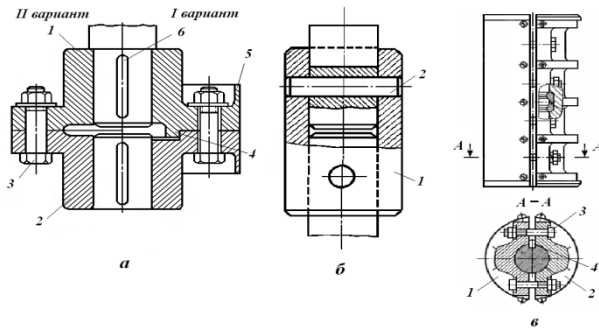


Рисунок 3.13 – Типи жорстких муфт:

- а – фланцева (1, 2 – напівмуфти; 3 – болти; 4 – центрувальний виступ; 5 – огороджувальний бортик;
- б – шпонка); б – втулкові (1 – втулка; 2 – штифт);
- в – клемові (1, 2 – напівмуфти; 3 – болти; 4 – шпонка)

Муфта втулкова являє собою втулку 1, у яку вставляють кінці з'єднувальних валів (рис. 3.13 б). Скріплення втулки з валами виконують за допомогою штифтів 2, передають також крутний момент. Цю роль можуть виконувати шпонки або шліці.

Клемова муфта є поздовжньо-рознімною і складається з двох напівмуфт 1 і 2, розділених по площині, що проходить через осі з'єднувальних валів. Крутний момент передається силами тертя на поверхні контакту вала з напівмуфтами і шпонками 4. Зусилля притиснення створюють затягуванням болтів 3, що стягу-

ють напівмуфти. Перевагою такої муфти є можливість монтажу та демонтажу мішалки без осьового зміщення валів.

За високих швидкостей обертання мішалки для з'єднання її вала з валом привода застосовують пружні муфти, що дозволяє пом'якшити удари під час передавання крутного моменту. Їхньою особливістю є передавання обертання через пружний елемент, який амортизує поштовхи і удари, компенсує неточності взаємного розташування з'єднувальних валів. Існують різні типи і конструкції пружних муфт [12]. Облаштування найпростішої пальцевої пружної муфти, що набула широкого розповсюдження, подане на рисунку 3.14.

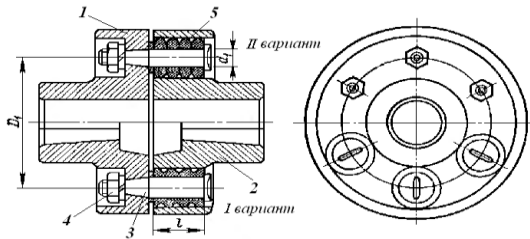


Рисунок 3.14 – Пружна пальцева муфта:

1, 2 – напівмуфти; 3 – пальці; 4 – гайки; 5 – пружні втулки

Пальцева муфта складається з двох фланцевих напівмуфт 1 і 2, сталевих пальців 3, закріплених в одній із напівмуфт гайками 4, і гумових втулок 5, одягнутих на пальці. Під час роботи муфти крутний момент передається на другу напівмуфту через гумові втулки (варіант I). Замість втулки може бути використаний пружний елемент у вигляді набору гумових кілець трапецієдальної перетину (варіант II).

Привід мішалки. Приводом називають пристрій, що забезпечує обертання мішалки. Він складається з двигуна і механічної передачі.

Зазвичай як двигун використовують електродвигуни, які перетворюють електричну енергію на механічну роботу у вигляді обертового руху. Це стандартизовані вироби, що підбирають за величиною потужності, необхідної для перемішування з урахуванням механічних втрат у вузлі ущільнення вала і в пере-

дачі, а також пускового моменту. Зазвичай застосовують асинхронні електродвигуни завдяки їхній простій конструкції і низькій вартості. Перспективним є використання гідравлічних двигунів.

Вони вибухобезпечні і витримують перевантаження. У разі перевантаження гідродвигун зменшує свої оберти, тоді як електродвигун може вийти з ладу.

За допомогою механічної передачі потужність із двигуна передається на вал мішалки за одночасного зниження частоти обертання. Для перемішувальних пристроїв використовують такі типи передач: ремінна, зубчаста циліндрична, зубчаста конічна, черв'ячна, планетарна.

Ремінну передачу (рис. 3.15) застосовують в разі середніх і великих швидкостей обертання мішалки.

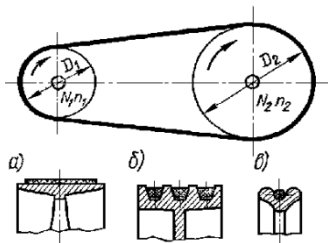


Рисунок 3.15 – Ремінна механічна передача: а – плоскоремінна; б – клиноремінна; в – круглоремінна.

Ця передача являє собою два шківів з натягнутими на них ремнями. Її передавальне відношення $i = \frac{n_{\sigma}}{n_m}$, де n_{σ} і n_m – частоти обертання відповідно великого і малого шківів залежать від розмірів шківів. Перевагами ремінної передачі є проста конструкція і низька вартість. Але вона вимагає строго паралельного розташування валів привода і мішалки, що ускладнює їхнє виготовлення і монтаж. Найбільшого поширення набула клиноремінна передача (клинова форма перетину ремня). Її застосування значно зменшує відстань між шківями, а, відповідно, і габарити передачі.

Схеми інших типів передач наведені на рисунку 3.16.

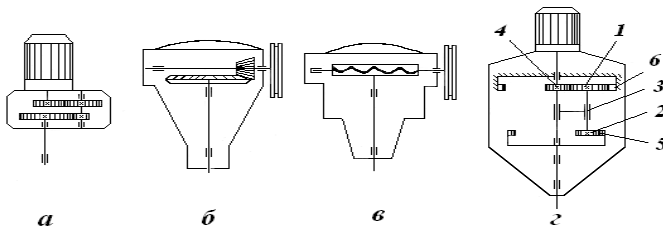


Рисунок 3.16 Зубчаста циліндрична передача

Зубчаста циліндрична передача (рис. 3.16 а) складається із зубчастих циліндричних коліс, розміщених у зачепленні, і може мати кілька ступенів, що дозволяє отримувати широкий діапазон передавальних відносин. Зубчасту конічну і черв'ячну передачі застосовують у тому разі, коли вал двигуна і мішалки розташовані в перпендикулярних площинах, за порівняно невисоких швидкостей обертання мішалки. Конічна передача (рис. 3.16 б) має два конічних зубчастих колеса, одне з яких має менший діаметр (шестерня), розміщена на валу, пов'язаному з двигуном. Черв'ячна передача (рис. 3.16 в) являє собою гвинтову пару «гвинт – гайка», гвинтом у якій є черв'як, а аналогом гайки – зубчасте колесо. Перевагою черв'ячної передачі є високі передавальні відносини. Однак із його підвищенням знижується ККД внаслідок значного тертя і виникає необхідність відводу тепла, що одночасно виділяється.

Планетарною називають передачу (рис. 3.16 г), яка має зубчасті колеса 1 і 2 (сателіти) з рухомою віссю 3. Через них передається обертальний рух від зубчастого колеса 4, пов'язаного з валом двигуна, до зубчастого колеса 5 на вихідному валу привода. Водночас сателіти, обертаючись, рухаються по колу всередині нерухомого колеса 6, з яким один із них перебуває в зачепленні. Перевагами такої передачі є найбільш раціональна компоновка, низькі шумові характеристики, найбільш високі передавальні відносини за малих габаритних розмірів передачі. Недолік – підвищені вимоги до точності виготовлення

і монтажу, а також зниження ККД із зростанням передавальних відносин.

Зубчасті передачі, на відміну від ремінної, сьогодні рідко використовують відкритими. Їх застосовують у вигляді редуктора – механізму з постійним передавальним відношенням, укладеного в окремий корпус і призначеного для зниження швидкості обертання. На основі планетарної передачі для перемішувальних пристроїв створені сучасні мотор-редуктори (рис. 3.17), що являють собою редуктор, скомплектований з електродвигуном. Такі приводи компактні, надійні в роботі, мають високий ККД, їх застосовують у значному діапазоні частот обертання і потужностей.

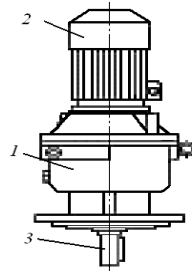


Рисунок 3.17 – Загальний вигляд мотора-редуктора:
1 – редуктор; 2 – електродвигун; 3 – вихідний вал

Опорний стаяк. Служить для установки привода в разі його розміщення на кришці апарата (рис. 3.18).

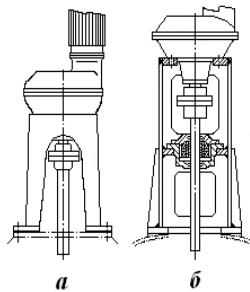


Рисунок 3.18 – Опорний стаяк ємнісного змішувача:
а – без проміжної опори; б – з проміжною опорою

Опорний стаяк може бути без проміжної опори вала (рис. 3.18 а) або з такою опорою (рис. 3.18 б). У першому варіанті сили тяжіння вала і мішалки діють на муфту (у разі консольного розташування мішалки) або на нижню опору вала, що розміщується на днищі апарата. У другому – наявність проміжної опори з одним або двома підшипниками дозволяє розвантажити зазначені вузли.

Теплообмінні пристрої. Хімічні реакції здебільшого протікають із виділенням або поглинанням теплоти. Тому для підтримки оптимального температурного режиму реактори постачають теплообмінними пристроями, які забезпечують нагрів або охолодження реакційного середовища. Необхідність у таких операціях може виникнути і в інших випадках, наприклад, під час проведення процесів розчинення або кристалізації.

Основними типами теплообмінних пристроїв, які застосовують у реакторах, є сорочка, змієвикові і трубчасті пристрої, використовують також виносні теплообмінники. Схеми таких реакторів наведені на рисунку 3.19.

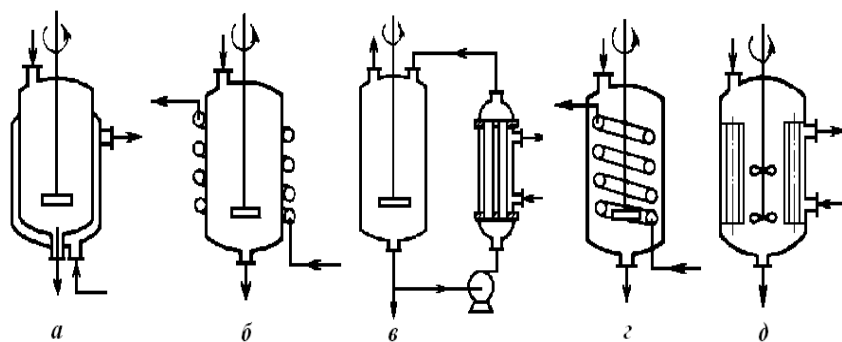


Рисунок 3.19 – Схеми реакторів із теплообмінними пристроями:
 а – сорочкою; б – зовнішнім змієвиком;
 в – виносним теплообмінником; г – внутрішнім змієвиком;
 д – трубчастим теплообмінним пристроєм

З погляду зручності обслуговування, чищення реактора і простоти його конструкції кращі зовнішні теплообмінні пристрої: сорочка, зовнішній змієвик, внесений теплообмінник.

Сорочка (рис. 3.19 а) являє собою ємність, що повторює за формою корпус реактора, одягнену на нього із зазором. Верхня частина сорочки кріпиться до корпусу за допомогою зварювання або фланцевого з'єднання. У зазорі між корпусом реактора і сорочкою подається теплоносій за тисків до 0,9 МПа.

За більш високого тиску доцільно застосовувати сорочки з ум'ятинами (рис. 3.20).

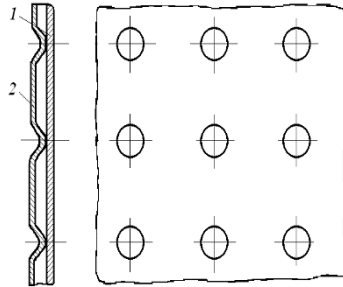


Рисунок 3.20 – Сорочка з ум'ятинами: 1 – обичайка; 2 – сорочка

За тисків до 2,7 МПа використовують зовнішній змійовик (змєвікова сорочка) (рис. 3.19 б). Він являє собою спіраль із труби або прокатного профілю, приварених до поверхні корпусу реактора (рис. 3.21).

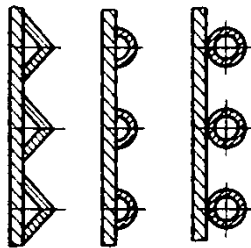


Рисунок 3.21 – Приварні елементи зовнішнього змійовика

Така конструкція змійовика збільшує швидкість руху рідкого теплоносія і, відповідно, ефективність теплообміну. Її недолік – велика довжина зварних швів і підвищений гідравлічний опір.

Використання виносного теплообмінника (рис. 3.19 в) під час нагрівання або охолодження рідкого середовища в реакторі значно спрощує конструкцію реактора, але вимагає, крім теплообмінника, додаткового обладнання (насоса, трубопроводів, трубопровідної арматури) і збільшення виробничих площ. Така система досить громіздка і металомістка.

Внутрішні теплообмінні пристрої реакторів встановлюють за недостатньої зовнішньої теплообмінної поверхні. Ці пристрої мають велику поверхню теплообміну, витримують досить високі тиски, прості у виготовленні і монтажі. З таких теплообмінних пристроїв найбільшого поширення набули внутрішній змійовик (рис. 3.19 г), що являє собою спіраль, виготовлену з труби, а також набір вертикальних труб, закріплених у трубних дошках (рис. 3.19 д), унаслідок чого утворюється теплообмінний пристрій, аналогічний кожухотрубному теплообміннику. Теплоносій у цьому разі надходить у міжтрубний простір, а рідке середовище циркулює через труби.

3.3 Розрахунок ємнісного реактора

Розрахунок ємнісного реактора містить:

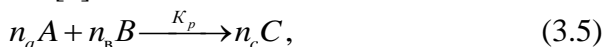
– технологічний розрахунок, що дозволяє визначити об'єм реактора з подальшим розрахунком його корпусу як ємності (див. розділ 2);

– розрахунок перемішувального пристрою з визначенням його характеристик, зокрема параметрів мішалки;

– тепловий розрахунок реактора, результатом якого є визначення його теплових характеристик, площі поверхні і розмірів теплообмінного пристрою.

3.3.1 Технологічний розрахунок реактора

Формальний опис хімічного перетворення в реакторі виражається стехіометричним рівнянням реакції, яке зазвичай подають у такому вигляді [4]:



де А, В і С – завантажувані в реактор компоненти і отримуваний продукт реакції, n_a , n_b , n_c – коефіцієнти рівняння реакції;

K_p – константа швидкості реакції.

Водночас необхідно також урахувувати вид реактора за характером дії: реактор періодичної дії або безперервної.

Реактор періодичної дії. Для такого реактора характерне послідовне виконання операцій: завантаження компонентів, перемішування їх протягом заданого часу, вивантаження отриманого продукту (рис. 3.22).

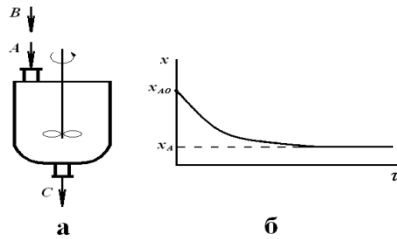


Рисунок 3.22 – Реактор періодичної дії: а – схема потоків; б – графік зміни концентрації компонента А в часі

Після вивантаження продукту з реактора технологічний цикл повторюється знову. Час перебування всіх частинок середовища в такому реакторі однаковий. Склад реакційної суміші змінюється в часі, тобто якщо контролювати концентрацію компонента А, то вона поступово змінюється від X_{A0} до X_A (рис. 3.22 б).

Обсяг реактора періодичної дії визначають за формулою

$$V_{\Pi} = \frac{G \tau_{\Pi}}{60 \rho \varphi}, \quad (3.6)$$

де V_{Π} – повний обсяг реактора, м^3 ; G – задана годинна продуктивність реактора, кг/год ; ρ – густина реакційного середовища (визначають дослідним способом як середню за часом величина), кг/м^3 ; φ – коефіцієнт заповнення реактора (перебуває в межах 0,5–0,7 для спінювальних середовищ; 0,7–0,9 – для неспінювальних середовищ); τ_{Π} – час повного технологічного циклу (обороту) реактора, хв.

Час повного технологічного циклу загалом можна виразити як суму витрат часу на окремі операції

$$\tau_{\Pi} = \tau_z + \tau_H + \tau_p + \tau_o + \tau_v + \tau_y, \quad (3.7)$$

де τ_z – час завантаження реактора, хв; τ_H – нагрів середовища до температури реакції, хв; τ_p – час проведення реакції, хв; τ_o – час

охолодження середовища після завершення реакції, хв; τ_e – час вивантаження реактора, хв; τ_y – час підготовки до наступного циклу, хв.

Час завантаження τ_3 і вивантаження τ_e задають регламентом на підставі дослідних даних або розрахунку за емпіричними залежностями, наведеними в роботі [4]. Час нагріву τ_n і охолодження τ_o можна визначити на підставі теплового розрахунку реактора (див. п. 3.3.3). Час реакції τ_p розраховують на підставі кінетичних закономірностей хімічного процесу, наприклад, для реакції нульового порядку цей час можна визначити за формулою

$$\tau_p = \frac{1}{K_{po}}(X_n - X_k), \quad (3.8)$$

де K_{po} – константа швидкості реакції нульового порядку, $K_{\text{моль/м}^3\text{с}}$.

Для реакції першого порядку його визначають за формулою

$$\tau_p = \frac{1}{K_{p1}} \ln \frac{X_n}{X_k}, \quad (3.9)$$

де K_{p1} – константа швидкості реакції першого порядку, с.

Формули для визначення часу реакцій вищих порядків наведені в літературі [11].

Час підготовки реактора до наступного циклу задає регламент і лежить у межах $\tau_y = 10 \div 60$ хв.

Реактори безперервної дії. Безперервнотійні реактори можуть ставитися до апаратів ідеального змішування або до апаратів ідеального витіснення. У першому варіанті всі частки, надходячи із середовища, миттєво перемішуються з розташованим в апараті середовищем, у другому – всі частки, що надходять із середовища, рухаються в заданому напрямку, не перемішуючись із середовищем, що перебуває спереду і ззаду. Прикладом такого реактора є так званий трубчастий реактор, застосовуваний у виробництвах поліетилену високого тиску і колоксиліну [13, 14].

Ємнісний реактор може розглядатися в наближенні апарата ідеального змішування. Для нього характерна безперервна одночасна подача компонентів із їхнім перемішуванням і безперервне вивантаження отриманого продукту (рис. 3.23).

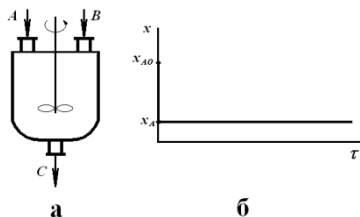


Рисунок 3.23 – Реактор безперервної дії: а – схема потоків; б – графік зміни концентрації компонента А в часі

За такої організації процесу концентрації компонентів, що подають, і продукти реакції будуть постійними в будь-якій точці об'єму реактора і в будь-який момент часу ($X_A - \text{const}$). Але це призводить до того, що деякі частинки компонентів, що надійшли в реактор, можуть відразу опинитися на виході з нього, тоді як інші перебувають у ньому дуже довго, тобто частинки компонентів мають неоднаковий час перебування в апараті. Час їхнього перебування можна характеризувати кривою розподілу, яка умовно подана на рисунку 3.24, де n_1, n_2, \dots, n_n – кількість частинок, що перебувають в апараті, дорівнює відповідно $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n; \tau_{cp}$ – середній час перебування.

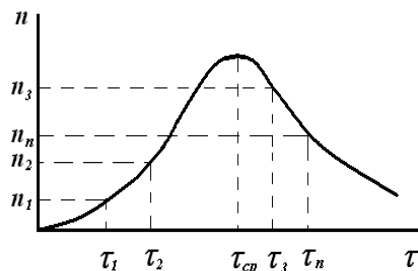


Рисунок 3.24 – Крива розподілу частинок компонента за часом перебування в реакторі

Через складність визначення справжнього часу перебування реакційного середовища в реакторі під час його розрахунку використовують середній час, що визначають як

$$\tau_{cp} = \frac{60M}{G}, \quad (3.10)$$

де M – маса реакційного середовища, яка перебуває в реакторі, кг; G – продуктивність реактора, кг/ч.

Із залежності (3.10) можна отримати формулу для розрахунку обсягу реактора безперервної дії

$$V_{\Pi} = \frac{G \tau_{\text{ср}}}{60 \rho \varphi}, \quad (3.11)$$

значення середнього часу перебування середовища в реакторі тут беруть з умови $\tau_{\text{ср}} \geq \tau_{\text{р}}$.

Під час визначення висоти корпусу реактора (див. п. 2.3.1) у разі великої швидкості обертання мішалки необхідно враховувати можливе утворення центральної воронки в перемішувальному середовищі. Глибина воронки, що утворюється в апараті без розкритих перегородок,

$$h_g = B \frac{n^2 d m^2}{2}, \quad (3.12)$$

де n – частота обертання мішалки.

Коефіцієнт пропорційності B визначають за номограмою, наведеною на рисунку 3.25 [11].

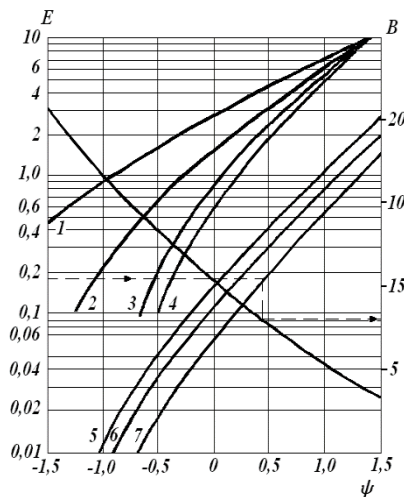


Рисунок 3.25 – Номограма до розрахунку глибини воронки:
 1, 2, 3, 4 – якірні і рамні мішалки; 5 – пропелерна мішалка;
 6 – лопатева; 7 – турбінна

Необхідні для такого визначення величини Γ і E розраховують за формулами

$$\Gamma = \frac{8H_{жс}}{D} + 1; \quad (3.13)$$

$$E = \frac{\Gamma}{\zeta_m Z Re_m^{0,25}}, \quad (3.14)$$

де $H_{жс}$ – висота рівня рідини в апараті, м; ζ_m – коефіцієнти опору мішалки (лопатева – $\zeta_m = 0,86$; якірна – $\zeta_m = 1,2$; рамна – $\zeta_m = 1,28$; турбінна – $\zeta_m = 8,4$; пропелерна – $\zeta_m = 0,56$); Z – кількість мішалок на одному валу.

За умови $h_g > H_{жс} - h$, де h – висота установки мішалки (рис. 3.9) у реакторі встановлюють відбивні перегородки.

3.3.2 Розрахунок перемішувального пристрою

Розрахунок перемішувального пристрою містить розрахунки: швидкості обертання мішалки, потужності привода, міцнісний розрахунок мішалки та її вала.

3.3.2.1 Швидкість обертання мішалки

Швидкість обертання мішалки визначає інтенсивність перемішування реакційного середовища. Вона виражається через окружну швидкість або частоту обертання мішалки, пов'язані між собою залежністю

$$w = \pi d_m n, \quad (3.15)$$

де w – окружна швидкість, м/с; n – частота обертів, с⁻¹.

Під час проведення реакції в гомогенному малов'язкому середовищі частоту обертання мішалки, що забезпечує вирівнювання концентрації і температури в робочому обсязі реактора, можна вибрати з умови

$$Re_m = \frac{nd_m^2 \rho}{\mu} \geq 10^4, \quad (3.16)$$

де Re_m – критерій Рейнольдса, характеризує гідродинамічний режим у реакторі; ρ – густина середовища, кг/м^3 ; μ – в'язкість середовища, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Для гетерогенних систем під час використання турбінних і пропелерних мішалок рекомендують [11] такі емпіричні залежності:

зважавання твердих частинок у рідині

$$n \geq C_1 \left(\frac{D \delta \Delta \rho}{d_m^4 \rho_{ж}} \right)^{0,5}, \quad (3.17)$$

емульгування рідин

$$n \geq C_2 \frac{D^{0,67} \Delta \rho^{0,3} \sigma^{0,18}}{d_m^{1,54} \rho_{ж}^{0,5} \Delta \rho}, \quad (3.18)$$

де δ – розмір частинок, m ; $\Delta \rho$ – різниця густини фаз, кг/м^3 ; $\rho_{ж}$ – густина рідкого (дисперсійного середовища) кг/м^3 ; σ – міжфазний натяг рідин, н/м .

Кількість оборотів на валу електродвигуна має дорівнювати $n_{эл} = in$, де i – передатне число редуктора (передачі).

3.3.2.2 Потужність привода

Потужність, що витрачається на перемішування реакційного середовища, визначають за відомою залежністю

$$N = K_N \rho n^3 d_m^5, \quad (3.19)$$

де K_N – критерій потужності, величину якого розраховують за емпіричними рівняннями або визначають за допомогою графіків залежності $K_N = \varphi(Re_m)$ для конкретних типів мішалок [9].

Для забезпечення цієї потужності на мішалці привід повинен витрачати більшу потужність у зв'язку з втратами енергії на тертя у вузлі ущільнення. З урахуванням ККД передачі потужність електродвигуна, що підбирається, визначають за формулою [11].

$$N_{\text{э}} = k_n k_{\text{н}} \sum k_i N + N_{\text{yn}}, \quad (3.20)$$

де $k_n = 1$ – для апаратів із перегородками і $k_n = 1,25$ – для апаратів без перегородок; $k_{\text{н}} = (H_{ж}/D)^{0,5}$ – коефіцієнт висоти рівня рідини в апараті; k_i – коефіцієнти, що враховують наявність в

апараті внутрішніх пристроїв; $k_i = 1,1 \div 1,2$ – за наявності гільзи термопари, труби передавлювання або рівнеміра; $k_i = 2$ – за умови зміювика, розміщеного уздовж стінки апарата; N – потужність, що витрачається безпосередньо на перемішування середовища, Вт; N_{yn} – потужність, що витрачається на подолання тертя в ущільненні вала мішалки, Вт; $\eta = 0,85 \div 0,9$ – коефіцієнт корисної дії привода.

Потужність N_{yn} залежить від типу і характеристик ущільнення. Для сальникового ущільнення її розраховують за формулою

$$N_{yn} = 4d_e^2 n \delta_n p \exp(0,2h_n / \delta_n) f_{mp}, \quad (3.21)$$

де d_e – діаметр вала мішалки, м; n – частота обертання вала, c^{-1} ; δ_n і h_n – відповідно товщина і висота сальникової набивки, м; p – надлишковий тиск в апараті, Па; f_{mp} – коефіцієнт тертя.

Товщину сальникової набивки визначають із виразу

$$\delta_n = (4 \div 5) \cdot 10^{-2} d_e^{0,5}. \quad (3.22)$$

Висоту набивки беруть

$$h_n = (4 \div 10) \delta_n. \quad (3.23)$$

Коефіцієнт тертя наблизено можна вважати таким, що дорівнює $f_{mp} = 0,2$.

Потужність, що витрачається на подолання тертя в торцевих ущільненнях, розраховують за такими формулами [11]: в одинарному ущільненні

$$N_{yn} = 6020 d_e^{1,3}, \quad (3.24)$$

в подвійному ущільненні

$$N_{yn} = 10440 d_e^{1,3}. \quad (3.25)$$

У деяких випадках під час вибору привода необхідно враховувати збільшення потужності в пусковий період. Порівняно зі сталим режимом роботи в період пуску електродвигун випробовує додаткове навантаження, яке витрачається на подолання сил інерції рідини й обертальної частини привода. У разі сильних перевантажень електродвигуна внаслідок збільшення сили струму відбувається інтенсивне тепловиділення в його обмотках, унаслідок чого може порушитися ізоляція, й обмотки можуть перегоріти. Тому електродвигун підбирається із запасом

за потужністю, хоча за сталого режиму перемішування в такій потужності немає потреби. З урахуванням пускового періоду потужність електродвигуна може іноді в 1,5–2 рази перевищувати розрахункову.

Потужність перемішувального пристрою з урахуванням пускового періоду, наприклад, для лопатевої мішалки (рис. 3.26) можна визначити так [15].

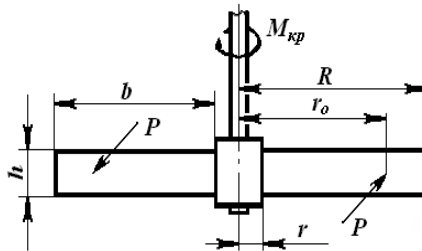


Рисунок 3.26 – Розрахункова схема лопатевої мішалки

Під час пуску лопаті мішалки починають долати інерцію захопленої ними маси рідини, що переміщується в одиницю часу

$$M = F_l w_o \rho,$$

де F_l – площа поверхні лопаті, м²; w_o – окружна швидкість центра ваги лопаті, м/с; ρ – густина середовища, кг/м³.

Водночас рідина виконує роботу, що дорівнює кінетичній енергії її маси, що рухається,

$$T = \frac{F_l w_o^3 \rho}{2}.$$

Площу поверхні лопаті, що захоплює рідке середовище, визначають виразом

$$F_l = bh \sin \beta,$$

де b – довжина лопаті, м; h – висота лопаті, м; β – кут нахилу лопаті.

Потрібно враховувати, що за однієї і тієї самої площі поверхні F_l лопать залежно від відношення b/h здійснює різну роботу. Тому дійсна робота, яка витрачається для приведення в дію лопаті, дорівнює

$$T = \frac{\varphi F_d w^3 \rho}{2},$$

де φ – коефіцієнт форми лопаті.

Для прямокутної лопаті φ визначають співвідношенням b/h відповідно до даних, наведених у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність коефіцієнта форми лопаті від співвідношення b/h

b/h	1	2	4	10	18	>18
φ	1,10	1,15	1,19	1,29	1,40	2,00

Для проміжних значень b/h коефіцієнт φ розраховують методом лінійної інтерполяції.

Крім того, під час визначення роботи, що витрачається, необхідно враховувати властивості рідкого середовища і ККД привода. З огляду на це, а також наближено вважаючи $B = d_m/2$ (рис. 3.26) і $W_o = 3W/4$, де W – окружна швидкість кінця лопаті, для лопатевої мішалки була отримана [15] формула

$$N = 60 \cdot 10^{-8} \frac{\varphi z}{\eta} F_d d_m^3 n^3 \rho, \quad (3.26)$$

де N – пускова потужність привода лопатевої мішалки, кВт; z – кількість пар лопатей мішалки; η – коефіцієнт корисної дії привода мішалки; n – частота обертання мішалки, об./хв.

Для мішалки з вертикальними лопатями (рис. 3.5 г) за умови $b = (D_2 - D_1)/2$, де D_1 і D_2 – діаметри кіл, що описуються відповідно внутрішньою і зовнішньою сторонами лопатей, потужність у кВт, споживана в пусковий період, визначають за формулою

$$N = 18 \cdot 10^{-8} \frac{\varphi z h}{\eta} (D_2^4 - D_1^4) n^3 \rho, \quad (3.27)$$

Потужність, що споживається в пусковий період перемішувальним пристроєм із якірною мішалкою, визначають

$$N = 15,3 \cdot 10^{-7} \frac{\varphi z}{\eta} (R_2^5 - R_1^5) n^3 \rho, \quad (3.28)$$

де R_1 і R_2 – радіуси кривизни відповідно до зовнішньої і внутрішньої частин мішалки (див. рис. 3.4).

Лопать пропелерної мішалки можна подати у вигляді частини гвинтової поверхні; рідина під час обертання мішалки уподібнюється гайці, яка за кожного оберту гвинта піднімається на висоту, що дорівнює кроку гвинта,

$$H = \pi D \operatorname{tg} \theta ,$$

де θ – кут підйому гвинтової лінії, що береться 25–45°.

Насправді рідина частково ковзає у зворотному напрямку, тому в розрахунках дійсну висоту підйому рідини вважають $H_o = kH$, де $k = 0,7 \div 0,8$.

Унаслідок такого подання можна допустити, що потік рідини рухається паралельно валу мішалки як циліндр з основою у вигляді кола, описуваного кінцями лопатей, площа якого дорівнює

$$F_o = 0,8 \frac{\pi d_m^2}{4} ,$$

де 0,8 – коефіцієнт, що враховує звуження струменя під дією лопатей мішалки.

Осьова швидкість перемішуваної рідини, крок гвинта і частота обертання (об/с) пов'язані залежністю

$$W_{oc} = H_o n \cos^2 \theta .$$

На підставі з цих даних була отримана формула для розрахунку потужності (у кВт), що витрачається пропелерною мішалкою [15]

$$N = \frac{k\rho F_o \mu}{102\eta} H^3 n^3 \cos^4 \theta , \quad (3.29)$$

Потужність, що витрачається турбінною мішалкою, залежить від гідродинамічного режиму в реакторі, створюваного мішалкою. У ламінарній зоні, за умови $Re_m = \frac{nd_m^2 \rho}{\mu} \leq 3 \cdot 10^3$ використовують формулу

$$N = \frac{0,736k_1\mu}{75} n^2 d_m^2, \quad (3.30)$$

де k_1 – дослідний коефіцієнт, значення якого для деяких мішалок наведені в таблиці 3.3; n – частота обертання мішалок, об./с.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта k_1

Турбінна мішалка	Кількість лопатей	k_1	Турбінна мішалка	Кількість лопатей	k_1
З плоскими радіальними лопатями	3	49	З вигнутими лопатями	6	69
	6	71	Зі стрілоподібними лопатями	6	72
	8	73	Типу ротора відцентрового насоса	6	97
	10	74,5	Те ж саме зі статором	20	170
Типу ротора вентилятора з лопатями, нахиленими під кутом 45°	6	64			
	8	71			

За турбулентного режиму, коли $Re_m = \frac{nd_m^2\rho}{\mu} \geq 10^4$, справедлива формула

$$N = \frac{0,736k_2}{75} \rho n^2 d_m^5, \quad (3.31)$$

де k_2 – дослідний коефіцієнт, значення якого для деяких мішалок наведені в таблиці 3.4; n – частота обертання мішалки, об./с.

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнта k_2

Турбінна мішалка	l/D	Кількість лопатей	k_1	Турбінна мішалка	l/D	Кількість лопатей	k_1
1	2	3	4	5	6	7	8
Відкрита з плоскими радіальними лопатями	0,1	3	3,4	Відкрита з плоскими радіальними лопатями (шість лопатей)	0,08	6	6,0
	0,1	4	4,4		0,1	6	6,2
	0,1	5	5,4		0,17	6	6,4
	0,1	6	6,2	Те ж саме з вигнутими лопатями	0,1	6	4,8
	0,1	8	7,8				
	0,1	10	8,7	Те ж саме, зі стрілоподібними лопатями	0,1	6	3,9
	0,1	12	10,0	Типу ротора з вентилятора з лопатями, нахиленими під кутом 45°	0,1	6	1,5
0,1					8	1,65	

Значення коефіцієнтів k_2 у таблиці 3.4 знаходять для конкретної мішалки за співвідношення l/D , де l – довжина лопатей турбінної мішалки; D – внутрішній діаметр апарата.

3.3.2.3 Міцнісний розрахунок мішалки

Метою такого розрахунку є визначення розмірів мішалки, за яких не відбувається її руйнування від дії силового навантаження. Як приклад розглянемо найбільш просту лопатеву мішалку.

Під час роботи такої мішалки опір рідкого середовища проявляється у вигляді розподіленого згинального навантаження, що діє на лопаті. Для спрощення розрахунку це навантаження

можна уявити як рівнодійну силу, прикладену в центрі ваги лопаті (рис. 3.26).

Відстань від осі мішалки до точки прикладання сили, що діє на лопать, визначають за формулою

$$r_o = \frac{3 R^4 - r^4}{4 R^3 - r^3}, \quad (3.32)$$

де R – радіус кола, описуваної мішалкою (радіус мішалки); r – радіус маточини.

Величина цієї сили

$$P = \frac{M_{кр}}{r_o z}, \quad (3.33)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент на валу мішалки; z – кількість пар лопатей на валу.

На похилу лопать діє сила, спрямована перпендикулярно площині лопаті (рис. 3.2 б)

$$P_1 = \frac{P}{\cos \alpha}, \quad (3.34)$$

де α – кут нахилу лопаті.

Крутний момент на валу мішалки можна визначити за формулою

$$M_{кр} = 9550 \frac{N}{n}, \text{ кВт} \quad (3.35)$$

Під дією сили опору перемішувального середовища лопать випробовує деформацію вигину. Ступінь цієї деформації залежить від матеріалу лопаті та за заданої її ширини і довжини – від товщини лопаті. Якщо характеристики матеріалу відомі, то міцнісний розрахунок зводиться до визначення товщини лопаті.

У разі вигину лопаті найбільш небезпечним її перетином є перетин біля основи, яким лопать приварена до маточини (рис. 3.26).

Величину згинального моменту для цього перерізу визначають за формулою

$$M_{кр} = P(r_o - r). \quad (3.36)$$

У роботі [16] запропонована формула для розрахунку величини згинального моменту в місці приєднання лопаті до маточини

$$M_{кр} = 0,0813 \frac{N}{n}, \quad (3.37)$$

Момент опору лопаті визначають з умови міцності

$$W = \frac{M_{кр}}{\sigma_{дон}}.$$

Для лопаті прямокутного перетину момент опору також дорівнює

$$W = \frac{hs}{6},$$

де s – товщина лопаті.

Відповідно товщина лопаті

$$s = 2,45 \sqrt{\frac{M_{кр}}{\sigma_{дон}h}}. \quad (3.38)$$

Методи міцнісного розрахунку інших типів мішалок наведені в роботі [16].

Вал мішалки розраховують на кручення

$$d_в = \sqrt{\frac{M_{кр}}{0,2\tau_{дон}}}, \quad (3.39)$$

де $d_в$ – діаметр вала; $\tau_{дон}$ – дотична напруга, що допускається, для сталевих валів $\tau_{дон} \leq 45 \cdot 10^6$, $н/м^2$.

Вали високообертних мішалок перевіряють на критичну швидкість обертання

$$W_{кр} \left(\frac{\alpha}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m_в}}, \text{ рад/с}, \quad (3.40)$$

де α – корінь частинного рівняння критичних швидкостей; L – довжина вала, м; E – модуль пружності матеріалу вала, $Н/м^2$; I – момент інерції перерізу вала, м; $m_в$ – маса одиниці довжини вала, $кг/м$.

Величину α знаходять за графіками $\alpha = f(K, a)$ (рис. 3.27). Залежно від розрахункової схеми вала і співвідношень $a = l/L$ і $K = m/(mVL)$, де m – маса мішалки, кг.

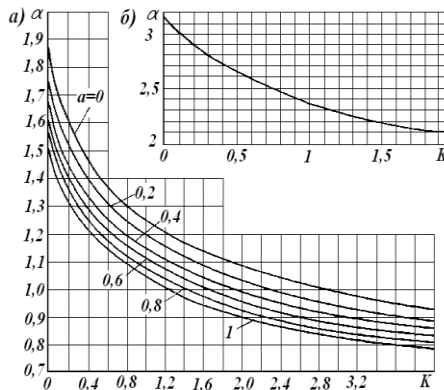


Рисунок 3.27 – Графіки для розрахунку вала мішалки на критичну швидкість обертання: а – вал без проміжної підшипникової опори; б – вал з однією проміжною підшипниковою опорою (рис. 3.18 б)

У разі вибору розрахункової схеми частину вала, що міститься в підшипниках редуктора, вважають жорстко закріпленою. Вузол ущільнення не вважають опорою, хоча в деяких випадках він сприймає певне навантаження. Графіки залежностей $\alpha = f(K, a)$ для інших більш складних схем валів наведені в літературі [16].

Момент інерції перерізу вала, що входить у формулу (3.40) визначають за формулою

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \quad (3.41)$$

Фактична швидкість обертання вала повинна задовольняти умовну

$$W = 0,55W_{кр}. \quad (3.42)$$

3.3.3 Тепловий розрахунок ємнісного реактора

Завданням цього розрахунку є визначення площі поверхні теплообмінного пристрою реактора, витрати теплоносія і, відповідно, конструктивних розмірів основних елементів цього пристрою.

3.3.3.1 Площа поверхні теплообмінного пристрою

Цю характеристику теплообмінного пристрою можна виразити з основного рівняння теплопередачі

$$F = \frac{Q_f}{K\Delta t_{cp}}, \quad (3.43)$$

де Q_f – кількість теплоти, переданої в одиницю часу через поверхню теплообмінного пристрою, Вт; K – коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до реакційного середовища або назад, Вт/м²град; Δt_{cp} – середня різниця температур реакційного середовища і теплоносія, град.

Кількість теплоти, передана через поверхню теплообмінного пристрою, Q визначають із рівняння теплового балансу реактора. Його розрахунок залежить від способу організації роботи реактора.

Для безперервної дії реактора рівняння теплового балансу має вигляд

$$Q_f = \pm \left(\sum Q_{прих} - \sum Q_{витр} \right), \quad (3.44)$$

де $Q_{прих}$, $Q_{витр}$ – сумарні теплоти за статтями приходу і витрати, Вт; знаки перед дужками вказують на нагрівання «+» або охолодження «-» реакційного середовища.

Прихід теплоти в цьому разі складається з таких статей балансу

$$\sum Q_{прих} = Q_A + Q_B + Q_P, \quad (3.45)$$

де Q_A , Q_B – кількість теплоти, що вноситься в одиницю часу з вхідними компонентами, Вт; Q_P – кількість теплоти, що виділяється за екзотермічної реакції, Вт.

Витрата теплоти містить статті

$$\sum Q_{витр} = Q_C + Q_E + Q_P + Q_{витр}, \quad (3.46)$$

де Q_C, Q_E – кількість теплоти, що виводиться в одиницю часу з реактора з продуктами реакції, Вт; Q_P – кількість теплоти, що поглинається під час ендотермічної реакції, Вт; $Q_{втр}$ – кількість теплоти, що втрачається в довкілля, Вт.

Кількість теплоти, що вноситься в одиницю часу із завантажуваними компонентами, наприклад, з компонентом А, визначають за формулою

$$Q_A = g_A c_A t_A, \quad (3.47)$$

де g_A – витрата компонента, кг/с; c_A – теплоємність компонента, Дж/кг·град; t_A – температура компонента А на вході в реактор, град.

Тепловий ефект реакції розраховують за рівнянням

$$Q_P = V_{ж} q r_p, \quad (3.48)$$

де $V_{ж}$ – обсяг середовища в реакторі, м³; q – питома теплота реакції, Дж/кмоль; r_p – швидкість реакції, кмоль/м³ · с.

Значення швидкості реакції за компонентом А в гомогенних системах визначають з урахуванням кінцевих концентрацій реагуювальних компонентів за рівнянням

$$r_p = K_p X_{AK} n_A X_{BK} n_B, \quad (3.49)$$

де X_{AK}, X_{BK} – кінцеві концентрації реагуювальних компонентів, кмоль/м³; n_A, n_B – коефіцієнти реакції (3.5); K_p – константа швидкості реакції.

Константу швидкості реакції можна визначити за рівнянням Арреніуса

$$K_p = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (3.50)$$

де A – передекспоненціальний множник; E – енергія активації, Дж/моль; R – універсальна газова постійна, Дж/кмоль · град; T – температура реакції, К.

Кількість теплоти, що виводиться в одиницю часу з реактора з вивантажуваними продуктами реакції (Q_C, Q_E), визначають за формулою, аналогічною (3.47).

Величину $Q_{втр}$ задають на підставі відомих дослідних даних або попереднього розрахунку. За значних теплових втрат

реактор забезпечують теплоізоляцією, що враховують під час розрахунку. У першому наближенні можна вважати $Q_{втр} = (0,1 \div 0,15) Q_p$.

Для реактора періодичної дії розрахунок кількості теплоти, переданої через поверхню теплообмінного пристрою (QF), можна здійснювати за рівнянням теплового балансу в запису (3.44), а статті приходу і витрати відповідно (3.45) і (3.46). Відмінність від непереривної дії реактора буде полягати в тому, що в зазначені рівняння підставляють абсолютні значення теплоти, а не значення їхніх потоків:

Q'_A, Q'_B – кількості теплоти, внесеної із завантаженими компонентами, Дж;

Q'_P – кількість теплоти, що виділяється (поглинається) внаслідок реакції, Дж;

Q'_C, Q'_E – кількості теплоти, що міститься в продуктах реакції, Дж;

$Q'_{втр}$ – кількість теплоти, що втрачається в доквілля за час проведення реакції, Дж.

Під час визначення кількості теплоти, що вноситься в реактор із завантаженими компонентами і міститься у продуктах реакції, у рівняння (3.47) підставляють не витрати, а маси цих речовин, наприклад, замість g_A [кг/с] підставляють m_A [кг].

Загальна кількість теплоти, що виділилася внаслідок реакцій за весь період її протікання, виразиться рівнянням

$$Q'_{P} = V_{ж} q(X_H - X_K), \text{ Дж} \quad (3.51)$$

Кількість теплоти, що передається через поверхню теплообмінного пристрою в одиницю часу, для реактора періодичної дії становить

$$Q_F = Q'_F / \tau_P, \text{ Вт} \quad (3.52)$$

Коефіцієнт теплопередачі виражають через частинні коефіцієнти тепловіддачі, а також термічний опір стінки теплообмінного пристрою і відкладень на ній як із боку середовища, так і теплоносія,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\lambda_i}{\delta_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot град}, \quad (3.53)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від реакційного середовища до стінки за охолодження (навпаки за нагрівання), $Вт/м^2 \cdot град$; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до теплоносія за охолодження (навпаки за нагрівання), $Вт/м^2 \cdot град$; λ_i – теплопровідності стінки і шарів відкладень $Вт/м^2 \cdot град$; δ_i – товщини стінки і шарів відкладень, $м$.

Коефіцієнти теплопровідності стінки і шарів відкладень, що входять у формулу (3.53), є довідковими величинами, товщина стінки – конструктивною характеристикою теплообмінного пристрою, товщини шарів відкладень на стінці вибираються на підставі досвіду експлуатації аналогічних пристроїв.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі α_1 можна використовувати емпіричне рівняння

$$Nu = C Re_M^a Pr^{0,33}, \quad (3.54)$$

безрозмірні критерії в якому виражаються так: $Nu = \alpha_1 D / \lambda_{ж}$ – критерій Нуссельта для теплообмінної сорочки;

$Nu = \alpha_1 d_{зн} / \lambda_{ж}$ – критерій Нуссельта для змієвикового теплообмінного пристрою; $Re_M = \frac{nd_M \rho_{p.c.}}{\mu_{p.c.}}$ – критерій Рейнольдса в

умовах перемішування рідкого середовища; $Pr = \frac{\mu_{p.c.}}{a' \rho_{p.c.}}$ – кри-

терій Прандтля для реакційного середовища, де D – внутрішній діаметр реактора, $м$; $d_{зн}$ – зовнішній діаметр труби змієвика, $м$; $\lambda_{p.c.}$ – коефіцієнт теплопровідності реакційного середовища, $Вт/м град$; $\mu_{ж}$ – в'язкість реакційного середовища, Па с; a' – коефіцієнт температуропровідності реакційного середовища; $\rho_{p.c.}$ – густина реакційного середовища, $кг/м^3$.

Значення коефіцієнта C і показника степені a в рівнянні (3.54) для різних умов перемішування реакційного середовища наведені в таблиці 3.5.

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 для теплоносія, що надходить у сорочку або змійовик реактора, визначають з урахуванням низки умов.

Таблиця 3.5 – Значення C і показника степені a для різних умов перемішування

Тип мішалки	Наявність перегородок	C	a	Re_m
1	2	3	4	5
Для апарата із сорочкою				
Турбінна (відкрита)	Є	0,760	0,67	$4 \cdot 10^3 - 10^6$
	Немає	0,350	0,67	$3 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^5$
Пропелерна (трилопатева)	Є	0,514	0,67	$1,7 \cdot 10^4 - 9,2 \cdot 10^5$
	Немає	0,380	0,67	–
Дволопатева	Є	0,526	0,67	$2,7 \cdot 10^4 - 4,8 \cdot 10^5$
	Немає	0,360	0,67	$3 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^5$
Якірна		1,000	0,50	30–300
		0,380	0,67	300–4 000
Для апарата зі змієвиком				
Турбінна	Немає	0,036	0,67	$10^4 - 2 \cdot 10^6$
Пропелерна (трилопатева)	Є	0,068	0,67	$1,3 \cdot 10^4 - 1,1 \cdot 10^6$
	Немає	0,078	0,62	$10^4 - 10^6$
Дволопатева	Немає	0,030	0,62	$3 \cdot 10^2 - 7,3 \cdot 10^5$

Під час нагрівання реактора паром, що конденсується, цей коефіцієнт може бути розрахований за формулою

$$\alpha_2 = C \left(\frac{r \rho_{кон}^2 \lambda_{кон}^3 q}{\mu_{кон} H \Delta t_{кон}} \right)^{1/4}, \quad (3.55)$$

де r – теплота конденсації пари за заданого тиску, Дж/кг; $\lambda_{кон}$ – теплопровідність конденсату, Вт/м град; $\rho_{кон}$ – густина конденсату, кг/м³; $\mu_{кон}$ – в'язкість конденсату, Па с; H – висота сорочки або змійовика, м; $\Delta t_{кон} = t_{кон} - t_{ст}$, °C; $t_{кон}$ – температура конденсації пари за заданого тиску, °C; $t_{ст}$ – температура стінки корпусу реактора або труби змійовика, °C.

У разі використання рідкого теплоносія, що надходить у сорочку реактора, коефіцієнт тепловіддачі α_2 може бути розрахований залежно від критерію Рейнольдса, вираженого так [11]:

$$Re = \frac{4G_T}{\pi(D_p - D)\mu}, \quad (3.56)$$

де G_T – витрата теплоносія, кг/с; D_p , D – відповідно діаметр сорочки і апарата, м.

За умови $Re < 2\,300$ (ламінальний режим за вимушеного і вільного руху рідини) для визначення коефіцієнта тепловіддачі α_2 рекомендують використовувати формулу

$$Nu = c(Cr Pr)^a,$$

де Nu – критерій Нусельта, у якому за характерний розмір взята висота сорочки H_p ; $c = 0,76$ і $a = 0,25$ за умови $10^3 < GrPr < 10^9$; $c = 0,15$ і $a = 0,33$ за умови $GrPr > 10^9$.

Якщо як теплоносієм використовують воду, добуток $GrPr$ розраховують за спрощеною залежністю

$$GrPr = H_p^3(t_{cm} - \theta_{cp})B, \quad (3.57)$$

де θ_{cp} – температура теплоносія в сорочці, °С; B – коефіцієнт, залежний от θ_{cp} (табл. 3.6).

Таблиця 3.6. – Значення коефіцієнта B

$\theta_{cp}, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	60	80	100	150	200
$B \cdot 10^{-9}$	2,64	8,0	15,5	27,0	39,0	68,0	102	147	290	493

Під час реакції можна вважати $\theta_{cp} = (\theta_n - \theta_k)/2$, де, θ_n , θ_k , відповідно, початкова і кінцева температури теплоносія. Оскільки коефіцієнт тепловіддачі за вільної конвенції залежить від t_{cm} , розрахунок площі теплообмінної поверхні реактора в цьому разі здійснюють методом підбору температури стінки. Для орієнтовних розрахунків можна взяти під час реакції $t_{cm} = (t_p + \theta_{cp})/2$.

Для перехідного режиму ($2\,300 < Re < 10\,000$) тепловіддача від теплоносія до стінки реактора або навпаки може бути розрахована з використанням функції [17]

$$K_o = Nu Pr^{-0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{-0,25}, \quad (3.58)$$

значення якої для різних чисел Re наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. – Значення функції K_o за різних Re

$Re \cdot 10^{-3}$	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
K_o	3,6	4,9	7,5	10,0	12,2	16,3	20,0	24	27	30	83

Фізичні параметри в критеріях Nu , Re и Pr , що входять у функцію (3.58), визначають за середньої температури теплоносія, а в критерії Pr_{cm} – за температури стінки.

В умовах усталеного турбулентного руху рідкого теплоносія ($Re < 10\,000$) теплопередача залежить практично тільки від характеру руху і властивостей рідини. Для теплоносія, що надходить у сорочку, коефіцієнт тепловіддачі α_2 можна розраховувати, використовуючи емпіричне рівняння

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \quad (3.59)$$

за такого ж самого вираження характерних розмірів і фізичних параметрів, що входять у критерії, як і в попередньому випадку.

Для змієвикового теплообмінного пристрою характерний переважно турбулентний режим руху теплоносія, що дозволяє для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі α_2 також використовувати рівняння (3.59), але з уведенням поправкового коефіцієнта, який визначають за формулою

$$\varepsilon = \lambda + 1,77 \frac{d_{зв}}{R_{км}}, \quad (3.60)$$

де $d_{зв}$ – внутрішній діаметр труби змієвика, м; $R_{км}$ – радіус витка змієвика, м.

Безрозмірні критерії, що входять у рівняння (3.59), у цьому разі виражаються в такий спосіб:

$$Nu = \alpha_2 d_{зв} / \lambda_{жс}; \quad Re = \frac{v_{жс} d_{зв} \rho_{жс}}{\mu_{жс}},$$

де $v_{ж}$ – швидкість руху теплоносія, беруть у межах діапазону 0,2–3,0 м/с.

Середня різниця температур реакційного середовища і теплоносія. В умовах ізотермічного режиму в реакторі, який забезпечується підведенням або відведенням теплоти, наближення до ідеального змішування реакційного середовища величини Δt_{cp} , що входить у рівняння (3.43), можна визначити за формулою

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{\sigma}} - \Delta t_n}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{\sigma}}}{\Delta t_m}}, \quad (3.61)$$

де $\Delta t_{\bar{\sigma}} = t_{mn} - t_p$, $\Delta t_m = t_{mk} - t_p$ – за підведення теплоти (реакція ендотермічна); $\Delta t_{\bar{\sigma}} = t_p - t_{mn}$, $\Delta t_m = t_p - \Delta t_{mk}$ – за відведення теплоти (реакція екзотермічна), °С; t_p – температура реакційного середовища, °С; t_{mn} – початкова температура теплоносія, °С; t_{mk} – кінцева температура теплоносія, °С.

Під час використання насиченої пари як теплоносія, якщо конденсат не охолоджує ($t_{нас} = t_{кон}$), то $\Delta t_{cp} = t_{нас} - t_p$, де $t_{нас}$ – температура насиченої пари.

3.3.3.2 Витрата теплоносія під час роботи реактора

Витрата рідкого теплоносія, що забезпечує заданий тепловий режим реактора безперервної дії, розраховують за формулою

$$G_T = \frac{Q_F}{c_m (t_{mn} - t_{mk})}, \quad (3.62)$$

де c_m – питома теплоємність теплоносія, Дж/кг · град.

Витрату водяної пари під час нагрівання реакційного середовища визначають як

$$G_n = \frac{Q_F}{r}, \quad (3.63)$$

де r – питома теплота пароутворення, Дж/кг.

У реакторах періодичної дії витрата теплоносія фактично повинна бути змінною. За формулами (3.62)–(3.63) можна визначити його максимальне значення. Вважають, що зміну витрати теплоносія в часі доцільно передбачати для реакторів великих обсягів ($V_n > 10 \text{ м}^3$) [11].

3.3.3.3 Пускові характеристики реактора

Для того, щоб відбулася хімічна реакція, середовище, яке є в апараті, повинне бути нагріте до температури реакції. Кількість теплоти, необхідної для розігріву середовища до цієї температури, можна розраховувати за формулою

$$Q_{\text{наг}} = (m_p c_p + m_{\text{жс}} c_{\text{жс}}) \Delta t_{\text{наг}}, \quad (3.64)$$

де m_p , $m_{\text{жс}}$ – маси реактора і завантаженого в нього середовища, кг; c_p , $c_{\text{жс}}$ – теплоємності матеріалу реактора і середовища, Дж/кг · град; $\Delta t_{\text{наг}}$ – різниця температур у процесі нагрівання, °С.

Величину $\Delta t_{\text{наг}}$ визначають як $\Delta t_{\text{наг}} = t_p - t_n$, де t_n – початкова температура середовища до нагрівання, °С.

Масу реактора орієнтовно можна визначити за формулою [11]

$$m_p = 23 p D^3, \quad (3.65)$$

де p – надлишковий тиск у реакторі, МПа; D – діаметр реактора, м.

Для визначення тривалості нагрівання реактора використовують формулу

$$\tau_{\text{наг}} = \frac{Q_{\text{наг}}}{FK(\Delta t_{\text{ср}})_{\text{наг}}}, \quad (3.66)$$

де $(\Delta t_{\text{ср}})_{\text{наг}}$ – середня різниця температур теплоносія і реакційного середовища, яку розраховують для умов нестационарного процесу теплообміну.

Під час нагрівання з допомогою сорочки реакційної суміші від t_n до t_p рідким теплоносієм, яка не змінює свого агрегатного стану, середню різницю температур розраховують за формулою

$$(\Delta t_{\text{ср}})_{\text{наг}} = \frac{t_p - t_n}{\ln \frac{t_{\text{тн}} - t_n}{t_{\text{тн}} - t_p}} \frac{A - 1}{A \ln A}, \quad (3.67)$$

де $A = \frac{t_{\text{тн}} - t_p}{t'_{\text{тк}} - t_p}$; $t'_{\text{тк}}$ – температура теплоносія на виході з сорочки

в кінці нагрівання.

Під час нагрівання реакційного середовища водяною парою, яка конденсується, $t_{TH} = t_{TK}$. Середню різницю температур у цьому разі розраховують як середню арифметичну або логарифмічну різницю.

Залежності (3.64)–(3.66) можуть бути використані також для визначення значення часу охолодження реактора періодичної дії до заданої температури після завершення реакції. У цьому разі з урахуванням того, що температура теплоносія t_{TK} також змінюється в часі, середню різницю температур середовища і теплоносія можна визначити за формулою

$$(\Delta t_{cp})_{охл} = \frac{t_p - t_k}{\ln \frac{t_p - t_{TH}}{t_k - t_{TH}}} \frac{A-1}{A \ln A}, \quad (3.68)$$

де $A = \frac{t_k - t_{TH}}{t_k - t_{TK}}$; t_k – кінцева температура реакційної суміші; t_{TK} – температура теплоносія на виході із сорочки в кінці охолодження.

3.3.3.4 *Визначення конструктивних розмірів теплообмінних пристроїв реакторів*

Як приклад нижче наведений порядок розрахунку конструктивних розмірів найбільш поширених теплообмінних пристроїв: теплообмінної сорочки і внутрішнього змієвика.

Теплообмінна сорочка. Основним розміром сорочки є висота її циліндричної частини, яку можна визначити за формулою

$$H_p = \frac{F_T - F_{он}}{\pi D_p}, \quad (3.69)$$

де $F_{он}$ – площа зовнішньої поверхні днища реактора, m^2 ; D_p – внутрішній діаметр сорочки, що дорівнює $D_p = D_a + 2\Delta$; D_a – зовнішній діаметр корпусу реактора, m ; Δ – зазор між стінкою корпусу реактора і сорочкою, обраний з умови проходу теплоносія.

Загальна висота сорочки складається з H_p і висоти днища сорочки.

Для наявного реактора часто виникає завдання перевірки можливості підведення до реакційного середовища необхідної кількості теплоти. У цьому разі розраховують теплообмінну поверхню F_T і порівнюють її з фактичною поверхнею реактора, яку охоплює сорочка, на підставі умови $F_{фак} \geq F_T$.

Внутрішній змійовик. Довжину труби змійовика розраховують за формулою

$$L_r = \frac{F_T}{\pi d_T}, \quad (3.70)$$

де d_T – діаметр труби змійовика, м.

Діаметр труби змійовика визначають

$$d_T = \sqrt{\frac{N \varphi}{\pi}}, \quad (3.71)$$

де φ – площа перетину труби, м.

Площа перетину труби

$$\varphi = \frac{G_T}{\omega \rho_T}, \quad (3.72)$$

де G_T – витрата теплоносія, кг; ω – швидкість руху теплоносія в трубі, м/с; ρ_T – густина теплоносія, кг/м³.

Швидкість руху теплоносія вибирається з умови мінімального гідравлічного опору

– для води

0,2–1,0 м/с – рух самопливом,

1,0–3,0 м/с – примусове нагнітання;

– для водяної пари

20 – 30 м / с – насичений пар,

30 – 50 м / с – перегріта пара.

Висоту змійовика можна визначити так:

$$H_{зм} = nt, \quad (3.73)$$

де n – кількість витків; t – крок відстані між витками, м.

Крок між витками беруть $t = (0,5 \div 2,0)d_T$, кількість витків розраховують як $n = L/\ell$, де ℓ – довжина одного витка, що визначають як $\ell \approx \pi D_g$; D_g – діаметр змійовика, який обирається з умови розміщення змійовика в реактор.

3.4 Приклади змішувачів і реакторів, що застосовують у виробництвах високомолекулярних сполук

Поряд із типовим устаткуванням у виробництвах високомолекулярних сполук застосовують спеціальні змішувачі та реактори, окремі представники яких розглянуті нижче.

3.4.1 Виробництво нітратів целюлози [14]

Змішувачі кислот. Для приготування нітрувальної кислотної суміші, що складається з HNO_3 , H_2SO_4 і H_2O , у виробництві нітратів целюлози застосовують два види змішувачів кислот: вертикальний і горизонтальний.

Вертикальний змішувач кислот (рис. 3.28) складається з корпусу циліндричної форми 1, який закритий плоскою кришкою 2 і має плоске днище 3.

У корпусі встановлені два вертикальних вали 4, на кожному з яких закріплені три чотирилопатеві мішалки 5 так, що в проміжках між мішалками одного вала містяться мішалки іншого вала. Для зручності монтажу вали роз'ємні і з'єднані муфтами 6. Вали встановлені у двох підшипникових опорах: верхньої 7 із двома підшипниками і нижньої 8 із наполегливим підшипником. Отвори в кришці, через які проходять вали, закриті сальниковими ущільненнями 9.

Для жорсткості на кришці встановлена рама 10, на якій розміщений привід. Привід складається з горизонтального вала 11 і редуктора 12 з електродвигуном. На горизонтальному валу закріплені дві конічні шестерні 13, які перебувають у зачепленні із зубчастими колесами 14, встановленими на валах мішалок. Горизонтальний вал з'єднаний із валом редуктора муфтою 15.

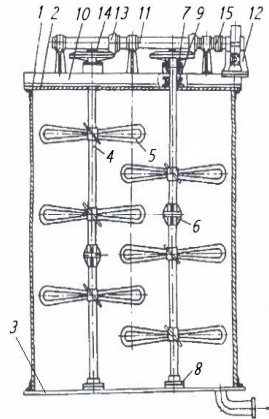


Рисунок 3.28 – Вертикальний змішувач кислот:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – вал мішалки;
 5 – мішалка; 6 – муфта вала; 7 – верхня опора;
 8 – нижня опора; 9 – сальникове ущільнення; 10 – рама;
 11 – горизонтальний вал; 12 – редуктор; 13 – шестерня;
 14 – зубчасті колеса; 15 – муфта

У кришці змішувача розташований люк для внутрішнього огляду, штуцери для під'єднання змішувача до вентиляційної системи, наливу відпрацьованої кислотної суміші, азотної та сірчаної кислот, взяття проб. У днищі є штуцер для зливу приготованої кислотної суміші.

Технічні характеристики вертикального змішувача

Габаритні розміри – 3,5 м х 3 м.

Корисна місткість – 20 м³.

Частота обертання лопатей – 20 об./хв.

Споживана потужність – 4,5 кВт.

У більш сучасних виробництвах використовують горизонтальні змішувачі кислот (рис. 3.29).

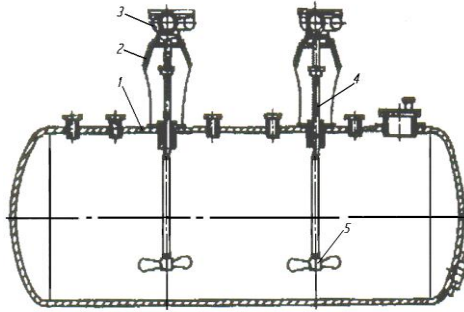


Рисунок 3.29 – Горизонтальний змішувач кислот:
1 – корпус; 2 – стояки для перемішувальних пристроїв;
3 – привод мішалки; 4 – вал мішалки; 5 – мішалка

Основою горизонтального змішувача є корпус 1, що являє собою циліндричну ємність з еліптичними кришками на торцях. Зверху на боковій стінці корпусу встановлені дві стояки 2 для перемішувальних пристроїв, що складаються з привода 3, вала 4, пропелерної мішалки 5. Отвори в стінці корпусу, через які проходять вали мішалок, герметизовані сальниковими ущільненнями. На бічній стінці корпусу є ряд штуцерів: для введення азотної та сірчаної кислот, відпрацьованої кислотної суміші, відбору проб, люк внутрішнього огляду змішувача. У кришку люка вварений штуцер для приєднання змішувача до вентиляційної системи. Внизу однієї з торцевих кришок корпусу міститься штуцер для зливу приготованої нітрувальної кислотної суміші.

Відомі змішувачі з трьома пристроями конструктивно аналогічні розглянутому.

Технічні характеристики горизонтального змішувача з двома пристроями

Габаритні розміри – 2 м х 6,5 м.

Корисна місткість – 20 м³.

Частота обертання мішалки – 200 об./хв.

Нітратор целюлози. Такий ємнісний реактор служить для проведення процесу нітрації целюлози, який містить реакцію етерифікації. Він являє собою ємність еліптичної форми в перерізі з двома мішалками лопатевого типу (рис. 3.30)

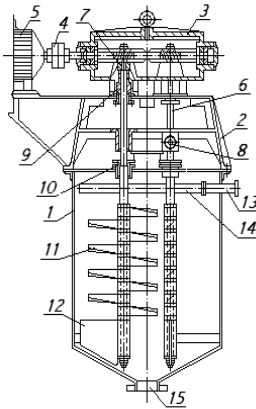


Рисунок 3.30 – Нітратор целюлози:

- 1 – корпус; 2 – кронштейн; 3 – редуктор; 4 – муфта;
- 5 – електродвигун; 6 – вал; 7 – опора вала в редукторі;
- 8 – опора вала в кронштейні; 9 – ущільнення вала в редукторі;
- 10 – ущільнення вала в кришці; 11 – лопать; 12 – фігурна лопать;
- 13 – штуцер подачі кислотної суміші; 14 – зрошувач;
- 15 – розвантажувальний штуцер

Нітратор має корпус 1 із конічним для кращого зливу реакційної суміші днищем і плоскою кришкою. На кришці розміщений кронштейн 2, на якому встановлений редуктор 3 із двома черв'ячними передачами правого і лівого обертання. Вихідний вал редуктора з'єднаний за допомогою муфти 4 з електродвигуном 5. Черв'ячні колеса редуктора закріплені на верхніх кінцях валів 6 перемішувального пристрою. Кожен вал встановлений у двох підшипникових опорах, одна 7 із яких є частиною редуктора, інша 8 – кронштейна 2. Верхня частина валів, що входить у редуктор і проходить через кришку,

ущільнені сальниковими ущільненнями 9 і 10. Перемішувальні лопаті 11 односторонні, встановлені під кутом 45° до горизонту. На одному валу вони повернені під кутом 180° щодо один до одного і під кутом 90° щодо лопатей суміжного вала. На нижніх кінцях валів закріплені фігурні лопаті 12, форма яких відповідає днищу корпусу. Під час роботи мішалок вали обертаються в різні боки.

На бічній поверхні верхньої частини корпусу розташований штуцер 13 для подачі нитрувальної кислотної суміші. У середині нітратора він з'єднаний із кільцевим зрошувачем 14, який розподіляє цю суміш так, щоб вона змивала завантажену целюлозу зі стінок нітратора. У кришці нітратора є завантажувальний люк, штуцер для приєднання нітратора до вентиляційної системи й оглядове вікно. Вивантажують реакційну суміш через штуцер 15 у конічному днищі.

Технічні характеристики нітратора

Корисна місткість – $0,6 \text{ м}^3$.

Частота обертання лопатей – 20–40 об./хв.

Споживана потужність – 5,5 кВт.

Автоклав для деполімеризації колоксиліну. Являє собою ємнісний реактор періодичної дії (рис. 3.31).

Автоклав складається з корпусу 1, що має теплообмінну сорочку 2 і перемішувальний пристрій із двома мішалками на одному валу 3: лопатевої 4 і якірної 5. Вал має нижню підшипникову опору 6, верхній кінець вала з'єднаний із валом редуктора 7 муфтою 8. Вал редуктора проходить через отвір у кришці 9, у якому встановлено сальникове ущільнення 10. На внутрішній стінці корпусу між лопатями мішалки закріплені відбивачі 11, що перешкоджають обертальному руху реакційного середовища.

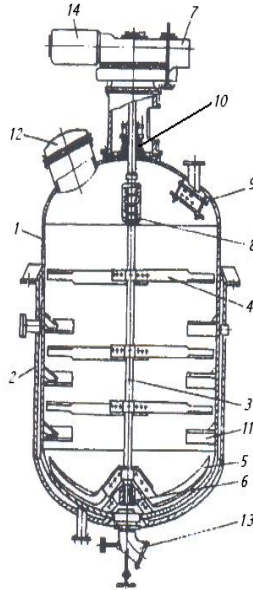


Рисунок 3.31 – Автоклав для деполімеризації колоксиліну:

- 1 – корпус; 2 – сорочка; 3 – вал; 4 – лопатева мішалка;
 5 – якірна мішалка; 6 – нижня опора; 7 – редуктор; 8 – муфта;
 9 – кришка; 10 – сальникове ущільнення; 11 – відбивачі;
 12 – люк; 13 – розвантажувальний клапан; 14 – електродвигун

У кришці автоклава є люк 12 для завантаження колоксиліну, внутрішнього огляду і ремонту, а також ряд штуцерів, призначених для установки приладів, введення води, відбору проб, відведення газів, установки запобіжної мембрани. У нижній частині корпусу автоклава розташований розвантажувальний клапан 13. Вал мішалок приводиться в обертальний рух від електродвигуна 14.

Змішувач загальних партій. Призначений для змішування окремих (приватних) партій нітратів целюлози, що завантажують у змішувач у вигляді їхньої водної суспензії. Являє собою циліндричну ємність об'ємом 300–400 м³ (рис. 3.32).

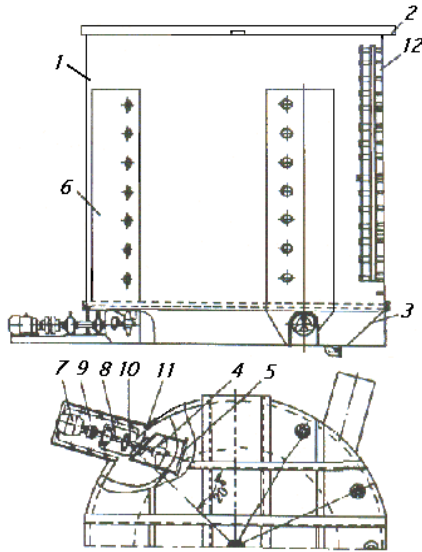


Рисунок 3.32 – Змішувач загальних партій нітратів целюлози:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – мішалка;
- 5 – напрямний циліндр; 6 – циркуляційна труба;
- 7 – електродвигун; 8 – вал мішалки; 9 – муфта;
- 10 – підшипникова опора; 11 – ущільнення; 12 – скоби

Змішувач складається з корпусу 1 з плоскою кришкою 2 і плоскоконічним днищем 3, а також чотирьох перемішувальних пристроїв із мішалками 4 – пропелерного (гвинтового) типу, встановлених горизонтально під кутом 30–28° до радіальної осі апарата в нижній частині корпусу. Мішалки розміщені в напрямних циліндрах 5, над якими по висоті корпусу встановлені циркуляційні труби 6. Вони мають по висоті 7–8 отворів розміром від 200 мм до 450 мм (менші знизу, великі зверху), спрямовані за радіальною віссю апарата. Труби по висоті не виходять до кришки змішувача на 1 000–1 200 мм. Обертання мішалки здійснюється безпосередньо від електродвигуна 7, вал якого з'єднаний із валом мішалки 8 за допомогою муфти 9. Вал мішалки встановлений у двох підшипникових опорах 10 і під час проходження через отвір у днищі ущільнений сальниковим ущільненням 11. На кришці змішувача розташовані штуцери для заван-

таження змішувача, введення води, штуцер-воздушник, а також лаз, від якого вниз на внутрішній стінці корпусу приварені скоби 12. Цими скобами можна спускатися у змішувач для його огляду і ремонту. На зовнішній бічній стінці по висоті корпусу встановлені штуцери для сифонних кранів, за допомогою яких може спускатися вода після відстою суспензії з метою регулювання її концентрації.

Така конструкція змішувача забезпечує високий ступінь перемішування великим обсягом завдяки інтенсивній циркуляції середовища. Циркуляція можлива завдяки тому, що в нижній частині змішувача середовище засмоктується в напрямні циліндри 6 і циркуляційні труби 7 його подають угору. У міру підйому вона через вікна в циркуляційних трубах на різній висоті повертається в порожнину змішувача і знову засмоктується в напрямні циліндри.

Технічні характеристики змішувача

Габаритні розміри:

Діаметр – 7 м.

Висота – 8 м.

Корисна місткість – 300 м³.

Кількість мішалок – 4.

Частота обертання мішалки – 725 об./хв.

Перемішувальні пристрої – 28 кВт.

3.4.2 Виробництво поліетилену [13]

У виробництві поліетилену залежно від його виду і способу отримання застосовують різні за принципом дії і конструкцією реактори. Для отримання поліетилену високого тиску використовують реактори безперервної дії: трубчастий і реактор із мішалкою. Останній являє собою (рис. 3.33) вертикальний товстостінний апарат із шнековою мішалкою, що виготовляють у двох варіантах: об'ємом 0,25 м³ і 0,50 м³.

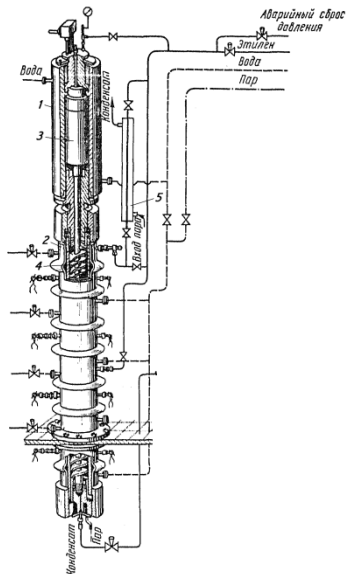


Рисунок 3.33 – Реактор для полімеризації етилену:
 1 – верхня секція; 2 – нижня секція; 3 – електродвигун;
 4 – мішалка; 5 – підігрівач етилену

Корпус реактора складається з двох секцій: верхньої 1 і нижньої 2. У верхній секції розміщений вбудований електродвигун 3, який працює безпосередньо в середовищі етилену високого тиску. Ця секція забезпечена сорочкою, її охолоджує вода, а також частково етилен, тому електродвигун не перегрівается. Нижня секція утворює реакційний обсяг; у ній встановлена мішалка 4, вал мішалки з'єднаний із валом електродвигуна за допомогою шарніра. Нижня секція також забезпечена сорочкою для розігріву реактора.

Під час роботи реактора етилен під тиском 150 МПа подається по зонах: у кришку верхньої секції для охолодження електродвигуна і змащення підшипників, у верхню і середню зони нижньої секції. Змішуючись із реакційною масою, він нагрівається до температури реакції. Отриманий поліетилен із непрореагованим етиленом виходить із нижньої частини реактора, потім після дроселювання до 30–40 МПа надходить на сепарацію.

Технічні характеристики реактора для полімеризації етилену

Габарити

Для реактора – $V = 0,25\text{м}^3$.

Діаметр – 300 мм.

Висота – 6 000 мм.

Для реактора $V = 0,5\text{м}^3$.

Діаметр – 400 мм.

Висота – 7 250 мм.

Частота обертання мішалки – 1 000–1 500 об./хв.

Тиск вхідного етилену – 150 МПа.

Температура етилену – 50–700°C.

Температура в реакторі – 2 000°C.

У виробництві поліетилену низького і середнього тиску беруть типові ємнісні реактори (у разі отримання в рідкому середовищі) і реактори колонного типу (у разі отримання в газовому середовищі). В останньому разі реактор являє собою колонний автоклав об'ємом 10 м^3 , що працює за тиску 2,2 МПа. Перемішування реакційного середовища в ньому здійснюється завдяки руху етилену, швидкість якого регулюється так, щоб частинки каталізатора перебували в підвішеному стані.

3.4.3 Виробництво полістиролу [13]

У виробництві полістиролу найбільш широке застосування має безперервний спосіб блокової полімеризації стирулу, здійснюваної в колонному реакторі (баштовий спосіб). Полімеризаційний агрегат складається з двох типових реакторів 1, виготовлених з алюмінію, і колони 2 з хромонікелевої сталі (рис. 3.34).

Реактори мають ємність 2 м^3 кожний і забезпечені лопатевими мішалками, а також сорочками і змійовиками, за якими циркулює вода, гаряча протягом індукційного періоду і холодна після початку процесу полімеризації. Колона висотою 7 м складається з шести царг (секцій) діаметром 0,65 м, причому верхня має тільки сорочку, а решта забезпечена і змійовиками.

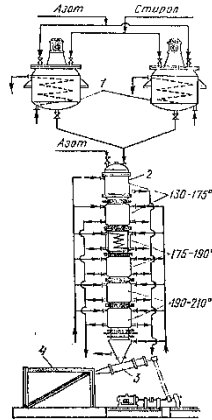


Рисунок 3.34 – Реакторний агрегат для полімеризації стиролу:
 1 – ємнісні реактори; 2 – колона; 3 – шнек;
 4 – пристрій, що охолоджує

Реактори 1 служать для попередньої полімеризації до конверсії близько 35 %. З реакторів отриманий форполімер (суміш мономера і полімеру) постійно надходить у колону, що працює за принципом ідеального витіснення для остаточної полімеризації. Водночас тепловий режим (теплоносій – евтектична суміш дифеніл і дифенілоксиду) встановлюють для кожної царги так, щоб полімеризація закінчилася після закінчення 25–30 год перебування реакційної суміші в колоні. Отриманий полістирол у вигляді розплаву з колони надходить у шнек 3, який видавлює його у ванну з водою або в повітряний холодильник 4, звідки він надходить на дроблення (гранулювання).

У разі використання інших способів полімеризації стиролу (емульсійний, суспензійний) застосовують типові реактори. Наприклад, у періодичному виробництві емульсійного полістиролу – чавунні емальовані реактори об'ємом 3–5 м³, які мають парову сорочку, лопатеву або рамну мішалку; у безперервному виробництві – каскад таких реакторів. У виробництві полістиролу суспензійним способом застосовують реактор об'ємом 5–10 м³, забезпечений сорочкою для нагрівання й охолодження, мішалкою лопатевого типу. Спосіб полімеризації стиролу в розчині

здійснюється в каскаді реакторів колонного типу, забезпечених мішалкою і сорочкою для обігріву та охолодження.

3.4.4 Виробництво полівінілхлориду [13]

Основними способами отримання полівінілхлориду є емульсійний і суспензійний.

За емульсійного способу полімеризацію вінілхлориду здійснюють в одному або з'єднаних послідовно двох реакторах-автоклавах об'ємом 16 м^3 і 4 м^3 відповідно. Схема такого реактора наведена на рисунку 3.35.

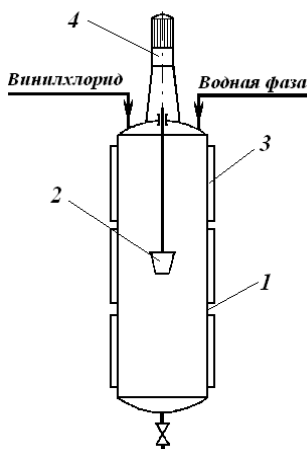


Рисунок 3.35 – Схема реактора для отримання полівінілхлориду:
1 – корпус; 2 – мішалка; 3 – сорочка; 4 – привід мішалки

Реактор є колоною висотою 7–8 м, корпус 1 якої виготовлений із нержавіючої сталі або біметалу – двохшарового листового прокату, що складається з нержавіючої (внутрішній шар товщиною 1,5–2,0 мм) і вуглецевої сталі. Він забезпечений лопатевою мішалкою 2, розташованою у верхній частині колони. Мішалка обертається зі змінною кількістю обертів (до 120 об./хв.) від електропривода 4, встановленого на кришці корпусу. Охолодження і нагрівання вмісту реактора здійснюється за допомогою сорочки, у якій циркулює холодна вода або розсіл ($t = -20 \text{ }^\circ\text{C}$) за умови охолодження або гаряча вода за умови нагрівання. Тиск у реак-

торі підтримують близько 0,5 МПа, температуру 38–50 °С залежно від заданої молекулярної маси полімеру.

За суспензійного способу отримання полівінілхлориду полімеризацію вінілхлориду здійснюють в емальованому або виготовленому з нержавіючої сталі ємнісному реакторі-автоклаві з пропелерною мішалкою об'ємом 10 м³ за температури 52–63°С і тиску 0,5–1,4 МПа.

3.4.5 Виробництво фенолформальдегідних полімерів [13]

Реактор (варильний апарат) для отримання періодичним способом феноло-формальдегідних олігомерів новолачного типу поданий на рисунку 3.36.

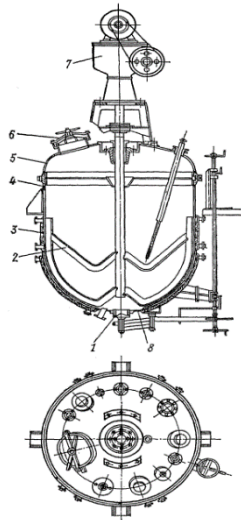


Рисунок 3.36 – Реактор для виробництва новолачних феноло-формальдегідних олігомерів періодичним способом:
1 – зливний пристрій; 2 – мішалка; 3 – сорочка; 4 – корпус;
5 – кришка; 6 – люк; 7 – привід; 8 – днище

Він являє собою вертикальний ємнісний апарат, корпус 4 якого виготовлений із нержавіючої сталі або біметалу і забезпечений сорочкою 3. Усередині реактора розміщена якірна мішалка 2,

що обертається від привода 7 із частотою 30–50 об./хв. Для запобігання налипанню і подальшому пригоранню полімеру на стінках реактора на лопатях мішалки встановлені спеціальні скребки з пружинної сталі. Сорочка з'єднана з лінією пари – для нагріву реакційної маси і з лінією води – для її охолодження. На кришці 5 є люк 6 для чищення реактора, оглядові вікна, штуцери для відведення пари, взяття проб, установки приладів (вакуумметра, манометра, датчика температури) і інші пристрої (запобіжний клапан, видалення повітря). Днище 8 забезпечене зливним пристроєм 1.

У разі безперервного отримання феноло-формальдегідних олігомерів як новолачного типу, так і резольного, використовують реактор у вигляді чотирисекційної колони (рис. 3.37).

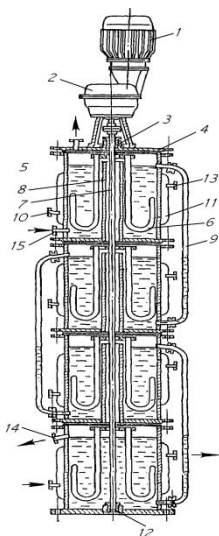


Рисунок 3.37 – Безперервний реактор для виробництва феноло-формальдегідних олігомерів: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3, 12 – підшипникові опори; 4 – кришка; 5 – секція; 6 – мішалка; 7 – вал мішалок; 8 – патрубок; 9 – переливна труба; 10, 13 – штуцери для підведення і відведення теплоносія; 11 – сорочка; 14, 15 – штуцери для вивантаження продукту і реагентів

Колона складається з розташованих одна над одною секцій 5, кожна з яких має сорочку 11 зі штуцерами 10 і 13 для підведення і відведення теплоносія. На кришці 4 верхньої секції укріплений привід, що складається з електродвигуна 1 і редуктора 2, які передають обертальний рух вала 7. Вал проходить через всю колону і встановлений у двох підшипникових опорах: верхній 3 і нижній 12. На валу в кожній секції укріплені мішалки 6. Для унеможливлення витоку реакційного середовища через отвори для вала в днищах секцій встановлені патрубки 8, верхній рівень яких вище, ніж рівень рідкого середовища в секціях. Для переливання реакційного середовища з однієї секції в іншу служать переливні труби 9.

Під час роботи реактора вихідні речовини надходять у нижню частину верхньої секції через штуцер 15, перемішуються і переливаються через трубу 9 в наступну секцію тощо, з нижньої секції продукт вивантажується через штуцер 14. Наявність окремих теплообмінних пристроїв у вигляді сорочок 11 дозволяє підтримувати необхідний температурний режим у кожній секції.

У виробництві новолачних олігомерів використовують також реактор безперервної дії у вигляді трисекційної колони (рис. 3.38), пристрій і робота якої аналогічні попередній.

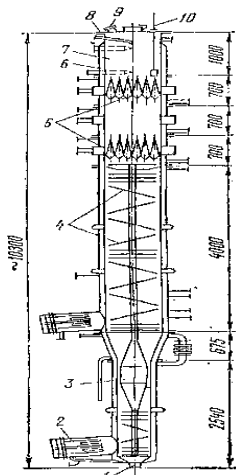


Рисунок 3.38 – Реактор для безперервного отримання новолачних олігомерів: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – мішалка; 4 – патрубок; 5 – сорочка; 6 – гільзи для датчиків температури

Відмінність полягає в конструктивному виконанні окремих елементів.

3.4.6 Виробництво поліамідів[13]

У великому різноманітті поліамідів, що випускає промисловість, найбільш характерним є виробництво полікапролактаму (полікапроамід, поліамід-6, капрон). Полікапролактаму отримують полімеризацією капролактаму (лактам-ε-амінокапронової кислоти) як періодичним, так і безперервним способами. Останній спосіб має найбільше поширення. Полімеризація безперервним способом здійснюється в реакторі, що являє собою колонку (рис. 3.39).

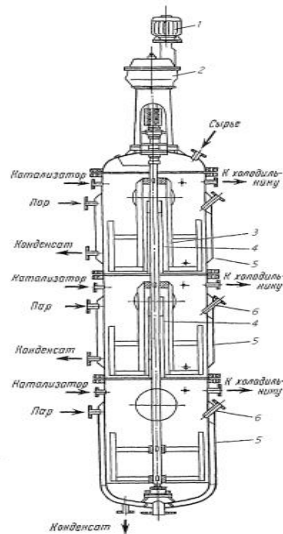


Рисунок 3.39 – Реактор для полімеризації капролактаму:

- 1 – випускний штуцер; 2 – електронагрівачі; 3 – витіснявач;
- 4 – перфоровані диски; 5 – калорифери; 6 – сорочка, що обігриває;
- 7 – корпус; 8 – кришка; 9 – оглядове вікно; 10 – рівнемір

Перемішування реакційного середовища відбувається завдяки його її руху через перфоровані диски 4, розташовані по висоті колони на відстані 300 мм один від одного. Загалом колона працює як апарат витіснення. Корпус 7 колони забезпечений

сорочкою 6. У нижній частині він має менший діаметр, і всередині розташований витіснювач 3. Ця частина колони називається фільт'єрами і служить для зливання одержуваного полімеру, який виходить через штуцер 1. Обігрів колони і фільтери здійснюють пари диніла. Є також додаткові нагрівальні пристрої: електронагрівачі 2 і калорифери 5. На кришці 8 колони розміщене оглядове вікно 9 і рівнемір 10.

У виробництві полікапролактаму використовують і інші типи реакторів безперервної полімеризації: U-подібний і Г-подібний.

U-подібний реактор складається з двох секцій у вигляді колон, що працюють за принципом сполучених посудин. Пристрій першої секції аналогічний попередньому реактору, у ній розміщені перфоровані диски. Друга секція являє собою дві коаксіально розташовані труби діаметром 0,35 м і 0,6 м. Розплав, що утворився в першій секції полікапролактаму надходить у вигляді тонкого шару в зовнішню трубу другої секції і переливається у внутрішню трубу. Водночас в умовах нагрівання відбувається його дегазація.

Рівень розплаву в першій секції підтримується значно вище, ніж рівень у внутрішній трубі другої секції, що забезпечує безперервний перебіг розплаву в реакторі. Перша секція обігривається рідким динілом (до 260 °С), друга – динільною парою (до 265 °С).

Г-подібний реактор також має дві секції, але, на відміну від U-подібного реактора, вони з'єднані своїми верхніми частинами, причому друга секція значно коротша, ніж перша (рис. 3.40).

Секції 4 і 6 (рис. 3.40) Г-подібного реактора з'єднані між собою камерою 7, яка служить для видалення вологи. На кришці камери розташовані оглядові вікна 9 і штуцер, який відводить вологу трубою 8. Обидві секції і камера забезпечені сорочками 10. Реактор укомплектований системою подачі капролактаму, що складається з плавителя 1, насоса 2 і фільтра 3. Виведення отриманого полікапролактаму здійснює насос 5.

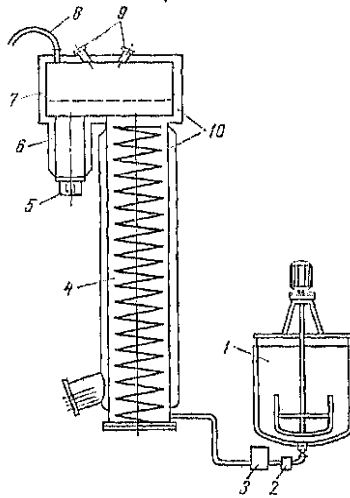


Рисунок 3.40 – Г-подібний реактор для отримання полікапролактаму: 1 – плавитель; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – перша секція реактора; 5 – насос для вивантаження продукту; 6 – друга секція реактора; 7 – камера для видалення вологи; 8 – вивід вологи; 9 – оглядові вікна; 10 – парові сорочки

Під час роботи реактора розплавлений капролактаму подається в нижню частину першої секції і переміщується від низу до верху. Після видалення вологи в камері 7 утворився полікапролактаму, який надходить до другої секції, звідки насос 5 його подає на гранулювання. Полімеризація здійснюється за температури 270 °С.

4 УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Сипкими називають тверді дисперсні матеріали, які мають властивість сипкості, тобто здатність руху під дією зовнішніх сил завдяки переміщенню часток, з яких складається матеріал (аналогія течії рідини завдяки переміщенню молекул). До них належать порошкоподібні і зернисті (гранульовані) матеріали, необхідність змішування яких виникає під час приготування пластичних мас, усереднення фізико-хімічних характеристик готової продукції.

4.1 Основні характеристики сипких матеріалів

Основними характеристиками сипких матеріалів є такі: розмір часток, дисперсний склад матеріалу, його питома поверхня, насипна щільність, кут природного укосу.

Розмір часток залежно від їхньої форми можуть характеризуватися:

- однієї величиною: діаметром для частки кулястої (сферичної) форми;
- двома величинами: діаметром і довжиною для частки циліндричної форми;
- трьома величинами: довжиною, шириною і висотою для частки у вигляді паралелепіпеда (його окремих випадок – куб, характеризується одним розміром).

Розмір частки складної, а також довільної (кускової) форми можна характеризувати однією величиною – еквівалентним діаметром. Це діаметр кулястої частки, яка за обсягом або поверхнею еквівалентна частці довільної форми, що дорівнює:

$$\delta_{\text{екв}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{ч}}}{\pi}} \quad \text{– за умови визначення за обсягом;}$$

$$\delta_{\text{екв}} = \sqrt[2]{\frac{S_{\text{ч}}}{\pi}} \quad \text{– за умови визначення за поверхнею,}$$

де $V_{\text{ч}}$, $S_{\text{ч}}$ – відповідно обсяг і поверхня частки довільної форми.

Сипкі матеріали з частками однакового розміру називають монодисперсними. У реальних умовах такі матеріали трап-

ляються рідко (спеціально виготовляються з певним наближенням до монодисперсності складу). Більшість сипких матеріалів є полідисперсними, тобто містять частки різних розмірів. Такі матеріали характеризуються дисперсним (фракційним) складом (для зернистих матеріалів він часто називається гранулометричним).

Дисперсним складом називається характеристика сипкого матеріалу, що відображає розподіл часток за розмірами. Вона зазначає, яку частку за кількістю часток (маси, обсягу або поверхні) становлять частки в будь-якому діапазоні їхніх розмірів.

Для визначення дисперсного складу сипких матеріалів можна використовувати різні методи (мікроскопічний, седиментаційний, ситовий аналіз) [18]. Найбільшого поширення набув ситовий аналіз, який можна застосовувати для сипких матеріалів із розміром частинок $\delta > 100$ мкм. Він полягає в розсіві матеріалу на наборі сит із різними розмірами отворів, причому за розмір отвору вважають довжину сторони квадрата осередку сита. Найбільш часто використовують стандартні сита з такими розмірами отворів: (0,04–0,045–0,05–0,56–0,063–0,071–0,08–0,09–0,1–0,125–0,16–0,2–0,25–0,315–0,4–0,5–0,63–0,8–1,0–1,25–1,6–2,0–2,5) мм.

Під час розсіву на ситах частина матеріалу проходить через певне сито, частина залишається на ньому. Ці частки, виражені в частках від загальної маси матеріалу, називають проходом D і залишком R . Масу матеріалу, який міститься між двома ситами з розміром отворів δ_n і δ_{n+1} , що являє собою частку, виражену у відсотках від загальної маси (ΔD_i або ΔR_i), називають фракцією (класом).

Дисперсний склад може бути виражений у вигляді таблиці або кривих функції розподілу часток за розмірами $D(\delta)$ або $R(\delta)$ (інтегральні характеристики), де $D(\delta)$ – відношення кількості часток, розмір яких менше за певний (заданий) розмір δ_0 , до загальної кількості часток; $R(\delta)$ – відношення кількості часток, розмір яких більше за δ_0 , до загальної кількості часток, а також функції щільності розподілу часток за їхніми розмірами $f(\delta)$ (диференціальна характеристика), яка визначається як

$$f = \frac{dD}{d\delta} = \left| \frac{dR(\delta)}{d\delta} \right|. \quad (4.1)$$

Водночас справедливі такі співвідношення

$$D(\delta) + R(\delta) = 1;$$

$$\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} f(\delta) d\delta = 1. \quad (4.2)$$

Приклади кривих зазначених функцій наведені на рисунку 4.1.

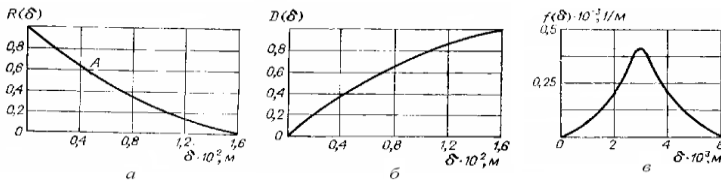


Рисунок 4.1 – Криві функцій розподілу часток за розмірами: а – функція R (б); б – функція D (б); в – функція щільності розподілу

Практичну побудову кривих функцій, що характеризують дисперсний склад сипких матеріалів, здійснюють так. Інтегральні характеристики дисперсного складу будують як криві функцій $R = f(\delta)$ або $D = 100 - R = f(\delta)$, тобто за точками, положення яких знаходять за абсцисою δ і ординатами сумарних значень ΔR або ΔD . У разі побудови диференціальної характеристики по осі абсцис відкладають розмір отворів сит, які застосовувалися під час ситового аналізу, а на осі ординат вихід фракцій у відсотках. Ординати, що визначають виходи фракцій, будують на більшому або на меншому з діаметрів, що обмежують цю фракцію, або на діаметрі, що дорівнює середньому арифметичному значенню цих діаметрів.

Табличне вираження дисперсного складу за результатами ситового аналізу як прикладу наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати ситового аналізу

Розмір отворів сита, мм	Граничні розміри частинок фракцій, мкм	Маса фракції R	
		у грамах	в %
1	2	3	4
2 500	2 500	1,02	2,0
1 600	2 500–1 600	2,01	4,1
1 000	1 600–1 000	0,13	0,3
630	1 000–630	6,95	13,7
400	630–400	8,98	18,2
315	400–315	5,06	10,2
200	315–200	4,88	9,8
160	200–160	2,86	5,8
100	160–100	3,69	7,4
63	100–63	9,07	18,3
Піддон	63–0	5,06	10,2
Всього	–	49,61	100

В інженерній практиці часто не враховують полідисперсність сипкого матеріалу, вважаючи його за монодисперсний із середнім діаметром часток, який визначають, наприклад, як середньозважений діаметр за формулою

$$\delta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k \delta_i m_i}{\sum_{i=1}^k m_i}, \quad (4.3)$$

де δ_i – середній діаметр фракції; m_i – маса фракції.

Середній діаметр фракції сипких матеріалів можна розраховувати як середньоарифметичне або середньгеометричне значення розмірів отворів сит, що обмежують цю фракцію

$$\delta_i = \frac{\delta_n + \delta_{n+1}}{2}; \quad (4.4)$$

$$\delta_i = \delta_n \cdot \delta_{n+1}. \quad (4.5)$$

Питома поверхня сипкого матеріалу. Ступінь дисперсності сипкого матеріалу може оцінюватися питомою поверхнею.

Це величина, яка дорівнює відношенню поверхні всіх частинок матеріалу до їхньої маси ($\text{м}^2/\text{г}$) або обсягу ($\text{м}^2/\text{м}^3$). Методи її визначення значно простіші, зручніші і менш трудомісткі, ніж методи аналізу дисперсного складу. Величину питомої поверхні легко перерахувати на середній (за обсягом) діаметр часток сипкого матеріалу

$$\delta_{cp} = \frac{6}{S}, \quad (4.6)$$

де S – питома поверхня.

Найбільшого поширення для визначення питомої поверхні отримав метод, заснований на повітропроникності шару сипкого матеріалу, наприклад, за допомогою приладу ПСХ-2 [18].

Насипна щільність сипкого матеріалу характеризує місткість сипкого матеріалу в певному обсязі. Вона дорівнює масі обсягу, займаного сипким матеріалом за його вільної засипки у вимірювальну ємність. Значення насипної щільності для одного і того ж самого сипкого матеріалу змінюються залежно від дисперсного складу, форми і стану поверхні часток.

Між насипною щільністю і дійсною густиною матеріалу існує зв'язок

$$\rho_{нас} = \rho(1 - \epsilon), \quad (4.7)$$

де ρ – дійсна густина матеріалу; ϵ – порозність шару (частка вільного простору між частками), що дорівнює відношенню обсягу вільного простору до повного об'єму шару.

Кутом природного укосу називається кут нахилу твірної конуса із сипкого матеріалу і горизонтальної поверхні, на яку висипають матеріал. Кут природного укосу характеризує сипкість дисперсного матеріалу, тобто здатність до руху («течії»), схема природного укосу подана на рисунку 4.2.

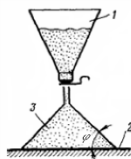


Рисунок 4.2 – Схема, що демонструє кут природного укосу:
1 – воронка; 2 – поверхня; 3 – конус із сипкого матеріалу

4.2 Оцінювання ступеня змішування сипких матеріалів

Під час змішування сипких матеріалів унаслідок переміщення часток компонентів можлива нескінченна різноманітність їхнього поєднання в певному мікрообсязі суміші, що дозволяє вважати співвідношення компонентів у ньому випадковою величиною. Тому для оцінювання ступеня змішування (якості змішування) одержуваної суміші використовують статистичні методи. Для зручності розрахунків зазвичай вважають усі суміші двокомпонентними, що складаються з одного ключового компонента й іншого умовного, що містить усі інші компоненти суміші. Це дозволяє оцінювати ступінь змішування сипких матеріалів параметрами розподілу однієї випадкової величини – утримання ключового компонента в пробах суміші. Ключовим компонентом вибирають зазвичай такий компонент, який легко аналізувати.

Найбільш часто як критерій ступеня змішування використовують коефіцієнт варіації V_c (параметр неоднорідності), який визначають за допомогою формул (3.2)–(3.4) за концентрацією ключового компонента у відібраних пробах. Необхідна кількість проб, що відбирають випадково із суміші, можна призначити, використовуючи нерівність [19]

$$n \geq \frac{t_{\alpha}^2 V_c}{\varepsilon^2}, \quad (4.8)$$

де t_{α} – нормоване відхилення функції Лапласа для заданої ймовірності α оцінювання ступеня змішування; ε – відносна гранична похибка визначення середньої концентрації ключового компонента у всій суміші.

Мінімально допустиму масу проби можна розрахувати за формулою [19]

$$m \approx \frac{1,23 \cdot 10^4 \cdot \delta^2 \cdot \rho_n}{C_o}, \quad (4.9)$$

де δ – середній діаметр частинки суміші, м; ρ_n – насипна щільність суміші, кг/м³; C_o – концентрація ключового компонента у всій суміші, %.

4.3. Елементи теорії змішування сипких матеріалів

Знання закономірностей процесу змішування сипких матеріалів дозволяє підбирати обладнання для змішування конкретних матеріалів, удосконалювати це обладнання, знаходити оптимальні режими його роботи.

Процес змішування сипких матеріалів заснований на розподілі одиничних часток або їхніх сукупностей (блоків, агрегатів) в обсязі сипкого матеріалу внаслідок зовнішніх впливів. Водночас переміщення блоків часто називають конвективним перемішуванням, окремих часток – дифузійним.

Змішування сипких матеріалів супроводжується зворотним процесом сегрегації, який призводить до поділу суміші на окремі фракції та компоненти. Процеси змішування і сегрегації протікають одночасно в одному апараті, але з різною швидкістю.

4.3.1 Періодичний процес змішування

Типова крива кінетики змішування, характерна для апарата періодичної дії, подана на рисунку 4.3 [20].

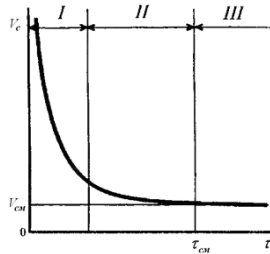


Рисунок 4.3 – Кінетична крива процесу змішування сипких матеріалів

Кінетична крива виражає залежність коефіцієнта неоднорідності V_c від часу. Умовно час змішування можна розділити на три періоди. У першому періоді (I) переважає конвективне змішування, за якого відбувається зменшення блоків часток окремих компонентів і їхнє переміщення робочими органами змішувача в обсязі. Цей період характеризується різким зниженням значень коефіцієнта неоднорідності V_c . Після руйнування бло-

ків з однакових часток настає другий період (II) – дифузійного змішування, для якого характерно змішування на рівні окремих часток компонентів. У цьому періоді відбуваються процеси як змішування, так і сегрегація. У третьому періоді (III) сумарна швидкість процесів конвективного і дифузійного змішування стає такою, що дорівнює швидкості сегрегації часток, тому коефіцієнт неоднорідності V_c стає величиною постійною. Час настання цього моменту є оптимальним часом змішування t_{cm} для цього типу змішувача і конкретного сипкого матеріалу.

Кінетику процесу періодичного змішування найчастіше описують таким рівнянням [20]:

$$V_c(\tau) = aV_{cn}e^{b\tau}, \quad (4.10)$$

де $V_c(\tau)$ – коефіцієнт неоднорідності в поточний момент часу τ ;

$V_{cn} = 100 \frac{\sqrt{p(1-p)}}{p}$ – коефіцієнт неоднорідності суміші в початковий момент змішування; a і b – експериментальні коефіцієнти;

p – частка ключового компонента в суміші.

4.3.2 Безперервний процес змішування

Для безперервного змішування характерна подача компонентів сипкого матеріалу у змішувач окремими потоками (безперервно або дискретно), які сумарно дорівнюють потоку вивантаженої суміші. Для математичного списання такого процесу найбільш часто використовують дифузійну або осередкову моделі.

Під час використання дифузійної моделі потоку з вісесиметричним поршневым рухом матеріалу з урахуванням поздовжнього і поперечного перемішування часток застосовують рівняння дифузії [21]

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -v \frac{\partial c}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_R \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right), \quad (4.11)$$

де c – концентрація ключового компонента; τ – час; v – лінійна швидкість потоку; x , r – координати відповідно уздовж і поперек потоку; D_L і D_R – параметри відповідно поздовжнього і поперечного перемішування (аналогі коефіцієнтів дифузії).

Через складність розв'язання рівняння (4.11) його часто спрощують, вважаючи, наприклад, що $DR = 0$.

Осередкова модель передбачає, що потік матеріалу в змішувачі послідовно проходить через осередки, що являють собою мікрооб'єми, у межах яких здійснюється ідеальне змішування [21]. Ця модель описується m -м числом лінійних диференціальних рівнянь першого порядку такого виду:

$$\frac{1}{m} \frac{\partial c}{\partial \tau} = \tau_{cp} (c_{i-1} - c_i), \quad (4.12)$$

де m – число осередків, адекватних за впливом на потік реального змішувача: τ – середній час перебування часток в осередках від i -ї до $(i - 1)$ -го осередку.

За умови $m = 1$ осередкова модель переходить у модель ідеального змішування, а за $m = \infty$ – у модель ідеального витіснення.

Загалом аналітичне дослідження роботи змішувачів пов'язане із розв'язанням диференціальних і інтегрально-диференціальних рівнянь, що описують динамічні характеристики процесів змішування, що часто являє собою складне, а іноді нерозв'язне завдання. Тому таке змішувальне обладнання зазвичай розроблюють на підставі експериментальних даних.

4.4 Типи й облаштування устаткування для змішування сипких матеріалів

У хімічних виробництвах для змішування сипких матеріалів використовують переважно змішувачі періодичної дії. Це можна пояснити тим, що в таких змішувачах можна забезпечити точне співвідношення між компонентами, вони мають більш просту конструкцію і досить низьку вартість.

Порівняно з періодичними змішувачі безперервної дії мають більш високу продуктивність за умови одночасного зниження питомих енерговитрат і металомісткості. Вони мають більші можливості з автоматизації процесу змішування. Однак широкого розповсюдження такі змішувачі не набули у зв'язку зі складністю дозування компонентів і забезпечення якості змішу-

вання. Застосовують їх у безперервних виробничих комплексах, коли немає можливості розривати потік і за необхідності змішування поєднувати з іншими процесами, наприклад, сушінням, гранулюванням, подрібненням.

4.4.1 Основні типи й облаштування змішувачів періодичної дії

Із змішувачів періодичної дії найбільшого поширення набули: барабанні змішувачі з обертовим корпусом, змішувачі з нерухомим корпусом, статичні (гравітаційні) змішувачі.

4.4.1.1 Барабанні змішувачі з обертовим корпусом

Основним елементом (робочим органом) таких змішувачів є барабан – горизонтальна ємність циліндричної форми, що обертається. Барабан у змішувачі може бути встановлений на цапфах або бандажах. Зазвичай на цапфах встановлюють більш легкі, короткі барабани, на бандажах – важкі, досить великої довжини. Схеми зазначених типів установки барабанів наведені на рисунку 4.4.

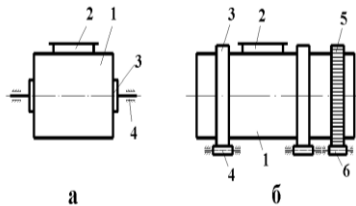


Рисунок 4.4 – Схеми установки барабанів змішувачів:
а – установка на цапфах (1 – барабан; 2 – люк; 3 – цапфа; 4 – підшипникова опора); б – установка на бандажах (1 – барабан; 2 – люк; 3 – бандаж; 4 – опорний ролик; 5 – зубчасте колесо; 6 – приводна шестерня)

Перед роботою барабанного змішувача матеріал завантажують усередину барабана, заповнення якого має становити 30–70 % повного обсягу. Потім барабан приводять в обертання. Водночас шар матеріалу завдяки тертю об внутрішню поверхню

барабана і між частинками піднімається на деяку висоту h (рис. 4.5). Частки, які досягли цієї висоти, під дією сили тяжіння відриваються від стінки барабана і скочуються вниз по вільній поверхні шару.

Такий рух сипкого матеріалу призводить до утворення замкнутого циркуляційного контуру рухомих часток. Змішування відбувається там, де є градієнт швидкості руху часток – це поверхня шару матеріалу і зона, прилегла до неї.

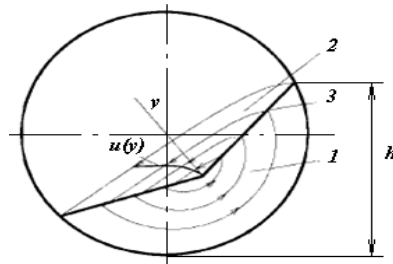


Рисунок 4.5 – Схема руху сипкого матеріалу під час обертання барабана: 1 – безградієнтна зона; 2 – зона змішування; 3 – межа розділу

У нижній частині і всередині шару градієнт швидкості малий, тому змішування тут практично не відбувається. Таке змішування називають радіальним, тобто воно відбувається завдяки руху потоку часток у поперечному перерізі барабана (за радіусом) і за своєю суттю відповідає конвективному змішуванню.

Рух часток у барабані відбувається також в осьовому напрямку, відповідно спостерігають осьове змішування. Воно відбувається завдяки тому, що окремі частки, які беруть участь у радіальному змішуванні, під час свого руху змінюють траєкторію руху і переходять з однієї площини перетину барабана в іншу, прилеглу до розглянутої. Такий перехід часток має випадковий характер, тому осьове змішування є дифузійним.

Осьове змішування значно повільніше, ніж радіальне. Підвищити ефективність змішування сипких матеріалів загалом можна завдяки інтенсифікації осьового змішування. Для цього, наприклад, барабан розташовують так, щоб його вісь обертання була похилою до його твірної (рис. 4.6). Таку конструкцію змішувача часто називають «п'яна бочка».

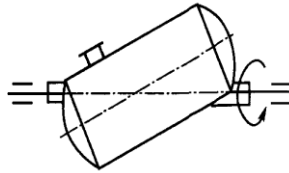


Рисунок 4.6 – Схема змішувача типу «п'яна бочка»

Застосовують і інші конструкції змішувачів сипких матеріалів, у яких інтенсифікується осьова складова змішування. Схеми конструкцій деяких у них наведені на рисунку 4.7.

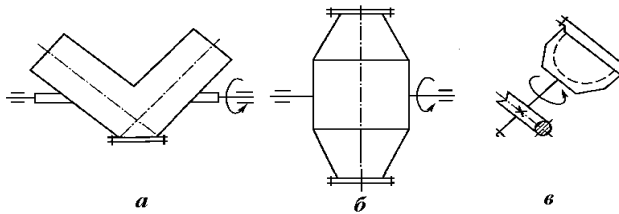


Рисунок 4.7 – Схема барабанних змішувачів інтенсивного змішування: а – подвійний V-подібний барабан;
 б – вертикально розташований барабан;
 в – консольний похило розташований барабан

Загальний вигляд барабанного змішувача, що використовують, наприклад, у виробництві порохів [22], поданий на рисунку 4.8.

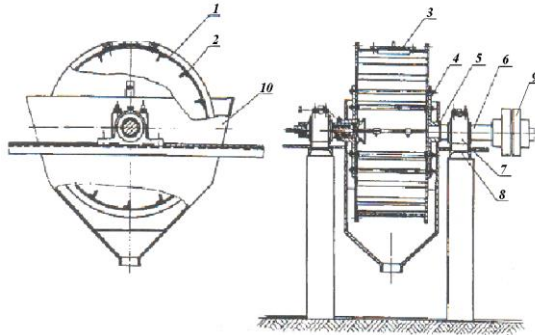


Рисунок 4.8 – Загальний вигляд барабанного змішувача:

- 1 – барабан; 2 – ребра; 3 – люк; 4 – стяжні болти;
 5 – хрестовина-маточина; 6 – цапфа; 7 – підшипникова опора;
 8 – опорний майданчик; 9 – муфта; 10 – розвантажувальний бункер

Змішувач складається з барабана 1, на внутрішній поверхні якого приварені ребра 2, призначені для кращого перемішування сипких матеріалів завдяки зменшенню його ковзання по внутрішній поверхні барабана. На обичайці барабана встановлений люк 3 для завантаження і вивантаження матеріалу. Торцеві стінки барабана для міцності конструкції скріплені стяжними болтами 4, до яких кріпляться хрестовини-маточини 5, у них запресовані цапфи 6. Барабан змонтований на двох підшипникових опорах 7, установлених на майданчику 8. Одна з цапф за допомогою муфти з'єднана з валом привода. Знизу барабана поміщений розвантажувальний бункер 10. Перевагами барабанних змішувачів є такі: простота конструкції і надійність в експлуатації; можливість змішування абразивних і вибухонебезпечних матеріалів; можливість змішування матеріалів із мінімальним руйнуванням частинок. До недоліків належать: тривалість процесу змішування; значні питомі витрати енергії.

4.4.1.2 Змішувачі з нерухомим корпусом

Цей тип змішувачів сипких матеріалів має нерухомий корпус, що є ємністю певної форми, у якій розміщений робочий орган (перемішувальний пристрій). Такі змішувачі відрізняються конструкцією робочого органа і характеризуються великою

різноманітністю, що ускладнює їхню класифікацію. Нижче розглянуті їхні окремі види, які набули найбільш широкого розповсюдження.

Плужний (плужковий) змішувач має робочий орган, що являє собою ряд лопатей, які нагадують плуги, закріплені на валу (рис. 4.9). Він складається з горизонтального циліндричного корпусу 3 з плоскими торцевими кришками з цапфами, які спираються на станину 9 і опору 6; перемішувального пристрою, що являє собою вал 4 з плугоподібними лопатями 5, встановленими на валу зі зміщенням одна щодо одної на 90° або 180° ; електродвигуна 1; редуктора 2; розвантажувальної коробки 7 із запірним клапаном.

Корпус має кілька технологічних штуцерів і люк 11 для завантаження компонентів, огляду і чищення усередині корпусу.

У деяких змішувачах корпус має сорочку для нагрівання або охолодження змішуваного матеріалу.

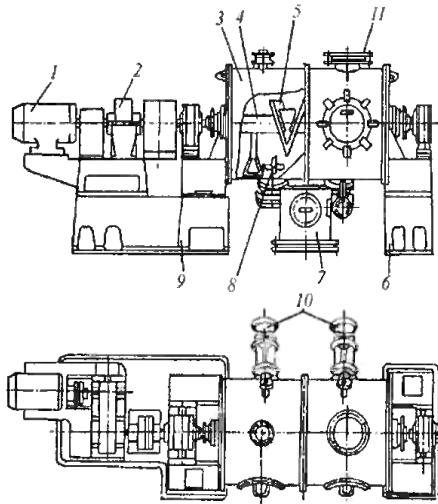


Рисунок 4.9 – Плужний змішувач: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – корпус; 4 – вал; 5 – лопаті-плуги; 6 – опора корпусу; 7 – розвантажувальна коробка; 8 – ножова головка; 9 – станина; 10 – привід ножової головки; 11 – люк

Змішування сипкого матеріалу відбувається під час обертання вала 4 з плугами 5, унаслідок чого матеріал переміщується від стінок корпусу за складною траєкторією. Під час змішування агломератоутворювальних матеріалів змішувач забезпечується ножовими головками 8, які служать для руйнування агломератів. Ножові головки забезпечені індивідуальним приводом. Вивантаження змішаного матеріалу здійснюється через розвантажувальну коробку за допомогою запірного клапана.

Плужні змішувачі застосовують для змішування зволожених матеріалів, що сильно налипають і таких, що грудкуються.

Стрічковий змішувач забезпечений пристроєм у вигляді спіральної стрічки. Такий змішувач (рис. 4.10) має корпус 1; перемішувальний пристрій 6, що складається з приводного вала 2 і спіральних стрічок; привід, які містить електродвигун 7 і редуктор 8; станину 5; розвантажувальну коробку 4 з клапаном, що приводить у дію через важільний механізм пневмоциліндр 3.

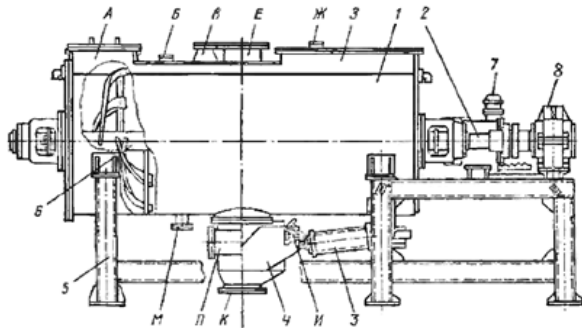


Рисунок 4.10 – Стрічковий змішувач: 1 – корпус; 2 – вал; 3 – пневмоциліндр; 4 – розвантажувальна коробка; 5 – станина; 6 – перемішувальний пристрій; 7 – електродвигун

Корпус 1 має циліндричну форму з плоскою кришкою у верхній частині. На кришці розміщені два люки А і З для огляду і чищення змішувача. Змішувач забезпечений також рядом технологічних штуцерів (Б, В, Е, Ж, І, К, Л, М).

Перемішувальний пристрій являє собою (рис. 4.11) вал 1, на якому закріплені дві спіральні стрічки: великого 2 і малого 3 діаметрів.

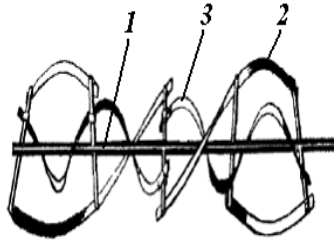


Рисунок 4.11 – Конструкція стрічкового пристрою:
 1 – вал; 2 – стрічка великого діаметра;
 3 – стрічка малого діаметра

Кожна зі стрічок розділена на дві частини: право- і ліво-західну. У процесі змішування спіральна стрічка більшого діаметра переміщує матеріал у центральну частину корпусу, а спіральна стрічка малого діаметра – до його торців. Зазор між зовнішніми крайками стрічки великого діаметра і внутрішньою поверхнею корпусу становить 1–2 мм, що забезпечує очищення цієї поверхні.

Планетарно-шнековий змішувач (рис. 4.12) складається з конічного конуса 1, кришки 4, шнека 7, привода шнека 3, водила 10, привода водила 2, запірнього механізму 8, розвантажувального бункера 9.

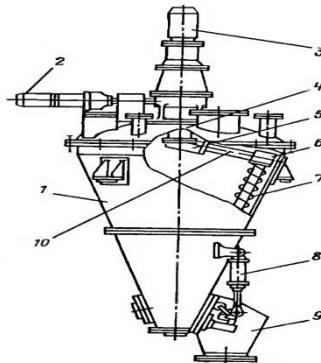


Рисунок 4.12 – Планетарно – шнековий змішувач:
 1 – корпус; 2 – привід водила; 3 – привід шнека; 4 – кришка;
 5,6 – коробки передач; 7 – шнек; 8 – запірний механізм;
 9 – розвантажувальний бункер; 10 – водило

Шнек 7, що обертається навколо своєї осі від привода 3, через дві пари конічних шестерень, що розміщені в коробках передач 5 і 6, здійснює планетарний рух навколо осі корпусу змішувача. Обертання водила 10, що забезпечує планетарне обертання шнека, здійснюється від привода 2, що складається з мотор-редуктора, черв'ячного редуктора і пари конічних шестерень. Верхній кінець вала шнека має опору в коробці передач 6, нижній – у шарнірній опорі, закріпленій у нижній частині корпусу. Шарнірна опора розміщена в сипкому матеріалі, тому вона повинна працювати без змащення і не допускати значного стирання сипким матеріалом шийки вала шнека. Приводи шнека і водила змонтовані на кришці 4 корпусу змішувача. Кришка має ряд технологічних штуцерів і люк для огляду внутрішньої частини корпусу. На конічному корпусі 1, що складається з двох частин, які з'єднуються за допомогою фланців, є люк для огляду шарнірної опори і розвантажувального бункера 9. Отвір, через який готова суміш виходить у розвантажувальний бункер, закривається клапаном. Клапан приводиться в рух від механізму 8, що складається з пневмо- або гідроциліндра і важільної передачі.

Під час роботи змішувача компоненти сипкого матеріалу завантажують через люк у кришці 4, вмикають приводи 2 і 3, унаслідок чого шнек 7 і водило 10 починають обертальний рух. Водночас шнек піднімає матеріал вгору під стінкою корпусу.

Потім матеріал рухається до осі змішувача, де утворюється його спадний потік, і матеріал опускається вниз. У вузькій частині корпусу матеріал знову захоплюється шнеком і піднімається вгору. Унаслідок такої циркуляції відбувається змішування компонентів сипкого матеріалу.

Відцентровий змішувач (рис. 4.13). Робочим органом цього змішувача є обертовий порожнистий усічений конус 1, розміщений у корпусі 2. Конус встановлений на приводному валу 3, з'єднаним ремінною передачею 11 з електродвигуном 10. До нижньої частини конуса жорстко прикріплена лопатева мішалка 5.

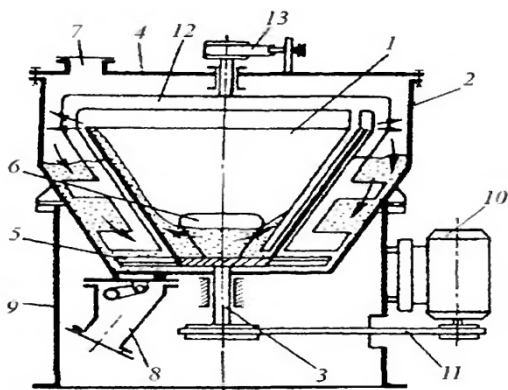


Рисунок 4.13 – Схема пристрою відцентрового змішувача:

- 1 – конус; 2 – корпус; 3 – приводний вал; 4 – кришка корпусу;
 5 – лопатева мішалка; 6 – вікна; 7 – завантажувальний штуцер;
 8 – розвантажувальна камера; 9 – станина; 10 – електродвигун;
 11 – ремінна передача; 12 – рама; 13 – стрічкове гальмо

Компоненти сипкого матеріалу завантажують через штуцер 7 в кришці 4. Під час обертання конуса 1 частки сипкого матеріалу під дією відцентрової сили рухаються по його внутрішній поверхні вгору, переходять через край і скидаються в простір між конусом і корпусом 2. Потім через два вікна 6, симетрично розташованих у стінці конуса, частки знову надходять у його внутрішню порожнину. Проходу матеріалу через вікна 6 сприяє мішалка 5, що обертається разом із конусом. Для матеріалів із поганою сипкістю в корпусі встановлюється вільно обертова рама 12 із двома лопатями, розташованими між конусом і корпусом, а іноді і скребком, що входять всередину конуса.

В обертальний рух рама втягується матеріалом. Швидкість обертання рами регулюється стрічковим гальмом 13. Рама створює додаткові завихрення в потоці рухомого матеріалу, що сприяє кращому його змішуванню.

Готова суміш із корпусу вивантажується через отвір у його днищі, що закривається клапаном, у розвантажувальну камеру 8. Клапан приводиться в рух за допомогою гідроциліндра. Корпус змішувача встановлений на станині 9.

4.4.1.3 Статичні змішувачі періодичної дії

Статичні (гравітаційні) змішувачі сипких матеріалів – це пристрої, у яких відсутній рухомий робочий орган, а, відповідно, рухомі деталі та вузли, що контактують із матеріалом. Перемішування сипких матеріалів у такому змішувачі відбувається завдяки руху самого матеріалу під дією гравітаційної сили. Змішувачі цього типу застосовують, наприклад, у порохових виробництвах для усереднення фізико-хімічних характеристик великих, що досягають 50 т, партій пороху [22]. Найбільшого поширення в цій галузі набув змішувач, який називається апаратом Тарасова (рис. 4.14).

Апарат складається із завантажувальної воронки 1, розподільного конуса 2 з 14–16 жолобами, у нижній частині кожного жолоба розміщена приймальна тара (мішок). Завантажувальна воронка і розподільний конус установлені на рамі 3. Завантажувальна воронка являє собою конічну ємність діаметром 1 000 мм, що закінчується патрубком діаметром 120 мм. На патрубок встановлений мундштук у вигляді обичайки. Піднімаючи і опускаючи мундштук, можна регулювати зазор між мундштуком і конусом, а, відповідно, швидкість зсипання і рівномірність розподілу матеріалу за жолобами. Кути нахилу стінок завантажувальної воронки і розподільного конуса повинні бути більшими, ніж кут природного укосу сипкого матеріалу.

Принцип роботи апарата Тарасова заснований на змішуванні порцій сипкого матеріалу по 280–320 кг, що складаються з 14–16 частин масою 20 кг, кожна з яких міститься в окремій тарі. Змішування здійснюється за допомогою ділення кожної частини ще на 14–16 частин, які розподіляються в різну тару.

Для цього з порцій, що становлять партію, яка усереднюється, беруть по одній частині і засипають у завантажувальну воронку 1. Із завантажувальної воронки матеріал висипається на конус 2 і, розподіляючись за його напрямними, зсипається у відповідну приймальну тару. Водночас якщо конус має, наприклад, 14 жолобів, то в кожній приймальній тарі буде приблизно 1/14 завантаженої частини. Після завантаження всієї порції і, відповідно, змішування її частин приймальну тару прибирають з-під

жолобів. Потім під жолоби встановлюють порожню тару для наступної порції.

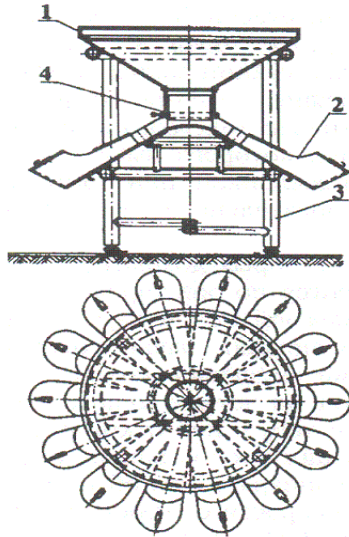


Рисунок 4.14 – Апарат Тарасова: 1 – завантажувальна воронка; 2 – розподільний конус; 3 – рама; 4 – регулювальний мундштук

Після змішування всіх порцій партії сипкого матеріалу, що усереднюється, цикл повторюють. Водночас другий цикл організують так, щоб окремі порції змішувалися між собою. Чим більше буде циклів змішування, тим більш рівномірно перерозподіляються частки в загальній масі сипкого матеріалу.

Однак використання апарата Тарасова для змішування сипких матеріалів вимагає великих затрат ручної праці, у зв'язку з чим на його основі був розроблений каскадно-бункерний змішувач, який являє собою триярусний варіант апарата Тарасова (рис. 4.15).

Завантаження каскадно-бункерного змішувача здійснюють за допомогою скіпового підйомника 2, у ківш якого матеріал надходить із бункера 1. Після підйому ковша матеріал висипається в приймальний бункер 3. Далі, розподіляючись на конусі першого каскаду, на відміну від попереднього апарата, матеріал зсипа-

ється не в тару, а у відсіки, розташовані в його нижній частині. Відсіки забезпечені пневматичними клапанами, через які матеріал надходить на наступний каскад. Клапани працюють у певній послідовності: початок відкривання клапанів відсіків верхнього і нижнього каскадів і закривання клапанів середнього каскаду відбувається одночасно в той момент, коли ківш скіпового підйомника перебуває в крайньому нижньому положенні. Початок відкривання клапанів відсіків середнього каскаду і закривання клапанів верхнього і нижнього каскадів відбувається одночасно під час руху ковша скіпового підйомника вгору.

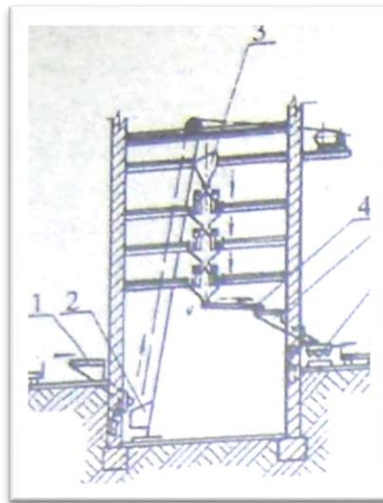


Рисунок 4.15 – Схема каскадно-бункерного змішувача:
1 – завантажувальний бункер; 2 – скіповий підйомник;
3 – приймальний бункер; 4 – віброживильники

Громіздкість, великі габарити (монтажна висота 15 м), наявність великої кількості керованих клапанів є недоліком каскадно-бункерного змішувача. Для пороху він не повною мірою забезпечує необхідну якість змішування. Для якісного усереднення необхідно послідовно встановлювати не менше ніж два таких самих змішувачі [22]. Тому у виробництві часто використовують звичайний апарат Тарасова.

4.4.2 Безперервнодійні змішувачі сипких матеріалів

Залежно від характеру руху сипкого матеріалу розрізняють безперервнодійні змішувачі прямоточного й об'ємного змішування. Перший тип змішувачів за цією ознакою наближається до апаратів повного витіснення, у яких частки матеріалу під час змішування мають однаковий час перебування в апараті. Другий – до апаратів ідеального змішування, у яких частки характеризуються неоднорідним розподілом за часом перебування в апараті.

4.4.2.1 Прямоточні змішувачі

Найбільш поширеними представниками прямоточних змішувачів є: барабанні змішувачі з обертовим корпусом; змішувачі з нерухомим корпусом, наприклад, стрічкові; вібраційні змішувачі.

Барабанний змішувач безперервної дії характеризується простою конструкцією й універсальністю (у ньому можна одночасно з процесом змішування проводити сушку, прожарювання, гранулювання тощо). Змішування компонентів у цьому змішувачі відбувається завдяки обертанню корпусу циліндричної форми, вісь якого має невеликий ухил до горизонталі (приблизно 4°).

Барабанний змішувач (рис. 4.16) складається з корпусу (барабана) 1, на якому закріплені бандажі 2 і 4, а також вінцеве (зубчасте) колесо 3; опорних станцій 6 і 10, призначених для опори корпусу і фіксації його в горизонтальному напрямку; привода корпусу, що складається з електродвигуна 7, редуктора 8 і приводної шестерні 9; завантажувального бункера 12; розвантажувальної камери 5; станини 11.

Під час роботи барабанного змішувача безперервної дії сипкий матеріал рухається уздовж барабана без поздовжнього перемішування (поршневий режим). Процес змішування забезпечується тільки радіальним перерозподілом часток.

Для підтримки необхідного рівня матеріалу в барабані (за коефіцієнта заповнення $\varphi = 0,1-0,3$) у кінці його вварюють підпірне кільце, через яке матеріал потрапляє в розвантажувальну камеру 5. З метою збільшення ефективності змішування всередині барабана часто монтують насадку.

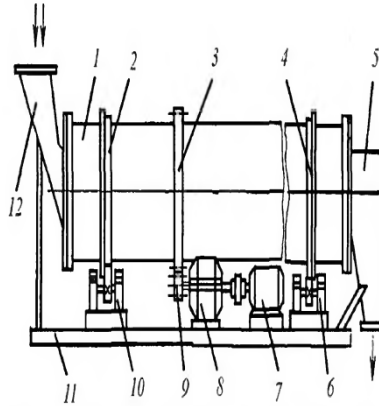


Рисунок 4.16 – Схема барабанного змішувача безперервної дії:

- 1 – барабан; 2, 4 – бандажі; 3 – вінцеве колесо;
- 5 – розвантажувальна камера; 6 і 10 – опорні станції;
- 7 – електродвигун; 8 – редуктор; 9 – приводна шестерня;
- 11 – станина; 12 – завантажувальний бункер

Безперервнодійний змішувач із нерухомим корпусом, забезпечений пристроєм стрічкового типу, поданий на рисунку 4.17. Він містить корпус 1 із двовальним пристроєм, вали якого обертаються від зубчастої пари 2; редуктор 3; електродвигун 4. Всі вузли змішувача змонтовані на рамі 7.

Під час роботи змішувача компоненти, що підлягають змішуванню, надходять у корпус 1 через вварений у його кришку штуцер, а вивантажуються через розвантажувальну камеру 8. Змішування матеріалу і переміщення його уздовж корпусу проводиться спочатку лопатками 9, а потім спіральними стрічками, закріпленими на валах 10. Вали приводяться в обертання від електродвигуна 4 через редуктор 3, муфту і зубчасту пару 2. У розвантажувальній камері встановлений розпушувач 6, що приводиться в обертання приводом 5.

Вібраційні змішувачі безперервної дії характеризуються тим, що змішувальний матеріал переміщується уздовж корпусу завдяки його вібрації. Водночас зазвичай використовують порівняно великі амплітуди (3–4 мм) і відносно малі частоти

(20–35 Гц). На рисунку 4.18 подана одна з описаних у літературі конструкцій вібраційного змішувача.

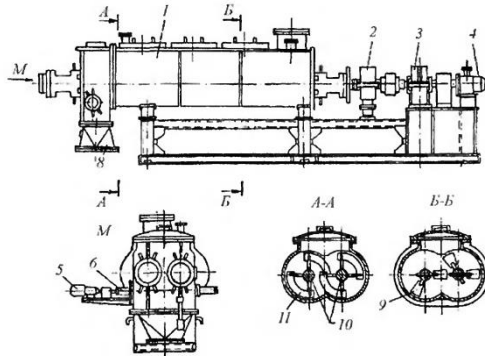


Рисунок 4. 17 – Загальний вигляд безперервної дії змішувача з нерухомим корпусом: 1 – корпус; 2 – зубчасті пари; 3 – редуктор; 4 – електродвигун; 5 – привід розпушувача; 6 – розпушувач; 7 – рама; 8 – завантажувальна камера; 9 – лопатки; 10 – вали; 11 – спіральні стрічки

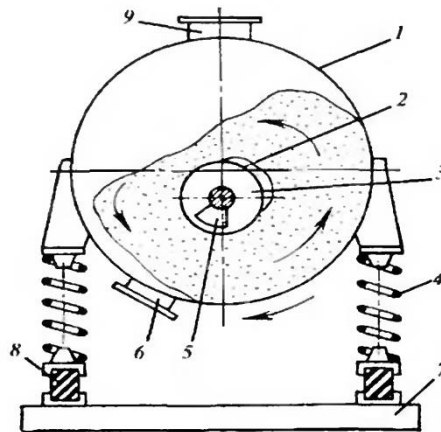


Рисунок 4.18 – Схема вібраційного змішувача безперервної дії: 1 – корпус; 2 – труба; 3 – вал; 4 – пружина; 5 – дебаланси; 6 – розвантажувальний штуцер; 7 – станина; 8 – амортизатори; 9 – завантажувальний штуцер

Вібраційний змішувач влаштований так.

У корпусі 1 розміщена труба 2, всередині якої обертається вал 3 з дебалансами 5. Вал приводиться в обертання від електродвигуна через клиноремінну передачу (на схемі не продемонстрована). Корпус 1 спирається на циліндричні пружини 4, які через гумові амортизатори встановлені на станині 7.

Під час роботи змішувача сипкі компоненти завантажуються безперервно в корпус через штуцер 9, а вивантажуються через штуцер 6. Основна маса змішаного матеріалу циркулює в поперечних перетинах корпусу в бік, протилежний обертанню вала 3. Поздовжнє переміщення сипкого матеріалу уздовж корпусу забезпечується завдяки різниці висот у місцях завантаження і вивантаження.

4.4.2.2 Змішувачі об'ємного змішування

На відміну від прямоочних змішувачів у змішувачах об'ємного змішування відсутній спрямований рух сипкого матеріалу уздовж корпусу від місця його входу до виходу. У цих змішувачах частки матеріалу рухаються у всьому обсязі камери змішувача хаотично або з локальною циркуляцією.

Типовим прикладом реалізації першого варіанта є змішувачі з псевдозрідженим шаром. У цьому разі шар матеріалу перебуває в псевдозрідженому стані, унаслідок дії на нього подається знизу через газорозподільну решітку потоку повітря. Частинки матеріалу в такому стані перемішуються завдяки вільному переміщенню в обсязі.

В іншому варіанті змішування відбувається внаслідок циркуляції матеріалу між основним об'ємом шару й локальною зоною з його інтенсивним рухом, який створює додаткові засоби (шнеком, мішалкою, струменем повітря). В умовах безперервної дії змішувачі об'ємного змішування не забезпечують високої якості суміші.

4.5 Розрахунок барабанного змішувача з обертовим корпусом

Унаслідок цього розрахунку визначають такі характеристики барабанного змішувача, як швидкість обертання барабана, продуктивність змішувача, розміри барабана, зокрема товщину стінки його корпусу, потужність привода.

4.5.1 Швидкість обертання барабана

Барабанні змішувачі належать до тихохідних машин. Окружна швидкість обертання барабана (лінійна швидкість точки на поверхні барабана) зазвичай становить $v = 0,17-1,0$ м/с. За більш високих швидкостей відцентрова сила, що виникає, виявляється порівняною із силою тяжіння сипкого матеріалу і матеріал починає обертатися спільно з корпусом. Унаслідок цього пересипання матеріалу, а, відповідно, його перемішування припиняється.

Окружну швидкість можна виразити через кутову швидкість обертання барабана

$$v = R\omega, \quad (4.13)$$

де R – відстань до центра обертання (радіус барабана), м; ω – кутова швидкість обертання, c^{-1} .

Якщо за період часу T точка на поверхні барабана проходить шлях, що дорівнює 2π , то кутова швидкість дорівнює

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (4.14)$$

а окружну швидкість, відповідно, виражають як

$$v = \frac{2\pi}{T} R = 2\pi DR, \quad (4.15)$$

де v – частота обертання барабана, тобто кількість обертів, що здійснює барабан за 1 секунду.

На підставі того, що барабан здійснює в секунду v оборотів, і, використовуючи вираз (4.14), отримаємо

$$v = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ об./с.} \quad (4.16)$$

У техніці зазвичай частоту обертання висловлюють в об./хв, що виражають формулою

$$n = \frac{30\omega}{\pi}, \text{ об./хв.} \quad (4.17)$$

Використовуючи зазначені вище чисельні значення окружної швидкості, з виразів (4.13) і (4.17) отримаємо значення кількості обертів барабана, за яких забезпечується змішування сипкого матеріалу

$$n = \frac{3}{D} \div \frac{20}{D}, \text{ об./хв.} \quad (4.18)$$

4.5.2 Продуктивність змішувача

Для змішувача періодичної дії годинну продуктивність розраховують за формулою

$$G = \frac{60g}{\tau}, \text{ т/ч,} \quad (4.19)$$

де g – одноразове завантаження змішувача, кг; τ – тривалість технологічного циклу змішування (повний оберт змішувача), хв.

Завантаження змішувача визначають як

$$g = V_{\delta} \rho_n k_s, \text{ кг,} \quad (4.20)$$

де V_{δ} – обсяг барабана, м³; ρ_n – насипна щільність сипкого матеріалу, кг/м³; k_s – коефіцієнт заповнення барабана, що дорівнює 0,3–0,7.

Тривалість технологічного циклу змішування дорівнює

$$\tau = \tau_z + \tau_c + \tau_e + \tau_{\text{доп}}, \text{ хв,} \quad (4.21)$$

де τ_z – час завантаження змішувача; τ_c – час змішування; τ_e – час вивантаження; $\tau_{\text{доп}}$ – додатковий час на проведення операцій чищення, регулювання вузлів та ін. (вводять за необхідності).

τ_z , τ_e – визначають технологічним регламентом за результатами відпрацювання процесу змішування, величину τ_c визначають дослідним методом (на підставі експериментальних досліджень для конкретного сипкого матеріалу й умов проведення процесу).

Під час розрахунку **барабанного змішувача безперервної дії** необхідно враховувати характер руху сипкого матеріалу, зокрема і його поздовжнє переміщення (прямоточність). Для барабанів без внутрішніх пристроїв у цьому разі шар матеріалу ділиться на дві зони (рис. 4.19) [21].

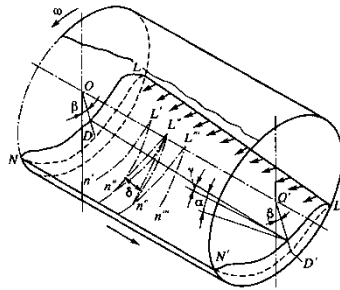


Рисунок 4.19 – Схема руху матеріалу в обертовому барабані змішувача безперервної дії

Нижче за поверхню розділу $NDLL'D'N$ розміщена зона підйому матеріалу, у якій матеріал піднімається разом із барабаном, без помітного прослизання по його стінці і відносного зміщення часток сипкого матеріалу. Вище за цю поверхню утворюється зона скачування, у якій частки перемішуються завдяки руху за складними траєкторіями під дією сил гравітації. Вони рухаються за кривими $n, L', \dots, n''''L''''$, переміщуючись від завантажувального перетину барабана до розвантажувального перетину.

Для розрахунку необхідні такі параметри розташування сипкого матеріалу в барабані: кут охоплення барабана сипким матеріалом (δ), кут нахилу осі барабана (α), кут підйому центра ваги сегмента сипкого матеріалу в поперечному перерізі барабана (β), кут природного укосу сипкого матеріалу (φ), кут нахилу вільної поверхні сипкого матеріалу до поздовжньої осі барабана (γ), подані на рисунках 4.19 і 4.20.

Необхідно також враховувати, що матеріал, який піднімається, має в поперечному перерізі поверхню кругового сегмента $EDFM$ (рис. 4.20), а скочується – $ELKNF$. Лінія поділу зон

піднімання і скочування нахилена до горизонту під кутом, що дорівнює куту природного укосу φ . Це обумовлено тим, що поверхня формується силами гравітації, а відцентрові сили в умовах стійкої роботи змішувача відносно малі.

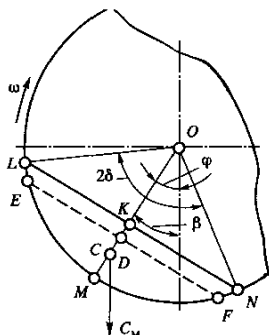


Рисунок 4.20 – Схема поперечного перерізу барабана

На підставі такої фізичної картини руху сипкого матеріалу була отримана формула [21] для розрахунку продуктивності барабанного змішувача безперервної дії

$$G = \frac{1}{12} \omega D^2 \rho_n \sin^2 \left(\frac{\delta_{cp}}{2} \right) \operatorname{tg} \varepsilon, \text{ кг/с}, \quad (4.22)$$

де δ_{cp} – кут охоплення сипкого матеріалу (центральный кут сегмента завантаження), що відповідає середньому коефіцієнту заповнення k_3 ; $\operatorname{tg} \varepsilon$ – тангенс кута, що розраховують як

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha + \gamma \cos \varphi}{\sin \varphi}.$$

У роботі [21] також наведена формула для визначення часу перебування матеріалу в барабані

$$\tau_{\text{преб}} = \frac{3 D \delta_{cp} - \sin \delta_{cp}}{2 L \omega \sin^3 \delta_{cp} t \varepsilon}. \quad (4.23)$$

Недолік формул (4.22) і (4.23) полягає в тому, що їхнє практичне застосування неможливо в проектних розрахунках без попереднього експериментального визначення параметрів розташування сипкого матеріалу в барабані.

4.5.3 Розміри барабана

Для змішувачів періодичної дії такі розміри барабана, як діаметр і довжина, визначають на підставі його обсягу. Розрахунок обсягу барабана заснований на тому, що продуктивність змішувача зазвичай є заданою величиною (одна з вимог технічного завдання на розробку змішувача). За величиною продуктивності з використанням формули (4.19) розраховують завантаження барабана i , відповідно, з формули (4.20) виражають обсяг барабана. Далі, задаючись одним із розмірів барабана: діаметром або довжиною (на підставі технологічних або конструктивних міркувань), з виразу $V\delta = \pi D^2 L / 4$ визначають другий розмір.

Для змішувачів безперервної дії в разі такого розрахунку використовується такий зв'язок між завантаженням барабана і продуктивністю змішувача

$$g = \frac{G \tau_{\text{преб}}}{60}, \text{ кг}, \quad (4.24)$$

де $\tau_{\text{преб}}$ – час перебування матеріалу в барабані, хв.

Якщо процес змішування поєднаний з іншими процесами, то час перебування матеріалу у змішувачі вибирають з урахуванням цих процесів, але він не повинен бути менший, ніж час перебування, розрахований за формулою (4.23). Для змішувачів такого типу рекомендують таке співвідношення між довжиною і діаметром барабана [21]

$$L = (3 \div 6) D. \quad (4.25)$$

4.5.4 Потужність привода барабанного змішувача

Потужність, що витрачається під час роботи барабанного змішувача, переважно витрачається на перемішування матеріалу (підйом матеріалу на певну висоту) (N_1) і подолання сил тертя, що виникають в опорних вузлах (N_2)

$$N = N_1 + N_2. \quad (4.26)$$

Потужність, необхідну для перемішування матеріалу (N_1), визначають на підставі таких передумов [23]. Припустимо, що в певний момент часу центр ваги завантаження матеріалу досягає положення, що характеризується умовою

$$\gamma = \varphi, \quad (4.27)$$

де γ – кут повороту барабану; φ – кут природного укосу сипкого матеріалу.

Далі вважаємо, що за час dt барабан повернувся на кут $d\gamma$. Водночас центр ваги матеріалу перемістився на висоту dh (рис. 4.21), яка дорівнює

$$dh = r d\gamma \sin \gamma,$$

де r – відстань від осі обертання до центра ваги (радіус центра ваги).

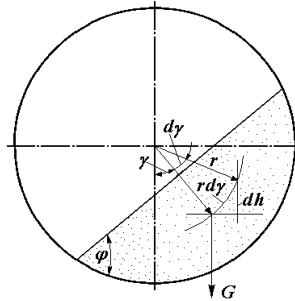


Рисунок 4.21 – Розрахункова схема для визначення потужності, що витрачається на змішування матеріалу

Робота підйому центра ваги в цьому разі дорівнює

$$dA = G dh = Mgr \sin \gamma d\gamma,$$

$dA = G dh = Mgr \sin \gamma d\gamma$ де G – сила тяжіння завантаження, н; M – маса завантаження, кг; g – прискорення вільного падіння.

Оскільки ця робота виконана за час dt , то потужність буде дорівнювати

$$N_1 = \frac{dA}{dt} = Mgr \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt}.$$

Враховуючи, що $\frac{d\gamma}{dt} = \omega$ – кутова швидкість обертання барабану (рад/с) і приймаючи умови (4.27), отримаємо

$$N_1 = Mgr \omega \sin \gamma, \text{ Вт.} \quad (4.28)$$

Для барабанних змішувачів з горизонтальною віссю обертання радіус центра ваги матеріалу (r) визначають на підставі

геометричних характеристик сегмента, зайнятого матеріалом у перерізі барабана (рис. 4.22), як

$$r = \frac{2 R^3 \sin^3 \beta}{3 F_c} = \frac{a^3}{12 F d}, \quad (4.29)$$

де $F_c = \frac{R^2}{2}(2\beta - \sin 2\beta)$ – площа сегмента;

$a = 2(2Rz - z^2)^{0,5}$ – ширина сегмента;

$Z = R - \left[R^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{0,5}$ – висота сегмента.

Для змішувачів, вісь обертання барабана яких розташована горизонтально за його діагоналлю («п'яна бочка»), розрахунок потужності значно ускладнюється, тому що величини r і $\sin \gamma$ є змінними. Для такого розрахунку необхідно знати залежність r від γ , тобто конфігурацію завантаження матеріалу за будь-якого положення барабана. Порядок розрахунку таких змішувачів за дуже спрощених припущень наведений у [23].

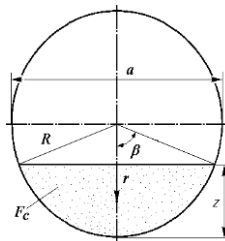


Рисунок 4.22 – Схема визначення радіуса – центра ваги завантаження матеріалу

Величина потужності, що витрачається на подолання сил тертя, які виникають в опорних вузлах, залежить від конструкції цих вузлів. У цапфових опорах потужність, необхідна для подолання тертя в підшипниках ковзання, дорівнює [24]

$$N_2 = \frac{G_\sigma f_n r_y \omega}{100}, \quad (4.30)$$

де G_δ – сила тяжіння завантаженого барабана, кгс; f_n – наведений коефіцієнт тертя ковзання; r_u – радіус цапфи вала барабана, м; ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с.

Під час обертання барабана, встановленого на бандажах, потужність визначають за формулою [24]

$$N_2 = \frac{\pi D_\delta P_1 k i \omega}{100 d_p}, \quad (4.31)$$

де D – діаметр барабана, м; P_1 – сила реакції в опорному ролику, кгс; k – коефіцієнт тертя кочення бандажів об ролик; i – кількість опорних роликів; d_p – діаметр ролика, м.

Для наближеного оцінювання потужності, що витрачається під час роботи барабанного змішувача, може бути використана формула [5]

$$N = 0,34 D_\delta^3 L n \rho_n k_z \chi, \quad (4.32)$$

де L – довжина барабана, м; n – частота обертання барабана, об./хв; k_z – коефіцієнт заповнення барабана; χ – коефіцієнт, що враховує особливості внутрішньої насадки барабана, для гладких барабанів $\chi = 1,0$.

Потужність двигуна вибирають з урахуванням коефіцієнта корисної дії привода і пускових навантажень

$$N_{\text{дв}} = (1,1 \div 1,3) N, \quad (4.33)$$

менше значення коефіцієнта беруть для важких барабанів, більше – для легких.

4.5.5 Міцнісний розрахунок барабанного змішувача

Розрахунок на міцність барабанного змішувача містить розрахунки на міцність корпусу барабана і бандажів.

Розрахунок корпусу барабана на міцність здійснюють із метою визначення товщини його стінки. Для цього на підставі каталожних даних або з використанням емпіричної формули

$$S = (0,007 \div 0,011) D_\delta \quad (4.34)$$

попередньо задають товщину стінки з подальшою її перевіркою.

Під час перевірки враховують спільну дію на корпус барабана згинального і крутного моментів. Барабани з бандажами, розташованими по краях, розраховують як балку на двох опо-

рах, навантажену розподіленням навантаженням. Максимальний згинальний момент всередині барабана

$$M_{изг} = \frac{MgL}{8}, \quad (4.35)$$

де g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ; M – маса завантаженого барабана, кг; L – довжина барабана, мм.

Якщо опори розташовані не біля самих країв барабана, то відстань між ними вважають такою, що дорівнює $\ell = 0,586 L$. У цьому разі момент, що вигибає, буде мінімальним

$$M_{изг} = \frac{MgL}{47}. \quad (4.36)$$

Крутний момент

$$M_{кр} = 9550 \frac{N_{дв}}{n}, H \cdot м, \quad (4.37)$$

де $N_{дв}$ – потужність привода, кВт; n – частота обертання барабана, об./хв.

Наведений момент, що діє на барабан,

$$M = 0,35M_{изг} + 0,65\sqrt{M_{изг}^2 + M_{кр}^2}. \quad (4.38)$$

Момент опору поперечного перерізу барабана

$$W \approx \frac{\pi}{4} D_o^3.$$

Товщину стінки барабана визначають з умови міцності

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{доп}, \quad (4.40)$$

де $\sigma_{доп}$ – допустимі напруження в стінці барабана.

Для правильної роботи змішувача прогин барабана не повинен перевищувати допустиме значення, яке дорівнює 0,3 мм на 1 м довжини барабана [5].

Прогин, що виникає під дією рівномірно розподіленого навантаження в разі розташування опор по кінцях барабана, визначають за формулою

$$f = \frac{5}{384} \frac{MgL^4}{EJ}, \quad (4.41)$$

де E – модуль пружності н/мм²; J – момент інерції кільцевого перерізу, мм⁴, який визначається як

$$J = \frac{\pi}{32} (D_{\text{нар}}^4 - D_{\text{внутр}}^4) \approx 0,1 (D_{\text{нар}}^4 - D_{\text{внутр}}^4). \quad (4.42)$$

Точний розрахунок бандажів на міцність досить складний. Він наведений у спеціальній літературі [25]. Спрощений перевірючий розрахунок бандажа, закріпленого башмаками, проводять із використанням умови міцності

$$\sigma = \frac{M_{\text{макс}}}{W} \leq \sigma_{\text{дон}}. \quad (4.43)$$

Максимальний момент у цьому разі визначають як

$$M_{\text{макс}} = \frac{R_p \ell}{4}, \quad (4.44)$$

де R_p – реакція опорного ролика; ℓ – відстань між башмаками.

Момент опору бандажа прямокутного перетину дорівнює

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (4.45)$$

де b – ширина бандажа; h – висота бандажа.

У цьому розрахунку ділянку бандажа між башмаками розглядають як балку на двох опорах.

Реакція опорного ролика

$$R_p = \frac{Mg}{n \cos \varphi}, \quad (4.46)$$

де n – кількість роликів, що підтримують барабан, φ – кут між вертикальною віссю барабана і віссю ролика.

Ширина бандажа повинна бути не менше ніж

$$b \geq \frac{R_p}{K}, \quad (4.47)$$

де K – величина, яку визначають дослідним методом (для вуглецевої сталі можна вважати $K = 2\,000$).

5 УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ ПЛАСТИЧНИХ МАС

Змішування високов'язких пластичних мас широко застосовують у виробництві полімерних матеріалів під час проведення таких технологічних процесів, як приготування суміші (композицій) полімерів, пластифікація, введення в полімери різних добавок, зокрема наповнювачів. За своєю сутністю цей процес відрізняється від розглянутих процесів змішування рідких середовищ і сипких матеріалів. Його особливість полягає в тому, що змішування відбувається в умовах значних зсувних деформацій маси, що перемішується.

5.1 Теорія процесу змішування

Розглянемо тіло 1 кубічної форми, розташоване на поверхні 2 так, що його нижня грань є нерухомою (рис. 5.1 а).

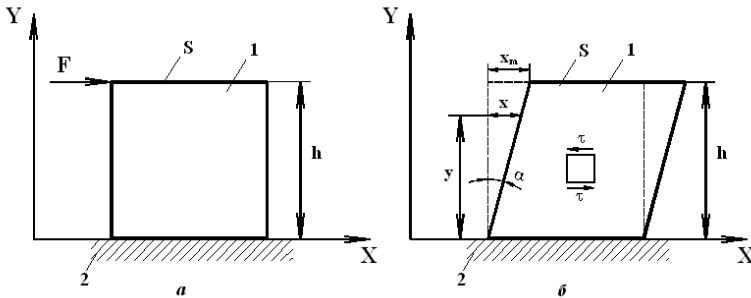


Рисунок 5.1 – Схема перетину кубічного тіла в початковому положенні (а) і після зсуву (б);
1 – тіло кубічної форми; 2 – поверхня

Якщо до верхнього лівого ребра цього тіла прикласти зовнішню силу F , то це ребро і вся верхня межа тіла змістяться на відстань x_m , ліва грань (відповідно і права) повернеться на кут α , а загалом тіло деформується (рис. 5.1 б). Таке деформування називається зсувним.

За зсувної деформації будь-яка точка горизонтального перетину лівої і правої граней тіла зміщується на відстань x ,

величина його залежить від висоти y до поверхні 2 (рис. 5.1 б). Це зміщення називається абсолютним зсувом, або просто зсувом, кут α – кутом зсуву, а відношення $\gamma = x/y$ – відносним зсувом, або зсувною деформацією, яка дорівнює $\operatorname{tg}\alpha$. Ці величини є мірою зсувного деформування тіла.

За зсувної деформації всередині тіла створюється дотична (зсувна) напруга τ , яка визначається відношенням внутрішнього зусилля, що виникає в тілі як реакція на дію сили F , до площі горизонтальних перетинів тіла S (див. рис. 5.1). Математичне вираження зв'язку між дотичним напруженням і зсувною деформацією є математичним описом явища зсувного деформування тіла. Якщо тіло пружне, тобто деформування оборотне, цей зв'язок називається законом Гука (зсувне напруження, що виникає в тілі, пропорційно величині деформації) і має вигляд

$$\tau = G\gamma,$$

де G – модуль пружності за зсувної деформації.

У разі полімерних матеріалів ми часто маємо справу з пластичними масами, для яких характерне, як і для рідких середовищ, необоротне деформування. Зв'язок між дотичними напруженнями і зсувними деформаціями в цьому разі є більш складним і залежить від виду середовища (матеріалу).

У найпростішому разі він виражається законом Ньютона (зсувне напруження, що виникає в тілі, пропорційно швидкості деформації)

$$\tau = \mu \frac{d\gamma}{dt},$$

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, що характеризує властивість середовища.

Однак пластичні маси зазвичай є неньютонівськими середовищами. Це бінгамовські, псевдопластичні, дилатантні середовища, у яких зв'язок між дотичними напруженнями і зсувними деформаціями відрізняється від закону Ньютона. Наприклад, для полімерних матеріалів, які здебільшого належать до псевдопластичних середовищ, цей зв'язок виражається степеневим законом (закон Оствальда-де-Вілліе)

$$\tau = k \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n, \quad (5.1)$$

де k – коефіцієнт консистенції (аналог в'язкості); n – індекс течії, що є мірою відхилення поведінки полімерної маси від ньютонівського середовища.

Наявність двох реологічних параметрів значно ускладнює використання цього закону в розрахунках. Тому на практиці зв'язок між дотичними напруженнями і зсувними деформаціями подають у формі закону Ньютона

$$\tau = \mu_3 \frac{d\gamma}{dt}, \quad (5.2)$$

де μ_3 – коефіцієнт ефективної в'язкості.

У цьому разі це не є константою, що характеризує властивості середовища. Вона залежить від умов руху середовища, зокрема від швидкості деформації $\mu_3 = f\left(\frac{d\gamma}{dt}\right)$. Прирівнявши рівняння (5.1) і (5.2), можна встановити, що

$$\mu_3 = \eta \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^{n-1}. \quad (5.3)$$

Параметри η і n характеризують властивості середовища і визначаються на підставі експериментальних досліджень.

Розглянемо процес змішування високов'язкої маси в умовах зсувних деформацій. У цьому разі, як і за перемішування низьков'язких ньютонівських середовищ, процес змішування полягає в розподілі маси на окремі частини під час її руху і розподілу цих частин в обсязі суміші (рис. 5.2) [26]. Але чим більше в'язкість середовища, тим повільніше вона рухається, і ефективність змішування знижується. Це пов'язано з переходом від турбулентного до ламінарного режиму руху середовища, за якого її шари рухаються паралельно практично без перемішування. Змішування в цьому разі досягається завдяки збільшенню поверхні контакту між шарами, що забезпечує результат зсувного деформування (рис. 5.2 б).

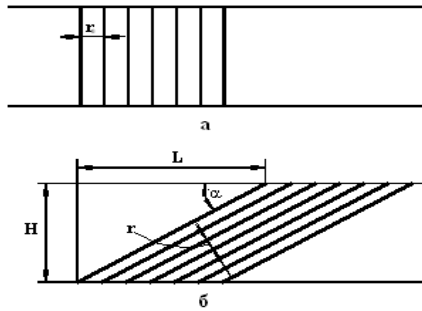


Рисунок 5.2 – Схема розташування смуг у зсувному шарі маси:
а – вихідний стан; б – після деформації зсуву

Якщо в рухомому шарі маси умовно нанести смуги (рис. 5.3 а) [27], то внаслідок зсувного деформування довжина смуги збільшиться (рис. 5.3 б).

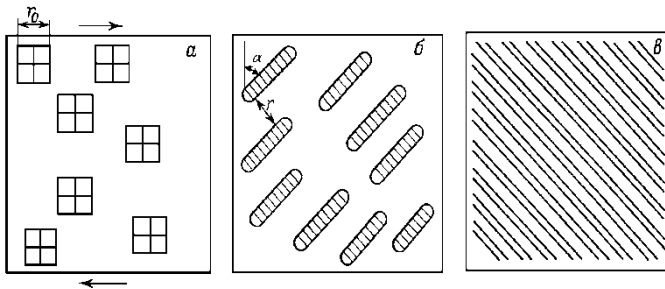


Рисунок 5.3 – Схема процесу змішування високов'язкої пластичної маси в умовах зсувної деформації: а – вихідний стан суміші; б – після незначної деформації; в – після завершення змішування

Позначивши відстань між смугами до зсуву і після відповідно r_0 і r , можна висловити величину зсувної деформації

$$\gamma = \frac{r_0}{r} \frac{1}{g} \frac{\mu_2}{\mu_1},$$

де g – відносний вміст диспергувального компонента в суміші; μ_1 і μ_2 – ефективні в'язкості змішування компонентів (дисперсної фази і дисперсійного середовища).

З цієї залежності випливає, що для збільшення зсувної деформації з метою підвищення інтенсивності змішування необхідно збільшувати в'язкість дисперсійного середовища або зменшувати в'язкість дисперсної фази. Тому рекомендують проводити змішування, додаючи менш в'язкий компонент до більш в'язкого, і вибирати такий температурний режим змішування, щоб в'язкість дисперсійного середовища була максимально можливою.

Під час змішування високов'язких пластичних важливо мати оптимальну орієнтацію поверхні розділу змішування фаз щодо направлення деформації зсуву. Зв'язок між орієнтацією поверхні розділу і напрямком деформації зсуву, виражених через косинус кута зсуву, характеризується формулою [26]

$$\frac{r_0}{r} = \sqrt{1 + \gamma^2 \cos^2 \alpha} \approx \gamma \cos \alpha .$$

Якщо поверхня розділу нормальна до вектора зміщення, кут $\alpha \approx 0$. У міру розвитку деформації зсуву кут α зростає, а інтенсивність збільшення поверхні розділу знижується. Тому на практиці змішувальне обладнання часто обладнують пристроєм для періодичної зміни напрямку руху робочих органів, що дозволяє здійснювати переорієнтацію поверхні розділу фаз щодо спрямування деформації зсуву. Така багаторазова переорієнтація призводить до зростання поверхні розділу і, відповідно, до однорідності змішування (рис. 5.2 в).

5.2 Облаштування і робота змішувального обладнання

З розглянутих закономірностей процесу змішування високов'язких пластичних мас виходить, що змішувальне обладнання в цьому разі конструктивно відрізняється від розглянутих вище змішувачів рідких середовищ і сипких матеріалів. Робочі органи таких змішувачів повинні під час змішування забезпечувати зсувну деформацію маси і створювати в ній високі зсувні напруження.

Існують різні типи змішувачів для високов'язких пластичних мас. Це двороторні змішувачі, що діють періодично Z-подібними лопатями і змішувачі закритого типу валкові змішувачі, що діють періодично і безперервно; безперервний шнекові змішувачі. В останньому типі обладнання зазвичай змішування маси поєднується з її пресуванням, тому його розглядають в розділі «Пресове устаткування».

5.2.1 Двורתорний змішувач із Z-подібними лопатями

Облаштування змішувача. Поданий на рисунку 5.4 змішувач складається з коритоподібного корпусу 1, закритого кришкою 2 із штуцерами для подачі компонентів маси. На кришці закріплені також противаги 3 для її відкривання за умови повороту корпусу в умовах розвантаження змішувача. Корпус має цапфи 4, якими він спирається на підшипники ковзання 5 опорних стоек 6 і 7, що дозволяє йому повертатися на певний кут, а також він забезпечений теплообмінною сорочкою 8, що дозволяє нагрівати або охолоджувати перемішувальну масу. Усередині корпусу розміщені два ротори 9 із Z-подібними лопатями, вали яких спираються на підшипники кочення 10, розташовані всередині цапф 4. Праві кінці валів з'єднані із зубчастою передачею 11, пов'язаною через редуктор 12, закріплений на опорному стояку 7, і муфту 13 з електродвигуном 14. Опора електродвигуна 15, так само, як і опорні стояки корпусу 6 і 7, кріпиться на фундаментній плиті 16. На фундаментальній плиті встановлений також і механізм 17, що повертає корпус під час розвантаження змішувача.

Спрощена кінематична схема змішувача із Z-подібними лопатями подана на рисунку 5.5.

Змішувачі можуть мати й інші компоновки, що відрізняються від розглянутих, наприклад, із зубчастими передачами на обох кінцях валів роторів для рівномірного розподілу на них навантаження.

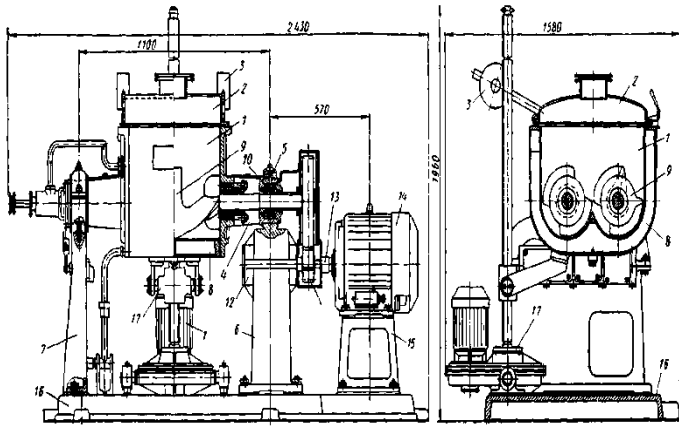


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд змішувача із Z-подібними лопатями: 1 – корпус; 2 – кришка корпусу; 3 – протизваги; 4 – цапфа; 5 – підшипник ковзання; 6, 7 – опорні стояки; 8 – теплообмінна сорочка; 9 – ротор із Z-подібними лопатями; 10 – підшипник кочення; 11 – зубчаста передача; 12 – редуктор привода; 13 – муфта; 14 – електродвигун; 15 – опора електродвигуна; 16 – фундаментна плита; 17 – механізм розвантаження

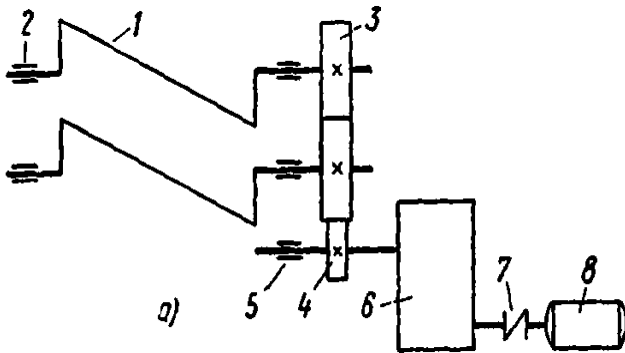


Рисунок 5.5 – Кінематична схема змішувача із Z-подібними лопатями: 1 – ротор; 2 – підшипникова опора; 3,4 – зубчасті колеса; 5 – додаткова опора; 6 – редуктор; 7 – муфта; 8 – електродвигун

Корпус змішувача (рис. 5.6) складається із середньої частини 1 із теплообмінною сорочкою 2 і торцевих стінок 3, з'єднаних із середньою частиною болтами. Середня частина має коритоподібну форму. Її низ являє собою два суміщених циліндри, які в перерізі відповідають профілю окружності, що списується лопатями роторів.

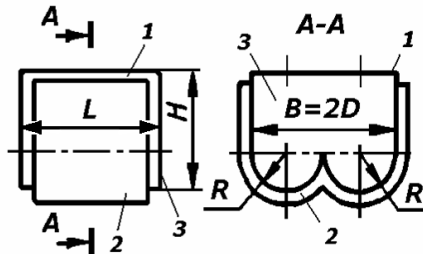


Рисунок 5.6 – Схема корпусу змішувача: 1 – середня частина; 2 – сорочка; 3 – торцева стінка

На кожній торцевій стінці корпусу кріпляться цапфи, у яких розміщені вали роторів. У цапфах встановлені сальникові ущільнення, що забезпечують герметизацію отворів у стінках, через які проходять вали. Цапфи являють собою литу або зварену конструкцію (рис. 5.7) із фланцем 2 для кріплення до стінки корпусу, що складається з опорної частини 3 і вікна 4, яке забезпечує доступ до сальникового ущільнення.

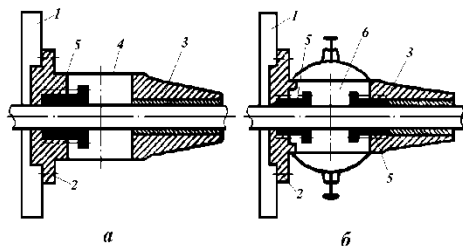


Рисунок 5.7 – Схема конструкцій цапф з одинарним (а) і подвійним (б) ущільненнями: 1 – торцева стінка корпусу; 2 – фланець; 3 – опорна частина цапфи; 4 – вікно; 5 – сальникове ущільнення; 6 – сальникова коробка

Застосовувані у змішувачах із Z-подібними лопатями сальникові ущільнення можуть бути одинарні (рис. 5.7), якщо в корпусі відсутній тиск, і подвійні (рис. 5.7 б), що встановлюються за вакууму або тиску в корпусі. У цьому разі вікна в цапфі закриваються кришками, що утворюють сальникові коробки 6 (рис. 5.7 б).

Ротори із Z-подібними лопатями виготовляють разом із валом (литтям або, куванням) або окремо з наступною збіркою на шпонкових з'єднаннях для запобігання провертанню. Як приклад конструкція ротора із зубчастими колесами на обох кінцях валів, встановленого в корпус змішувача з подвійними сальниковими ущільненнями, подана на рисунку 5.8.

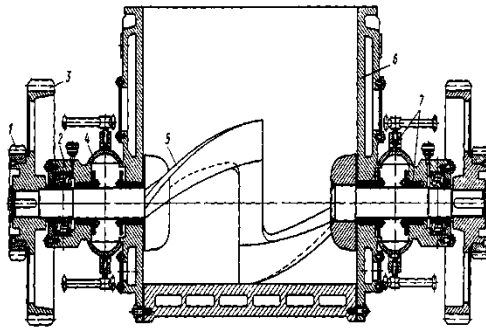


Рисунок 5.8 – Приклад конструкції ротора із Z-подібними лопатями: 1 – мале зубчасте колесо; 2 – підшипник; 3 – велике зубчасте колесо; 4 – сальникова коробка; 5 – лопать; 6 – бокова стінка; 7 – сальникове ущільнення

Лопаті роторів також можуть мати різне конструктивне виконання: з гладкими гребенями різної конфігурації; із зубчастими гребенями; багатокрильні (рис. 5.9).

Z-подібні лопаті з гладкими гребенями є універсальними і застосовуються для перемішування високов'язких мас або змішування їх із рідкими компонентами. Лопаті із зубчастими гребенями використовують для змішування волокнистих матеріалів. Двокрилі лопаті рекомендують для перемішування малих кількостей матеріалу, чотирикрилі – у разі видалення з маси газових включень.

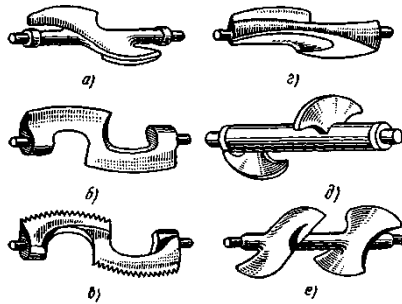


Рисунок 5.9 – Конструктивне виконання лопатей роторів:
 а, б, г – із гладкими гребенями; в – із зубчастими гребенями;
 д – двокрилі; е – чотирьокрилі

Розвантаження змішувача із Z-подібними лопатями зазвичай здійснюється перекиданням корпусу під час його повороту за допомогою механізму розвантаження, який може бути електро-механічним (рис 5.10 а) або гідравлічним (рис. 5.10 б).

Під час використання електромеханічного механізму розвантаження поворот корпусу здійснюється за допомогою вала – гвинта 1, на якому насаджена бронзова гайка 2, поєднана з корпусом 3 шарніром 4. В обертальний рух вал-гвинт приводить привод, що складається з електродвигуна 5 і редуктора 6. Привод за допомогою шарнірної опори 7 встановлений на фундаментній плиті. Під час обертання вала-гвинта гайка переміщується і корпус змішувача обертається.

Гідравлічний механізм розвантаження містить гідроциліндр 1, установлений на фундаментну плиту за допомогою шарнірної опори 2. Шток 3 гідроциліндра пов'язаний із корпусом змішувача 4 шарнірним з'єднанням 5. Під час подачі робочої рідини в гідроциліндр його шток переміщується, повертаючи корпус змішувача.

У змішувачах великих обсягів у зв'язку зі значною масою завантаження використання таких механізмів не завжди є виправданим, тому що через великі навантаження вони стають громіздкими. У цьому разі застосовують вивантаження через люки в нижній частині корпусу (див. рис. 5.10 в). Відкриття та закриття люків 1 здійснюється за допомогою електромеханічного

механізму, що складається з вала-гвинта 3 і гайки 4, яка шарнірно з'єднана тягами 5 із кришками люків. В обертальний рух вал-гвинт приводить електродвигун 6 через зубчасту передачу 7.

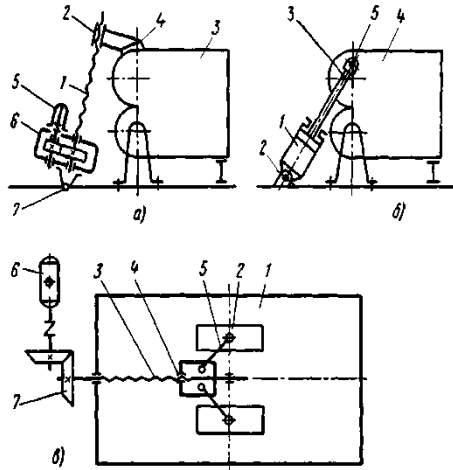


Рисунок 5.10 – Схема механізму розвантаження змішувача:
 а – електромеханічний механізм (1 – вал-гвинт; 2 – гайка, 3 – корпус змішувача; 4 – шарнірне з'єднання; 5 – електродвигун механізму; 6 – редуктор, 7 – шарнірна опора); б – гідравлічний механізм (1 – гідроциліндр; 2 – шарнірна опора; 3 – шток гідроциліндра; 4 – корпус змішувача; 5 – шарнірне з'єднання);
 в – механізм нижнього розвантаження (1 – корпус змішувача; 2 – люк; 3 – вал-гвинт, 4 – гайка; 5 – тяги; 6 – електродвигун; 7 – зубчаста передача)

Відомі також конструкції змішувачів із шнекового нижнього вивантаження.

Принцип роботи змішувача. Тверді компоненти маси, яка готується, завантажують у змішувач за відкритої кришки 2 (див. рис. 5.4.) і вводять рідкі компоненти через штуцери в ній після закриття. Унаслідок обертання роторів компоненти захоплюються лопатями і перерозподіляються в обсязі змішувача. Поряд із перерозподілом компонентів маса, яка утворюється, притискається лопатями до внутрішньої поверхні стінки корпусу і

зсувається по цій поверхні з продавлюванням через проміжок між ребром лопаті і стінкою (рис. 5.11).

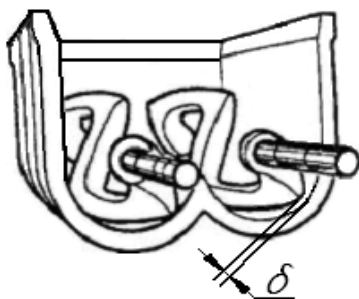


Рисунок 5.11 – Положення лопатей щодо стінки змішувача

Водночас частина маси, що виходить зі сфери дії однієї лопаті, підхоплюється другою лопаттю, яка зсуває масу по протилежній стінці корпусу змішувача. Шари маси, що утворюються, переміщуються щодо один одного і змішуються між собою в місцях контакту їхніх поверхонь. З причини малого проміжку (на практиці взятого 0,5–2,0 мм) у шарах маси, за її зсувної деформації виникає значний тиск, що сприяє інтенсифікації дифузії компонентів у полімерну матрицю маси.

Для поліпшення якості змішування ротори обертаються з різною швидкістю і можуть здійснювати реверсивний рух. Після певного часу обертання всередину електродвигун перемикається для обертання роторів назовні, що переорієнтує поверхні розділу шарів маси. Наприклад, під час приготування порохової маси час обертання роторів всередину і назовні становить відповідно 5–10 хв і 1–5 хв. Співвідношення швидкостей обертання роторів зазвичай беруть 1,7–2,0 за швидкості обертання швидкохідного ротора в межах 20–40 об./хв.

Після завершення процесу змішування проводиться розвантаження змішувача. Для цього в перекидних змішувачах корпус повертається в горизонтальне положення, унаслідок чого під дією противаг (див. рис. 5.4) його кришка відкривається і в разі реверсивного руху роторів приготована маса вивантажується.

Переваги та недоліки змішувачів із Z-подібними лопатями. Основні переваги таких змішувачів: простота конструкції і, відповідно, низька вартість; універсальність, тобто можливість приготування мас будь-яких складів із високою в'язкістю; наявність зсувних деформацій і високих зсувних напружень у масі, необхідних для багатьох технологічних процесів.

До недоліків змішувачів із Z-подібними лопатями потрібно віднести їхню періодичність дії, що ускладнює обслуговування і підвищує трудомісткість приготування маси. Крім того, змішування в цих змішувачах ведеться за умови наявності великої вільної поверхні над масою (рис. 5.12).

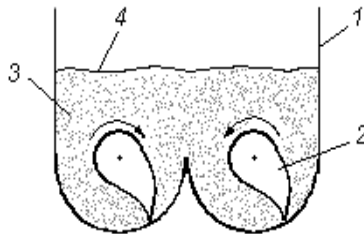


Рисунок 5.12 – Схема утворення вільної поверхні над перемішуваною масою: 1 – корпус змішувача; 2 – ротори; 3 – змішувана маса; 4 – вільна поверхня над масою

Це призводить до того, що ротори, які обертаються, своїми лопатями виштовхують значну частину маси, що досягає 30–40 %, у зону вільної поверхні, звідки її повернення в зону дії лопатей ускладнене. Унаслідок цього частина маси може тривалий час не брати участі у процесі змішування. Для усунення цього недоліку були розроблені так звані змішувачі закритого типу.

5.2.2 Двороторний змішувач закритого типу

Такі змішувачі застосовують для приготування гумових сумішей (гумозмішувача) і змішування різних пластичних мас із наповнювачами, барвниками та іншими їхніми складовими. Особливість цих змішувачів полягає в тому, що камера змішувача в перетині повністю відповідає профілю кіл обертання роторів, які становлять приблизно 60 % її обсягу. Унаслідок цього під час

змішування маса весь час перебуває в зоні дії лопатей. Облаштування такого змішувача подано на рисунку 5.13.

Він являє собою змішувальну камеру 1, що має форму двох суміщених напівциліндрів, закриту з торців стінками 2. У камері розміщені два ротори 3, що обертаються назустріч один одному з різними швидкостями. Ротори встановлені в підшипниках кочення 4, їх приводять у рух електропривод (на рисунку не поданий). Отвори в торцевих стінках, через які проходять вали роторів, закриті ущільнювальними пристроями 5. У верхній частині камера змішувача має отвір для завантаження, який під час роботи перекривається верхнім затвором 6. Підйом і опускання затвора здійснюється пневмоциліндром 7, закріпленим на завантажувальному бункері 8. У нижній частині камери змішувача розташовано розвантажувальний отвір, закритий нижнім затвором 9. Змішувач встановлений на станині 10.

Застосовувані в змішувачах закритого типу ротори можуть мати різну форму: овальну, тригранну, циліндричну (рис. 5.14).

Найбільшого поширення набули змішувачі з овальними роторами, що мають у поперечному перерізі форму еліпса, загострений кінець якого переходить у вершину гвинтової лінії (рис. 5.14 а). Тригранні (шевронні) ротори, що застосовують у змішувачах фірми «Вернер-Плайдерер», у поперечному перерізі мають форму тригранної призми з увігнутими гранями (рис. 5.14 б).

Циліндричні ротори (рис. 5.14 в) складаються з циліндричного сердечника, на поверхні якого розташовані два гвинтових виступи. В останньому разі ротори обертаються з однаковою швидкістю, тому що під час обертання виступи нарізки одного ротора входять у западини нарізки іншого, що призводить до зачеплення за різних швидкостей обертання.

У зв'язку з тим, що процес змішування в цьому змішувачі відбувається в умовах високих зсувних напружень і, відповідно, супроводжується виділенням значної кількості тепла, ротори, як і інші вузли, зокрема змішувальна камера, охолоджена. Тому ротори виготовляють порожнистими і всередину їх подається охолоджена вода. Камера змішувача для охолодження забезпечена

теплообмінною сорочкою (спочатку процесу змішування маса може підігріватися).

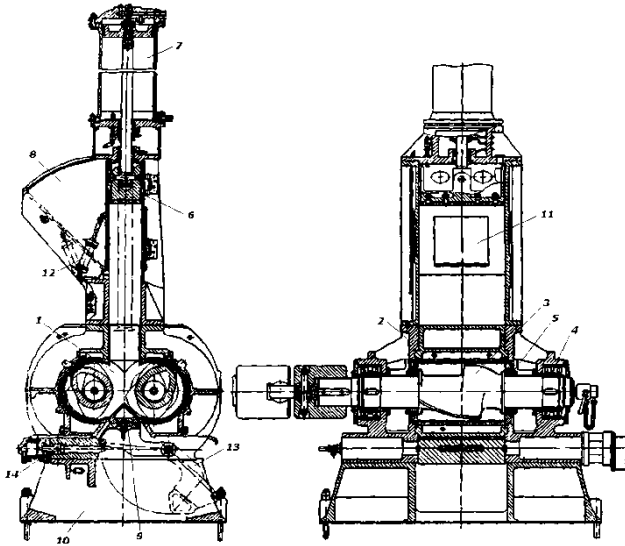


Рисунок 5.13 – Змішувач закритого типу: 1 – камера змішувача; 2 – торцева стінка; 3 – ротор; 4 – підшипник кочення; 5 – ущільнювальний пристрій; 6 – верхній затвор; 7 – пневмоциліндр верхнього затвора; 8 – завантажувальний бункер; 9 – нижній затвор; 10 – станина; 11 – дверці; 12 – пневмоциліндр дверці; 13 – шарнірний важіль; 14 – гідроциліндр

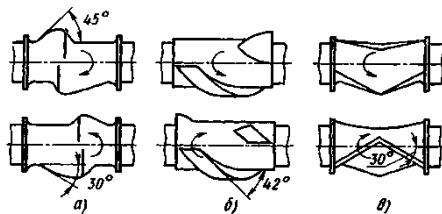


Рисунок 5.14 – Схеми роторів змішувача закритого типу: а – овальний; б – тригранний; в – циліндричний

Завантаження змішувача компонентами маси, що перемішується, здійснюють за піднятого верхнього затвору 6 (див. рис. 5.13) через дверці 11 завантажувального бункера 8, які відкриваються і закриваються за допомогою пневмоциліндра 12. Після завантаження вмикають привід роторів і опускають верхній затвор, який за допомогою пневмоциліндра 7, створює тиск на масу в межах 0,35–0,7 МПа. У міру змішування маса стає більш компактною і займає тільки робочу камеру. На цій стадії верхній затвор щільно закриває завантажувальний отвір змішувальної камери, причому конструктивно його нижня частина є немов би продовженням стінок камери.

Перемішувана маса в початковий момент піддається інтенсивній деформації зсуву в серпоподібній зоні між поверхнею камери і лопаттю правого ротора (зона I на рис. 5.15), а за відповідного повороту – роторів і лівого ротора (зона III). Потім у міру розм'якшення (плавки) матеріалу зсувній деформації починає піддаватися маса, яка перебуває в зонах II і IV.

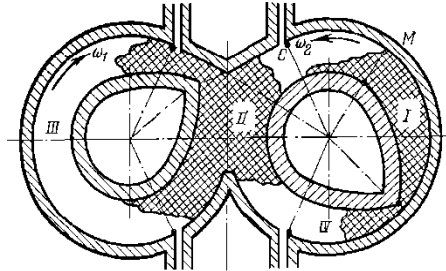


Рисунок 5.15 – Схеми взаємодії маси з робочими органами змішувача закритого типу

Розвантажувальний отвір у камері змішувача, який у робочому стані закритий нижнім затвором 9 (див. рис. 5.13), закріпленим на шарнірному важелі 13, який повертається гідروприводом (на рисунку не поданий) і фіксується гідроциліндром 14.

5.2.3 Валкові змішувачі

Одним із видів ефективного змішувального обладнання для високов'язких пластичних мас є валкові змішувачі (вальці). Робочим органом вальців є два масивні циліндри, що паралельно розташовані й обертаються назустріч один одному, які називаються валками. Перемішування маси відбувається в проміжку між валками в умовах великих зсувних деформацій.

Такий вид обладнання широко застосовують у гумовій промисловості й у виробництві пластичних мас, зокрема порохів і твердих ракетних палив. За принципом дії валкові змішувачі поділяються на змішувачі періодичної дії і безперервнодійні. Схема облаштування вальців періодичної дії подана на рисунку 5.16.

Вальці містять передній 1 і задній 2 валки, що мають на торцях цапфи, якими вони встановлені в підшипники. Задній валок 2 є приводним, до його правої цапфи прикріплена шестерня, яка перебуває в зачепленні із шестернею на валу редуктора 7 (приводні шестерні 6). Обертальний рух від електродвигуна 9 через редуктор 7 передається задньому валку 2 і через фрикційні шестерні 3 переднього валка 1. Регулювання проміжку між валками здійснюється внаслідок переміщення корпусів підшипників переднього валка за допомогою двох механізмів 9. Для зняття з валка опрацьованого матеріалу, що має вигляд полотна, вальці забезпечені зрізувальним ножем 4 і намотувальним барабаном 5.

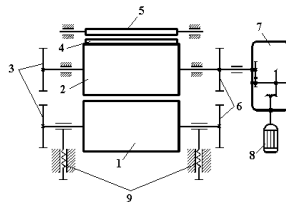


Рисунок 5.16 – Схема облаштування вальців періодичної дії:

- 1 – передній валок; 2 – задній валок; 3 – фрикційні шестерні;
- 4 – зрізувальний ніж; 5 – намотувальний барабан;
- 6 – приводні шестерні; 7 – редуктор; 8 – електродвигун;
- 9 – механізм регулювання проміжку між валками

На рисунку 5.17 наведений загальний вигляд промислових вальців для переробки пластичних мас.

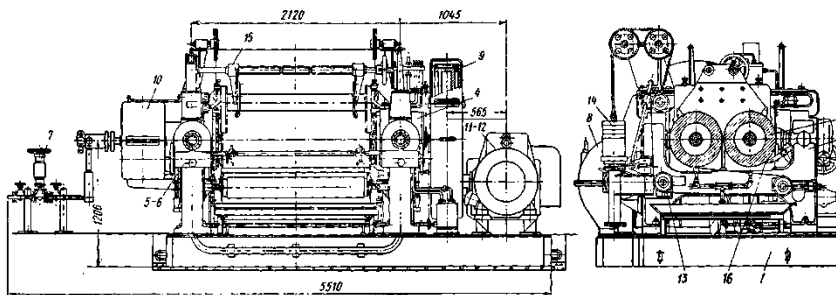


Рисунок 5.17 – Вальці для переробки пластичних мас:

- 1 – фундаментна плита; 2 – станина; 3 – валки; 4 – підшипник;
- 5, 6 – електродвигун і редуктор механізму регулювання проміжку;
- 7 – система водопідігріву; 8 – редуктор привода;
- 9 – приводні шестерні; 10 – фрикційні шестерні;
- 11 – електродвигун привода; 12 – колодкеве гальмо;
- 13 – пристосування для повернення маси;
- 14 – вантаж; 15 – обмежувальні стріли;
- 16 – пристосування для знімання матеріалу

Така конструкція вальців містить фундаментну плиту 1, на якій закріплені дві станини 2 з підшипниками 4. У підшипники встановлені цапфи валків 3. Діаметр валків – 550 мм, довжина – 1 530 мм. Валки всередині порожнисті, у них від системи водопідігріву 7 під тиском 15 кг/см² подається перегріта вода. Температура нагріву валків – до 180 °С.

Обертання валків здійснює електродвигун 11 через редуктор 8 і пару приводних шестерень 9 заднього валка, від нього через фрикційні шестерні 10 переднього валка.

Вальці мають механізм для регулювання проміжку, а також забезпечені різними допоміжними пристроями.

Під час роботи вальців, що діють періодично, масу завантажують зверху на валки (рис. 5.18). Унаслідок тертя й адгезії матеріалу до поверхні валків маса втягується в проміжок між

валками і на виході з нього прилипає до одного з валків (залежно від температури і швидкості обертання), огортаючи його й утворюючи на ньому полотно. Процеси гомогенізації і пластикації (пластифікації) вимагають багаторазового пропускання маси через проміжок. Вони відбуваються в умовах значних зсувних деформацій, що виникають завдяки різниці швидкостей обертання валків (фрикції). У проміжку створюються дуже великі тиски. Після обробки маси полотно розрізають і знімають із валка. За необхідності його згортають у рулон і знову подають у проміжок між валками. У разі частого повторення операцій зрізу і подачі у валки маса краще перемішується.

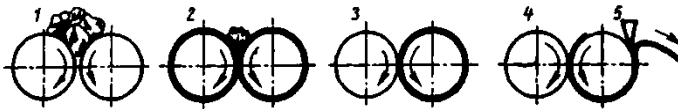


Рисунок 5.18 – Схема обробки маси на вальцях, що періодично діють: 1 – завантаження маси; 2 – вальцювання; 3 – кінець вальцювання; 4 – зріз маси; 5 – ніж

У безперервній вальці масу завантажують з одного боку вальців, а полотно, що утворюється, зрізають у вигляді порівняно вузької смуги з іншого боку (рис. 5.19).

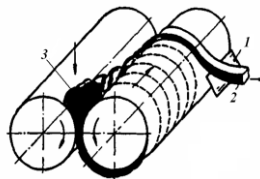


Рисунок 5.19 – Схема обробки маси на вальцях, що діють безперервно: 1 – ніж; 2 – смуга, що зрізається; 3 – завантажена маса

Процес змішування на вальцях відбувається так. Під час проходження між валками маса одночасно стискається і прощтовхується вниз (рис. 5.20).

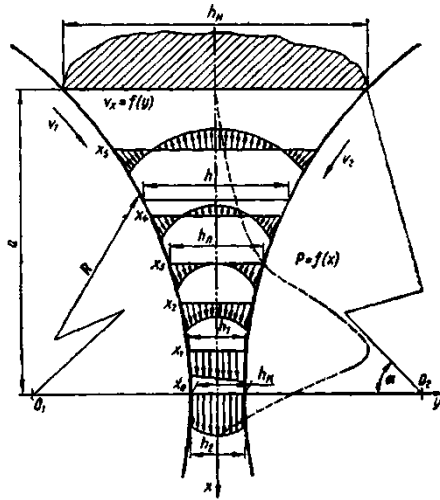


Рисунок 5.20 – Схема руху маси між валками

Водночас товщина потоку маси змінюється від h_n у момент її захоплення валками до h_k , що відповідає мінімальному проміжку між валками. Оскільки оброблювана маса практично нестискувана, то швидкості руху її шарів у перетинах між h_n і h_k розрізняються як за величиною, так і за напрямком.

Зміна величини швидкості руху маси за перетину потоку призводить до виникнення в ній значної деформації зсуву. Водночас величина деформації зсуву залежить як від окружної швидкості валків, так і від розміру проміжку між валками.

Що стосується напрямку руху шарів маси, то простір між валками можна розділити на дві зони: зону А, у межах якої центральна частина потоку рухається в напрямку, протилежному обертанню валків, що сприяє циркуляції маси між валками, і зону В, у якій маса рухається в одному напрямку. Отже, маса, яка проходить через вальці, піддається деформації зсуву і бере участь у циркуляційному русі. Це обумовлює змішувальну дію вальців. Наявність фрикції вальців інтенсифікує циркуляцію в зоні А, що підвищує ефективність змішування маси. Змішуванню сприяє також періодичне зняття полотна, його згортання

в рулон, поворот рулону на 90 °С і повторне пропускання рулону між валками.

Рух маси між валками характеризується також зміною тиску в робочій зоні вальців. Типова крива зміни тиску наведена на рисунку 5.20, з якого випливає, що трансформація поля швидкостей під час руху маси супроводжується збільшенням тиску, який досягає максимуму в певному перетині. Після проходження масою цього перетину її центральні шари починають рухатися з більшою швидкістю, ніж шари, які прилягають до поверхні валків. Максимальна різниця цих швидкостей досягається в перетині, що відповідає мінімальному зазору між валками. Подальший рух маси супроводжується гальмуванням центральних шарів. На виході маси з валків тиск падає до нуля, а профіль швидкостей вирівнюється.

У процесі обробки маси на вальцях, крім змішування і відповідної йому гомогенізації, у полімерному матеріалі здійснюється низка фізико-хімічних явищ: орієнтування макромолекулярних ланцюгів; їхня деструкція з утворенням радикалів, здатних до різних хімічних перетворень; окислювальні процеси внаслідок взаємодії матеріалу з киснем повітря. Ці явища змінюють властивості оброблюваної маси.

Орієнтування макромолекул посилюється і прискорюється за наявності фрикції валків. Оптимальним вважають співвідношення швидкостей валків 1:1,2 (загалом може змінюватися від 1:1 до 1:4), що забезпечує більш щільну масу без повітряних включень. Окружна швидкість обертання валків може перебувати в межах 0,05–0,90 м/с (здебільшого 0,25–0,5 м/с).

5.2.4 Змішувальне устаткування, що застосовують у спеціальних виробництвах

У виробництвах порохів і твердих ракетних палив на полімерній основі застосовують без істотних конструктивних змін двороторний змішувач із Z-подібними лопатями (періодична технологія піроксилінових порохів) і змішувальні вальці (періодична і безперервна технологія баліститного пороху і твердих ракетних палив). На принципах двороторного змішувача закритого

типу для виробництва піроксилінового порошу створений безпервнотійний каскадний змішувач-прес (КСП), схема якого подана на рисунку 5.21.

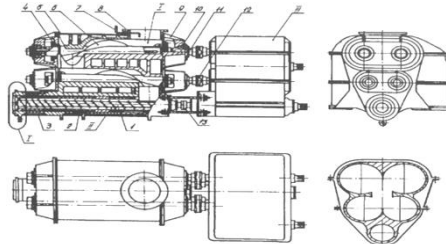


Рисунок 5.21 – Схема каскадного змішувача-преса: 1 – шнек; 2 – втулка; 3 – сорочка; 4 – сальникове ущільнення; 5 – корпус; 6 – лопаті; 7 – патрубок; 8 – завантажувальна горловина; 9 – кришки; 10 – підшипники; 11 – вали лопатей; 12 – вирівнювальна муфта; 13 – плавальна муфта; 14 – хомут; 15 – фільтруюча решітка; 16 – ніж; 17 – зрізне кільце; 18 – горщик

Змішувач-прес містить корпус 5, що являє собою камеру, яка складається з чотирьох циліндрів, розташованих горизонтально попарно один над другим (перетин А-А). Верхня пара циліндрів утворює верхній каскад змішувача, нижня – нижній. Парні циліндри пов'язані не за дотичною, а утворюють між собою «сідло». У нижній частині корпусу розташований шнек 1, який пресує. З торців корпус змішувача закритий кришками 9, вони ж є корпусами підшипників 10, у які встановлені вали лопатей 6. Обертальний рух лопатей пресувальному шнеку передається від спеціального редуктора-розподільника. Привід змішувача-преса винесений за стіну виробничого приміщення в механічне відділення.

Під час роботи змішувача-преса компоненти, що утворюють масу, подаються в завантажувальну горловину 8 і розділяються «сідлом» на дві частини. Завдяки гвинтовому розташуванню лопатей маса перемішується і переміщується в осьовому напрямку, а також передається з верхнього каскаду в нижній. Зважаючи на відсутність вільного простору в змішувачі та спе-

ціальну форму лопатей, змішування відбувається у всьому об'ємі маси. Водночас вона постійно перебуває під тиском, а в змішувачі немає об'єму, у якому були б відсутні напруження зсуву. У другому каскаді відбувається остаточне змішування і пластифікація. Унаслідок цього під час проходження двох каскадів маса ущільнюється із 200–250 кг/м³ до 800–900 кг/м³. З другого каскаду маса надходить у шнек-прес і випресовується через формувальний прес-інструмент.

Поряд із роторними змішувачами у виробництві нітратцелюлозних порохів застосовують змішувачі, перемішувальним пристроєм яких є лопать у вигляді пера, закріпленого на валу, що здійснює одночасно обертальний (25–28 об./хв) і зворотно-поступальний (2 подвійних ходи за хвилину) рухи (рис. 5.22).

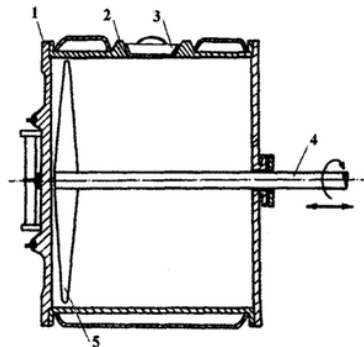


Рисунок 5.22 – Перовий змішувач періодичної дії:

- 1 – передня кришка; 2 – корпус; 3 – завантажувальний люк;
- 4 – вал перової мішалки; 5 – пероподібна лопать

Перовий змішувач (змішувач Шадель-Паж) має горизонтальний циліндричний корпус 2 із завантажувальним люком 3, що закривається герметично, і передньою кришкою 1, що відкривається, яка служить для розвантаження змішувача. Через сальникове ущільнення в задній кришці корпусу проходить вал 4 із встановленою на кінці пероподібною лопаттю 5.

Працює змішувач періодично. У ньому також відсутній вільний простір, лопать може перебувати в будь-якій точці об'єму змішувача, не допускаючи застійних зон. Але якщо в роторних змішувачах маса змішується в умовах значних зсувних деформацій, то в перовому змішувачі вона перемішується практично без них. Унаслідок цього утворюється крихтоподібна розсипна маса.

Такий змішувач має порівняно мале поширення у виробництвах і становить інтерес у зв'язку з тим, що на його базі створено безперервний змішувач (БДЗ), який у поєднанні зі шнек-пресом є основою безперервної технології піроксилінових порохів. У цьому разі масу вигідно отримувати крихтоподібною, тому що вона краще захоплюється витками шнека, які забезпечують стійке пресування. Пристрій безперервного змішувача поданий на рисунку 5.23.

Корпус змішувача складається з трьох окремих циліндричних секцій 7, що утворюються внаслідок його поділу перегородками 10, і вивантажувального бункера 6. Кожна із секцій окремо являє собою перовий змішувач. У торцевих стінках корпусу закріплені підшипники 4, у які встановлений вал 3. Вал ущільнюється сальниковими ущільнювачами 2. У кожній секції на валу закріплено по одному перу 9, встановлених під кутом 120 °С щодо один одного. Вал через стінний сальник 16 проходить у машинне відділення, де він приєднується до привода, що забезпечує йому обертальний і зворотно-поступальний рух. За такого руху перової мішалки маса перемішується і розподіляється в першій секції, у міру заповнення якої надходить через сегментне вікно в перегородці в другу секцію, а потім далі в третю.

Привід змішувача складається з електродвигуна 21, комбінованого редуктора 22 з кривошипно-шатунним механізмом, циліндричної пари шестерень 23.

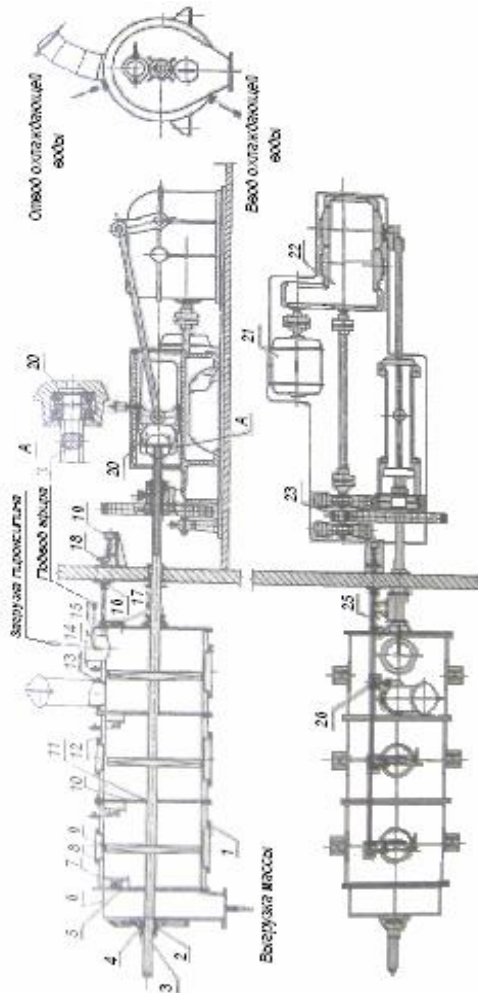


Рисунок 5.23 – Безперервнодійний змішувач: 1 – нижній лоток; 2 – сальникове ущільнення; 3 – вал; 4 – підшипник; 5 – сегментне вікно; 6 – розвантажувальний бункер; 7 – циліндричні секції; 8 – верхній люк; 9 – перо; 10 – перегородки; 11 – бронзові втулки; 12 – сорочка; 13 – кришка; 14 – горловина; 15 – патрубок; 16 – стінний сальник; 17 – натяжна пружина; 18 – кулачок; 19 – вимикач; 20 – повзунок; 21 – електродвигун; 22 – редуктор; 23 – шестерні; 24 – важіль без роликів; 25 – валик; 26 – важіль із роликами

5.3 Розрахунок змішувального устаткування

5.3.1 Розрахунок двороторного змішувача періодичної дії

Продуктивність змішувача (годинна) за масою, що готується, розраховується за формулою

$$G = \frac{60g}{\tau}, \text{ кг/ч}, \quad (5.4)$$

де g – одноразове завантаження змішувача, кг;

τ – тривалість технологічного циклу змішування (повний оберт змішувача), хв.

Завантаження змішувача визначають як

$$g = V_p \rho_{\text{мас.}}, \text{ кг}, \quad (5.5)$$

де V_p – робочий об'єм змішувача, м^3 ;

$\rho_{\text{мас.}}$ – густина маси, що переробляється, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Якщо під час змішування не відбувається істотних фізико-хімічних змін у масі, що готується, то можна вважати, що обсяг маси дорівнює сумі обсягів компонентів, і густину маси розрахувати за формулою

$$\rho_{\text{мас.}} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}}, \text{ кг}/\text{м}^3, \quad (5.6)$$

де x_i – масова частка i -го компонента;

ρ_i – густина i -го компонента.

За наявності таких змін густину маси визначають на підставі досвіду.

Робочий об'єм (займаний обсяг переробляється масою) дорівнює

$$V_p = kV, \text{ м}^3, \quad (5.7)$$

де k – коефіцієнт завантаження змішувача;

V – повний об'єм камери змішувача, м^3 .

Коефіцієнт завантаження змішувача на практиці вважають таким, що дорівнює 0,8–0,9. Повний обсяг камери змішувача є паспортною характеристикою змішувача і наведений у відповідних каталогах.

Тривалість технологічного циклу змішування дорівнює

$$\tau = \tau_3 + \tau_c + \tau_B + \tau_{\text{дод}}, \text{ хв.} \quad (5.8)$$

де τ_3 – час завантаження змішувача; τ_c – час змішування, хв; τ_B – час вивантаження, хв; $\tau_{\text{дод}}$ – додатковий час (на проведення операцій чищення, регулювання вузлів і тощо), якщо він необхідний.

Розміри робочих органів змішувача із Z-подібними лопатями залежить від величини його завантаження. Радіус кола, описуваний вершиною лопатей під час обертання ротора (радіус лопаті), розраховують за емпіричною формулою

$$R = \sqrt[3]{\frac{g}{12,6\rho_{\text{мас}}k_n}}, \quad (5.9)$$

ширина і висота лопатей відповідно дорівнюють

$$b_l = 0,42R; h_l = 0,5R. \quad (5.10)$$

Діаметр валів роторів наближено можна визначити за електричним співвідношенням

$$D = 50 + 0,051q, \text{ мм.} \quad (5.11)$$

Розміри корпусу змішувача із Z-подібними лопатями (рис. 5.24) розраховують із використанням залежностей

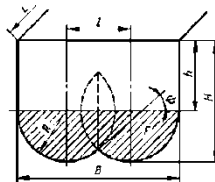


Рисунок 5.24 – Схема корпусу змішувача із Z-подібними лопатями

Відстань між лопатями роторів

$$l = 1,5R.$$

Ширина корпусу

$$B = l + 2R. \quad (5.12)$$

Висота частини корпусу над лопаттю

$$H = 1,35R.$$

Загальна висота корпусу

$$H = h + R = 2,35R.$$

Довжину корпусу змішувача із Z-подібними лопатями можна визначити за формулою

$$L = \frac{g}{\rho_{\text{мас}} k_n F}, \text{ м}, \quad (5.13)$$

де F – площа перерізу камери змішувача (на рис. 5.24 заштрихована).

Для розрахунку цієї площі використовують формулу

$$F = R^2 \left[\pi - 0,5 \left(\frac{\pi\psi}{90^\circ} - \sin 2\psi \right) \right], \text{ м}^2, \quad (5.14)$$

де ψ – кут нахилу дотичної, проведеної до одного з околів перетину циліндричної частини корпусу в точці перетину з іншим колом.

Для зазначеного співвідношення відстані між осями роторів і радіусом лопаті дорівнюють 50° .

Товщину стінок корпусу визначають із міцнісного розрахунку. Водночас необхідно враховувати, що зусилля, що діють на різних ділянках стінок корпусу, розрізняються за характером і величиною.

Для ділянки плоскої середньої частини корпусу і для торцевих стінок товщину визначають за формулою

$$s = 0,05d \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{доп}}}}, \text{ м}, \quad (5.15)$$

де p – робочий тиск у камері змішувача, кгс/см²; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження на вигин (за температури стінки до 250°C $\sigma_{\text{доп}} = \sigma_{\text{в}}/2,9$), кгс/см²; d – діаметр найбільшого кола, яке може бути вписане в розглянуту плоску стінку між її опорами, м.

Нижня циліндрична частина корпусу розраховується на тиск лопаті на стінку корпусу. У цьому разі товщину стінки визначають за формулою

$$s = R_{\text{вн}} \left(\sqrt{\frac{\varphi\sigma_{\text{доп}} + P_{\text{л}}}{\varphi\sigma_{\text{доп}} - P_{\text{л}}}} + 1 \right), \text{ м} \quad (5.16)$$

де $R_{\text{вн}}$ – внутрішній радіус циліндричної частини корпусу, м; φ – коефіцієнт міцності зварного шва; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження

для матеріалу корпусу, кгс/см²; $P_{л}$ – тиск лопаті на стінку корпусу, кгс/см².

Внутрішній радіус циліндричної частини корпусу дорівнює

$$R_{вр} = R + \delta, \quad (5.17)$$

де R – радіус лопаті; δ – проміжок між лопаттю і стінкою корпусу.

Тиск лопаті на стінку корпусу розвивається в зазорі між лопаттю і стінкою. Установлено [28], що в будь-якій точці зазору тиск орієнтовно дорівнює потроєній напрузі зсуву

$$P_{л} = 3\tau_{сдв} = 3\mu_s \frac{d\gamma}{dt}, \quad (5.18)$$

причому можна вважати, що

$$\frac{d\gamma}{dt} \approx \frac{v}{\delta}, \quad (5.19)$$

де v – окружна швидкість вершини лопаті, яку визначають за формулою

$$v = \frac{\pi R}{30} n, \text{ м/с}; \quad (5.20)$$

де n – частота обертання ротора, об./хв.

Коли змішувач забезпечений обігрівальною сорочкою, нижня циліндрична частина його корпусу схильна до зовнішнього тиску з боку теплоносія. У цьому разі товщина стінки корпусу визначається з умови стійкості корпусу. Запас стійкості повинен відповідати умові

$$m = \frac{P_{кр}}{P_{раб}} \leq m_{дон}, \quad (5.21)$$

де $P_{кр}$ – мінімальний критичний тиск, кгс/см²; $P_{раб}$ – робочий тиск у сорочці змішувача, кгс/см²; $m_{дон}$ – допустимий запас стійкості; у цьому разі $m_{дон} = 6,5-7,5$.

Товщина стінки циліндричної частини корпусу визначається на підставі допустимого запасу стійкості за відомою формулою Мізеса [28], яка для цього випадку має вигляд

$$P_{кр} = \frac{\delta}{R_{вн}} \frac{E}{(n^2 - 1) \left[1 + \left(\frac{n\ell}{\pi R_{вн}} \right)^2 \right]^2} + \frac{E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{R_{вн}} \right)^3 \left[(n^2 - 1) + \frac{2n^2 - 1 - \mu}{1 + \left(\frac{n\ell}{\pi R_{вн}} \right)^2} \right], \text{ кгс / см}^2 \quad (5.22)$$

де $P_{кр}$ – критичний тиск, за якого починає деформуватися стінка корпусу, кгс/см²; δ – товщина стінки, см; $R_{вн}$ – внутрішній радіус циліндричної частини корпусу, см; ℓ – відстань між торцевими стінками корпусу, см; E – модуль пружності матеріалу стінки, кгс/см²; μ – коефіцієнт Пуассона для стінки; n – кількість хвиль.

Для визначення $P_{кр}$ за цією формулою необхідно виконати кілька розрахунків, підставляючи послідовно у формулу значення $n = 1, 2, 3$ тощо, поки величина $P_{кр}$ не буде мінімальною.

Частоту обертання ротора можна визначити за формулою

$$n = \frac{45,3}{\sqrt{R}}, \text{ об./хв.} \quad (5.23)$$

Під час розрахунку частоти обертання роторів у змішувачі для приготування порохової маси виходять із того, що окружна швидкість лопаті швидкохідного ротора повинна перебувати в межах $U_6 = 0,3-0,7$ м/с [22]. Зв'язок між частотою обертання і окружною швидкістю виражається залежністю, яку для швидкохідного ротора змішувача можна записати

$$n_6 = \frac{30U_6}{\pi R}. \quad (5.24)$$

Частота обертання тихохідного ротора

$$n_T = \frac{n_6}{i}, \quad (5.25)$$

де i – відношення частот обертання роторів змішувача, що дорівнює, як вказано вище, $i = 1,7-2,0$.

Потужність, що витрачається під час перемішування високов'язких пластичних мас, можна визначити за таких припущень [28]:

- перемішувану масу розглядають як в'язку рідину з постійним коефіцієнтом в'язкості;
- радіус кривизни стінки змішувальної камери великий порівняно із зазором між стінкою і лопаттю;
- ковзання маси на стінці відсутнє;
- процес перебігу маси ізотермічний.

Ці припущення дають можливість якісного аналізу під час визначення витрат потужності. У разі, коли проміжок δ між стінкою і лопаттю постійний, розподіл швидкості течії маси за товщиною зазору визначають рівнянням

$$v = u \left(1 - \frac{y}{\delta} \right),$$

де u – окружна швидкість вершини лопаті; y – поточна координата.

Швидкість v змінюється лінійно від $v = 0$ при $y = \delta$ (на поверхні стінки) до $v = u$ при $y = 0$ (на поверхні лопаті).

На рисунку 5.25 поданий розподіл швидкості течії маси.

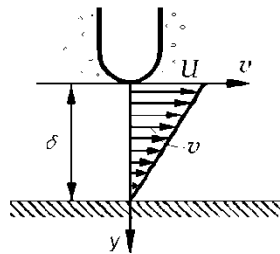


Рисунок 5.25 – Розподіл швидкості течії маси в зазорі між лопаттю і стінкою

У цьому разі напруга зсуву в проміжку відповідно до закону Ньютона

$$\tau_{\text{сдв}} = \mu \frac{dv}{dy} = \mu \frac{u}{\delta}.$$

Потужність, що витрачається на рух лопаті, можна визначити як

$$N = Tu,$$

де T – сила опору руху лопаті.

Сила T виражається як

$$T = \tau_{\text{дов}} S,$$

де S – площа поверхні зсуву.

Виводимо площу поверхні зсуву

$$S = bL,$$

де b – ширина вершини лопаті; L – довжина лопаті, а окружну швидкість u вершини лопаті, зв'язавши з частотою обертання ротора n за допомогою відомої залежності

$$u = 2\pi Rn,$$

одержуємо

$$N = \mu b \frac{L}{\delta} \pi^2 R^2 n^2. \quad (5.26)$$

З огляду на взяті припущення отримана формула дає лише наближене оцінювання витрати потужності.

Існують і інші формули для розрахунку потужності змішувача із Z -подібними лопатями. Наприклад, у роботі [29] потужність, споживану приводом змішувача, пропонують визначати за формулою

$$N_{\text{п}} = \frac{1,24Z\varphi\rho h\omega^2(R^4 - r^4)}{\eta g}, \quad (5.27)$$

де Z – кількість лопатей; φ – коефіцієнт опору руху лопаті; ρ – щільність маси, $\text{кг}/\text{м}^3$; h – висота лопаті, м ; ω – кутова швидкість обертання лопаті, $\text{рад}/\text{с}$; R і r – зовнішній і внутрішній радіуси обертання лопаті, м ; η – ККД привода; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Ця формула враховує втрати потужності на тертя під час передання обертального руху від електродвигуна до ротора через величину η і опір маси через коефіцієнт φ , який визначають також як і для звичайної лопатевої мішалки (див. розділ 3).

5.3.2 Розрахунок валкового змішувача

Продуктивність (годинна) валкового змішувача періодичної дії визначають за формулою

$$G_B = \frac{60g_1\rho\eta}{\tau}, \text{ кг/ч}, \quad (5.28)$$

де g_1 – обсяг одноразового завантаження суміші компонентів, дм^3 ; ρ – щільність суміші, кг/дм^3 ; η – коефіцієнт використання машинного часу ($\eta = 0,8 \div 0,9$); τ – тривалість циклу роботи вальців, хв.

Одноразове завантаження g_1 визначають дослідним методом для кожного виду матеріалу і розміру вальців. Для попередніх розрахунків її можна визначити за емпіричною залежністю

$$g_1 = (0,0065 \div 0,0085)DL, \text{ дм}^3, \quad (5.29)$$

де D – діаметр робочого валка, см; L – довжина робочої частини валка, см.

Годинну продуктивність вальців безперервної дії розраховують за формулою

$$G_e = 60\pi Dnhb\rho\eta, \text{ кг/ч}, \quad (5.30)$$

де n – частота обертання робочого валка, об./хв; h – товщина смуги матеріалу, що виходить із зазору між валками, дм; b – ширина смуги матеріалу, дм.

Середню швидкість виходу матеріалу з безперервної дії вальців розраховують з використанням формули

$$v_M = \frac{G_e}{3600bh\rho}, \text{ м/с}. \quad (5.31)$$

Розпірне зусилля, що визначає конструктивні параметри вальців, виникає між валками внаслідок тиску в масі під час її перероблення. Величину цього зусилля можна визначити за формулою, отриманою на підставі гідродинамічної теорії вальцювання [24]

$$P_p = 2,22\mu_3RL \frac{u_1(1+\Phi)}{2h_k}, \text{ Н}, \quad (5.32)$$

де μ_3 – ефективна в'язкість матеріалу, що перероблюється, $\text{кгс}\cdot\text{с/см}^2$; R – радіус валка, см; L – довжина валка, см; u_1 – окружна

швидкість швидкохідного валка, см/с; Φ – тертя валків; h_k – мінімальний зазор між валками, см.

Окружну швидкість вальців можна виразити через частоту їхнього обертання

$$u_1 = \frac{\pi R n}{30}, \text{ м/с}, \quad (5.33)$$

де n – частота обертання валка об./хв.

Тертя валків визначається як відношення їхніх окружних швидкостей

$$\Phi = \frac{u_2}{u_1}, \quad (5.34)$$

де u_1 и u_2 – окружна швидкість обертання тихохідного і швидкохідного валів відповідно, м/с.

Потужність привода валкового змішувача визначають за рівнянням

$$N = \frac{(M_p + M_{тр})n}{97400\eta}, \text{ кВт}, \quad (5.35)$$

де M_p – момент опору, що виникає від дії розпірного зусилля, кгс · см; $M_{тр}$ – момент опору від тертя в підшипниках, кгс · см; n – швидкість обертання валка, об./хв; η – ККД зубчастих передач.

Момент опору розпірних зусиль можна визначити за рівнянням

$$M_p = 2P_p R \sin \frac{\gamma}{2}, \text{ кг · см}, \quad (5.36)$$

де γ – кут захоплення матеріалу, який визначають із виразу

$$\cos \gamma = 1 - \frac{h_n - h_k}{2R}. \quad (5.37)$$

Момент опору тертю в підшипниках визначають за рівнянням

$$M_{тр} = f(P_p + G)d, \text{ кгс · см}, \quad (5.38)$$

де f – коефіцієнт тертя в підшипниках; G – сила тяжіння валка, кг · с; d – діаметр цапфи валка, см.

6 ПРЕСОВЕ УСТАТКУВАННЯ

Загалом пресове устаткування призначене для обробки матеріалів тиском. У виробництві ВМС його використовують під час формування виробів (напівфабрикатів) з полімерних матеріалів, складається з пресувального агрегата (преса) і формувального інструмента (прес-форми). Прес служить для створення необхідного стисного зусилля, величина якого визначається властивістю пресованого матеріалу і конструкцією формувального інструмента. Зі свого боку, конструкція формувального інструмента залежить від способу пресування і конфігурації виробу.

6.1 Основні способи пресування полімерних матеріалів

Відомі такі способи пресування: **глухе і прохідне (екструзія)**. Глухе пресування, зі свого боку, може бути компресійним (прямим) або литним (трансфертним).

Компресійне пресування переважно застосовують для виготовлення виробів із порошкоподібних реактопластів або гумових сумішей. На рисунку 6.1 наведена принципова схема такого пресування.

У цьому разі матеріал завантажується в матрицю 1 із піддоном 2. Потім у матрицю встановлюється пуансон, через який тиск, що створюється пресом, передається на матеріал. Фіксація заданих розмірів і конфігурації виробів відбувається внаслідок протікання в матеріалі хімічної реакції затвердіння (вулканізації). Після завершення пресування прес-форма розбирається, і виріб виштовхується з матриці. Схема компресійного пресування наведена на рисунку 6.1.

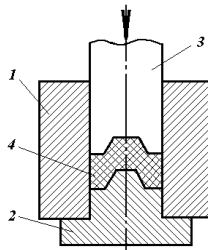


Рисунок 6.1 – Схема компресійного пресування: 1 – матриця;

2 – піддон; 3 – плунжер (пуансон); 4 – виріб

Розрізняють холодне і гаряче компресійне пресування. Під час холодного пресування відбувається просте стискання пресувальної суміші протягом часу, необхідного для надання виробу заданої форми. Водночас спочатку відбувається перерозподіл окремих частинок матеріалу, що призводить їх до більш щільної упаковки. З підвищенням тиску збільшується поверхня контактів частинок унаслідок їхньої крихкої або пластичної деформації. За досить високого тиску може досягатися щільність компактного матеріалу. Після вилучення з прес-форми виріб за необхідності піддають термообробці (спіканню, отвердінню та ін.).

Під час гарячого пресування матеріал завантажують у прес-форму і нагрівають. Унаслідок нагрівання він стає пластичним і добре заповнює всі поглиблення прес-форми, що дозволяє формувати вироби більш складної конфігурації.

Литне пресування застосовують для полімерних матеріалів, які можуть перебувати у в'язкоплинному стані. Такого стану досягають завдяки пластикації (розплавленню) або пластифікації (введенню речовини, що знижує температуру склування) матеріалу. Під час пресування матеріал нагнітають (уприскують) у форму 1 (рис. 6.2) із завантажувальної камери 4 за допомогою плунжера 2 і витримують під тиском за підвищеної температури для затвердіння (для реактопластів) або під час охолодження нижче, ніж температура склування (кристалізації) полімеру (для термопластів), протягом часу, достатнього для збереження набуті конфігурації. Потім форму роз'єднують, і виріб 3 витягують із форми з подальшим видаленням литникового матеріалу, який перебував у литних каналах 5, і матеріалу, який потрапляє в роз'єм форми 6. Під час литного пресування замість плунжерного нагнітання полімерного матеріалу у форму може використовуватися шнекове (черв'ячне) нагнітання.

Схема литного пресування наведена на рисунку 6.2.

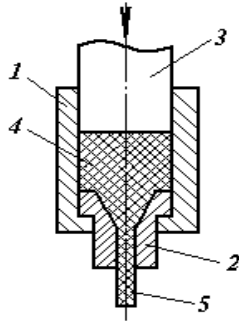


Рисунок 6.2 – Схема литного пресування: 1 – роз’ємна форма; 2 – плунжер; 3 – виріб; 4 – завантажувальна камера; 5 – литні канали; 6 – роз’єм форми

Прохідне пресування полягає у витисненні полімерного матеріалу, що перебуває у в’язкоплинному стані, через канал формувальної матриці. Водночас отримують виріб у вигляді довгомірного профілю з певною конфігурацією поперечного перерізу (круглий, прямокутний, кільцевий тощо) залежно від форми каналу. Схема прохідного пресування наведена на рисунку 6.3.

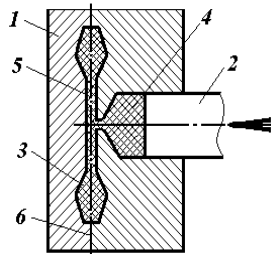


Рисунок 6.3 – Схема прохідного пресування: 1 – виливниця; 2 – матриця; 3 – плунжер; 4 – матеріал, що пресують; 5 – виріб

Прес-форма для прохідного пресування містить виливницю 1, у дні якої встановлена матриця 2. Після завантаження виливниці матеріалом у неї входить плунжер 3, який передає зусилля від преса до матеріалу 4. Унаслідок цього в матеріалі

створюється тиск, під дією якого він витікає через канал формувальної матриці, утворюючи виріб 5.

Особливістю прохідного пресування є те, що ущільнення полімерного матеріалу супроводжується низкою складних фізико-хімічних процесів (пластифікація, орієнтування макромолекулярних ланцюгів тощо).

6.2 Види й облаштування пресового устаткування

Основними представниками пресового устаткування є такі преси: гідравлічний, механічний, шнековий, (черв'ячна машина). Такий поділ пресового устаткування пов'язаний із принципом створення ними робочого зусилля.

У гідравлічному пресі воно створюється завдяки тиску рідини в робочому органі преса – гідравлічному циліндрі; у механічному пресі – унаслідок перетворення обертального руху вала привода на поступальний рух робочого плунжера (пуансона) за допомогою кривошипно-шатунного або кулачкового механізму; у шнековому пресі – завдяки тиску, що виникає безпосередньо в перероблюваному матеріалі внаслідок впливу на нього гвинтовою поверхнею шнека (система «гвинт – гайка», у якій «гайкою» є матеріал).

6.2.1 Гідравлічні преси

Принцип роботи гідравлічного преса заснований на властивості нестискуваності рідини, а також законі Паскаля, згідно з яким зовнішній тиск на рідину передається нею на всі боки рівномірно. У робочому органі преса – гідравлічному циліндрі, цей тиск передається на поршень (плунжер) і від нього на матеріал, що пресується.

Класифікацію гідравлічних пресів здійснюють за кількома ознаками. У напрямку активного зусилля гідравлічні преси підрозділяють на: вертикальні, горизонтальні і кутові. Найбільш поширені вертикальні преси, які, зі свого боку, поділяють на підставі розташування робочого циліндра на преси з верхнім і нижнім його розташуванням. Залежно від конструкції станини преси можуть бути колонні і рамні, від кількості рухливих плит – однополичні і багатополичні (поверхові).

6.2.1.1 Облаштування гідравлічного преса

Принципова схема типового колонного гідравлічного преса наведена на рисунку 6.4.

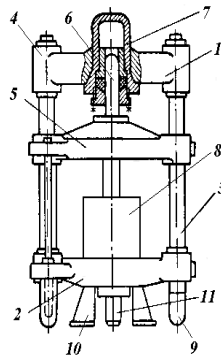


Рисунок 6.4 – Схема типового колонного гідравлічного преса:

- 1 – верхня нерухлива плита; 2 – нижня нерухлива плита;
- 3 – колони; 4 – гайки; 5 – рухлива плита;
- 6 – плунжер робочого циліндра; 7 – робочий циліндр;
- 8 – прес-форма; 9 – підйомні гідроциліндри;
- 10 – опорна станина; 11 – виштовхувальний гідроциліндр

Основними елементами гідравлічного преса є: верхня нерухлива плита 1 і нижня нерухлива плита 2, стягнуті двома або чотирма колонами 3 за допомогою гайок 4; рухлива плита (траверса) 5, яка переміщується по колонах як за напрямними. Рухлива плита з'єднана з плунжером (поршнем) 6 робочого гідроциліндра 7. Між нижньої нерухливою плитою 2 і рухливою плитою 5 розташована прес-форма 8. Для повернення рухливої плити у верхнє положення прес забезпечений гідроциліндрами 9. Виріб із прес-форми після пресування виштовхує гідроциліндром 11.

Під час роботи преса в гідроциліндр 7 за допомогою гідравлічного привода подається робоча рідина, зазвичай, використовують масло або спеціальні емульсії. Під дією тиску робочої рідини плунжер гідроциліндра опускає вниз рухливу плиту, яка передає зусилля на плунжер прес-форми. Після завершення пресування тиск у гідросистемі робочого циліндра скидається, і підйомні гідроциліндри повертають рухливу плиту у верхнє положення. Загальний вигляд колонного гідравлічного преса поданий на рисунку 6.5.

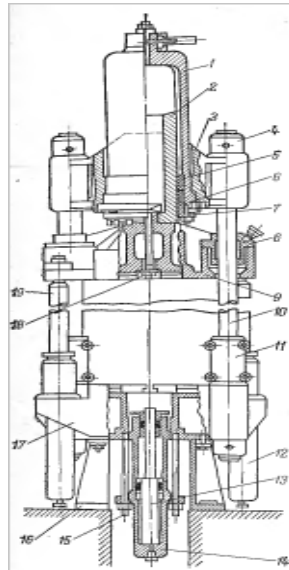


Рисунок 6.5 – Загальний вигляд колонного гідравлічного преса:
 1 – робочий гідроциліндр; 2 – плунжер робочого гідроциліндра;
 3 – верхня нерухлива плита; 4 – гайка; 5 – ущільнювальна манжета;
 6 – напрямна втулка ущільнювача; 7 – фланець;
 8 – напрямна втулка рухливої плити; 9 – рухлива плита;
 10 – колонна; 11 – упори; 12 – підйомні гідроциліндри;
 13 – плунжер виштовхувального гідроциліндра;
 14 – виштовхувальний гідроциліндр; 15 – шпилька для кріплення виштовхувального гідроциліндра;
 16 – станина; 17 – нижня нерухлива плита; 18 – болт;
 19 – шток підйомного гідроциліндра

На цьому рисунку більш детально продемонстрована конструкція гідравлічного преса й окремих його вузлів робочого циліндра 1 з ущільненням, що складається з ущільнювальної манжети 5, втулки 6 и фланця 7; кріплення плунжера 2 до рухомої плити 9 за допомогою болта 18; напрямної втулки 8; виштовхувального гідроциліндра 14 із плунжером 13 і кріпленням цього гідроциліндра до нижньої нерухомої плити 17 за допомогою шпильки 15.

Рамний гідравлічний прес (рис. 6.6) відрізняється від колонного тим, що станина (силовий каркас) утворена двома сталевими рамами 11, між яких встановлена нижня нерухлива плита (стіл) 4 і рухлива плита 7.

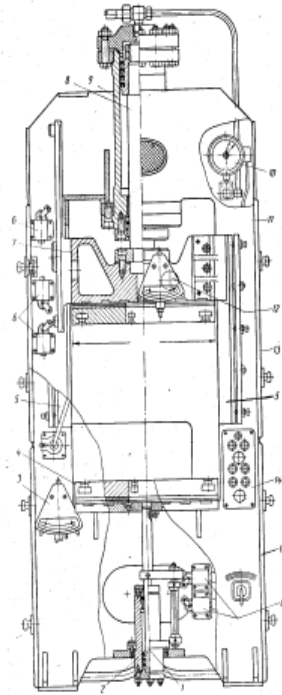


Рисунок 6.6 – Рамний гідравлічний прес:

- 1 – плунжер виштовхувального гідроциліндра;
- 2 – виштовхувальний гідроциліндр; 3, 12 – терморегулятори;
- 4 – нерухлива плита (стіл); 5 – напрямні; 6 – кінцевий вимикач;
- 7 – рухлива плита; 8 – плунжер робочого гідроциліндра;
- 9 – робочий гідроциліндр; 10 – манометр; 11 – рама; 13 – кришка;
- 14 – пульт управління

Він також має робочий (головний) гідроциліндр 9 із плунжером 8, виштовхувальний гідроциліндр 2 із плунжером 1. Із середини вертикальних боків рам закріплені напрямні 5, на яких рухається рухлива плита 7. Боки преса закриті кришками 13.

Прес забезпечений рядом пристроїв і приладів: кінцевими вимикачами 6; манометром 10, терморегуляторами 3 і 12; пультом управління 14.

Багатополичний (поверховий) гідравлічний прес поданий на рисунку 6.7.

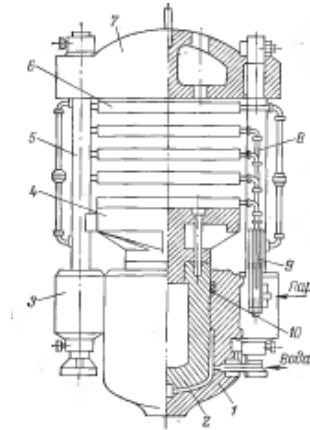


Рисунок 6.7 – Багатополичний (поверховий) гідравлічний прес:
 1 – робочий гідроциліндр; 2 – плунжер робочого гідроциліндра;
 3 – станина; 4 – рухлива плита (траверса); 5 – колона;
 6 – плита з паровим обігрівом; 7 – верхня нерухлива плита (архітрав); 8 – труби паропроводів; 9 – паровий колектор;
 10 – манжети ущільнення

Він призначений для пресування плоских виробів, наприклад, шарових пластиків. Застосовують також у виробництві димного пороху на фазі пресування порохових плит. Поданий на рисунку 6.7 багатополичний прес є колонним із нижнім розташуванням робочого гідроциліндра. Перевагою преса з нижнім розташуванням робочого гідроциліндра є його стійкість (центр ваги розташований досить низько), невеликі габаритні розміри. Особливістю такого преса є відсутність нижньої нерухливої плити і наявність між верхньою нерухливою плитою 7 і рухливою плитою 4 кількох рухливих плит (полиць) 6, що обігріваються паром, яка підводиться від парового колектора 9 із допомогою труб 8 і гнучких шлангів.

Під час роботи багатополічного преса пресований матеріал розміщують на полицях 6 і в робочий циліндр подають рідину спочатку низького тиску, потім після змикання полиць – високого тиску для остаточного пресування. Після завершення пресування скидають тиск у робочому гідроциліндрі, унаслідок цього плунжер 2 разом із закріпленою на ній рухливою плитою 4 під дією їхньої власної ваги опускаються вниз. Водночас полиці 6, опускаючись вниз, розходяться.

Спеціальні гідравлічні преси застосовують у виробництвах нітратцелюлозних порохів (фірми «Бюллер», ВІВ). Гідравлічний прес фірми «Бюллер», поданий на рисунку 6.8, має низку відмінностей від типового гідравлічного преса.

Це двоколонний прес, у якому відсутня рухлива і нижня нерухлива плити, а замість останньої встановлена траверса 28, що повертається навколо колони 23. На траверсі закріплені дві виливниці 27, що містять обтюрвальне кільце 3 і матричну обойму 30. Виливниці можуть по черзі встановлюватися під робочим плунжером 4. На кінцях траверси є замки 1, якими вона закріплюється за колону 2, що забезпечує точне положення виливниці під робочим плунжером 4. Колони 2 і 23 нижніми кінцями вставляються в башмаки 31, закріплені на фундаменті. На верхніх кінцях колон за допомогою гайок 5 встановлений робочий циліндр 14, заплечики якого служать одночасно верхньою рухливою плитою.

Крім робочого гідроциліндра, прес має підйомний гідроциліндр для повернення плунжера робочого гідроциліндра у вихідне верхнє положення, підпресувальний гідроциліндр, призначений для підпресування маси під час завантаження виливниці, і виштовхувальний гідроциліндр 29, який служить для вилучення з виливниці матричної обойми 30. Підйомний гідроциліндр установлений на робочому циліндрі 14 за допомогою кріплення 7 і складається з власне циліндра 12, штока 13, кришки 9, манжетного ущільнення 8, а також має зовнішнє кріплення 10.

Підпресувальний гідроциліндр, крім власного циліндра 19, містить поршень 18, манжетне ущільнення 20, бронзову втулку 22, плунжер виливниці 24. Він кріпиться до колони 23 на кронштейні 16 за допомогою підшипників 17.

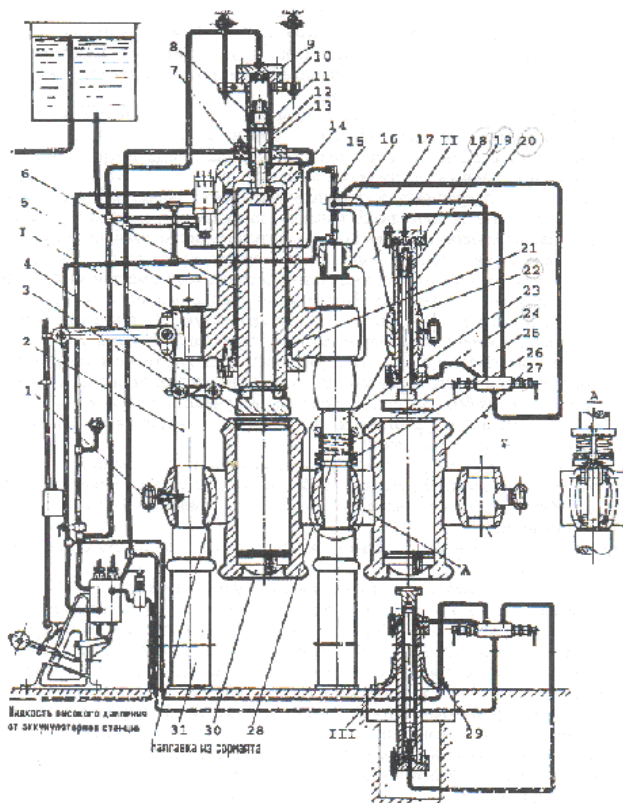


Рисунок 6.8. – Схема гідравлічного преса фірми «Бюллер»:
 1 – замок; 2, 23 – колони; 3 – обтюрвальне кільце виливниці;
 4 – робочий плунжер виливниці; 5 – гайки; 6 – плунжер робочого
 циліндра; 7 – кріплення підйомного циліндра; 8 – манжетне
 ущільнення підйомного циліндра; 9 – кришка підйомного
 циліндра; 10 – зовнішнє кріплення підйомного циліндра;
 11 – поршень: 12 – підйомний циліндр; 13 – шток; 14 – робочий
 циліндр; 15 – шарнір; 16 – кронштейн; 17 – підшипник;
 18 – поршень підпресувального циліндра; 19 – підпресувальний
 циліндр; 20 – шток підпресувального циліндра; 21 – манжетне
 ущільнення робочого циліндра; 22 – бронзова втулка
 підпресувального циліндра; 24 – підпресувальний плунжер
 виливниці; 25 – пружина; 26 – підшипник; 27 – виливниця;
 28 – поворотна траверса; 29 – виштовхувальний гідроциліндр;
 30 – матрична обойма; 31 – башмак

Завантаження виливниці масою здійснюється, коли вона перебуває на завантажувальній позиції (праворуч від колони 23). Після завантаження від'єднується замок 1, від колони 2 і траверса 28 повертається так, щоб завантажена виливниця зайняла положення під плунжером 4 (з приєднанням іншого замка до колони 2). У робочий гідроциліндр від гідропривода подається робоча рідина, плунжер 4 заходить у виливницю і здійснюється пресування. У цей час завантажують другу виливницю і далі цикл повторюється.

6.2.1.2 Основні вузли і комплектувальне обладнання гідравлічного преса

До основних вузлів гідравлічного преса належать такі: станина, рухлива плита, гідравлічні циліндри (робочий, підйомний, виштовхувальний та ін.). Гідравлічний прес комплектують гідроприводом.

Станина преса служить для монтажу та фіксації всіх його елементів. Вона повинна бути досить жорсткою і міцною, щоб забезпечити необхідну точність взаємодії вузлів преса між собою і прес-інструментом. Станина може бути колонною або рамною, зважаючи на тип преса. У першому варіанті колони утворюють силовий каркас із верхньою та нижньою нерухливими плитами або іншими елементами преса, одночасно вони є напрямними рухливої плити. Рамна станина утворює силовий каркас преса завдяки двом сталевим рамам, з'єднаним із нерухливими плитами. Рамні станини мають більшу жорсткість, ніж колони, але обмежують доступ до прес-форми під час її обслуговування.

Рухливу плиту виготовляють литою або звареною із сталі. Вона може бути коробчастого або балочного типу з великою кількістю ребер, що перешкоджають виникненню місцевих напружень.

Гідроциліндри преса вибирають з урахуванням їхнього призначення, тиску рідини й умов роботи. Розрізняють поршневі і плунжерні гідроциліндри. У поршневих гідроциліндрах тиск рідини діє на поршень зі штоком, які здійснюють поступальний

рух. Діаметр поршня більше, ніж діаметр штока. Поршень пов'язаний із внутрішньою поверхнею циліндра за посадковим розміром або через ущільнення (зазвичай поршневыми кільцями). Між штоком і циліндром (або його кришкою, через яку проходить шток) також зазвичай, є ущільнення, яке перешкоджає витіканню рідини з циліндра. Поршневі гідроциліндри можуть бути односторонньої і двосторонньої дії. У першому варіанті рідина подається з одного боку поршня, і він рухається в одному напрямку (повертається завдяки додатковим пристроям), у другому – поперемінно з обох боків поршня, і він здійснює зворотно-поступальний рух.

У плунжерних гідроциліндрах тиск рідини діє на плунжер, який по всій довжині має один діаметр, дещо менший, ніж внутрішній діаметр циліндра, і сполучається лише з ущільненням на краю циліндра (часто в кришці).

Приклади конструкцій поршневого і плунжерного гідроциліндрів наведені на рисунку 6.9.

Гідроциліндр поршневого типу (рис. 6.9 а) складається з корпусу 11, кришки 1, поршня 7 із кришками 5 і штоком 9, втулки 12, ущільнень 6 і 8, ущільнювальної гайки 13. Кришка скріплюється з корпусом за допомогою розрізного кільця 2, що вкладається в паз корпусу й опорної плити 3. Поршень закріплений на штоку гайкою 4. Циліндр з'єднується зі станиною різьбовим кільцем 10.

Гідроциліндр плунжерного типу (рис. 6.9 б) містить циліндр 1, укріплений на станині 3, плунжер 2, ущільнення 4 з натискним фланцем 5. З'єднання плунжера з рухливою плитою здійснюють за допомогою болтів 6.

Ущільнення рухливих з'єднань гідроциліндра служить для запобігання проникненню робочої рідини, що перебуває під тиском, з однієї суміжній порожнини в іншу або в довкілля. Одночасно воно повинно запобігати попаданню в циліндр пилу і піску, абразивна дія яких викликає передчасне зношення його деталей.

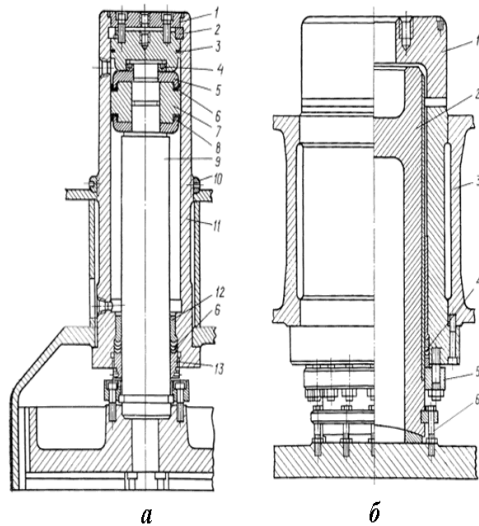


Рисунок 6.9 – Конструкції гідравлічних циліндрів:
 а – поршневого типу (1 – кришка; 2 – розрізне кільце, 3 – опорна п'ята; 4 – гайка; 5 – кришка поршня; 6, 8 – ущільнювальні манжети; 7 – поршень; 9 – шток; 10 – різьбове кільце; 11 – корпус циліндра; 12 – напрямна втулка; 13 – ущільнювальна гайка);
 б – плунжерного типу (1 – циліндр; 2 – плунжер; 3 – станина; 4 – ущільнювальні манжети, 5 – натискний фланець; 6 – болт)

Проміжки між рухливими деталями ущільнюють еластичними кільцями, манжетами, сальниками, поршневими кільцями. Вони перешкоджають проходу рідини завдяки щільному приляганню до поверхні деталей, що сполучаються. З еластичних кілець найбільшого поширення набули О-подібні кільця (рис. 6.10 а).

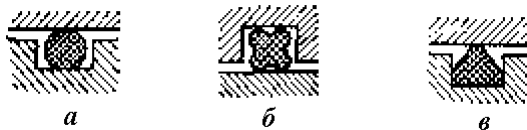


Рисунок 6.10 – Еластичні ущільнювальні кільця:
 а – О-подібні; б – Х-подібні; в – Δ-подібні

Ці кільця дозволяють ущільнювати зазори за двостороннім рухом деталей за тиску робочої рідини до 10 МПа. Їх установлюють у канавки прямокутної форми. Герметичність ущільнення досягається завдяки попередньому (до 10 %) стисненню початкового діаметра перетину кільця під час установлення. Деформуючись під дією тиску, кільце ущільнює проміжок, притискаючись до однієї зі стінок канавки. Якщо тиск починає діяти з іншого боку, кільце переміщується в канавці і притискається до іншої стінки. Поряд з О-подібними кільцями застосовують Х-подібні (рис. 6.10 б), Δ-подібні (рис. 6.10 в) тощо.

Манжетні ущільнення за конструктивними особливостями манжети поділяють на комірні (U-подібні) і напівкомірні (V-подібні, або шевронні). Комірні манжети є самоущільнюваними від робочого тиску. Їх виготовляють із різних сортів гуми, прогумованої тканини, поліамідів, полівінілхлоридних пластиків, а також зі шкіри.

На рисунку 6.11 подана конструкція гумової манжети (усі розміри, позначені літерами, визначають за стандартом).

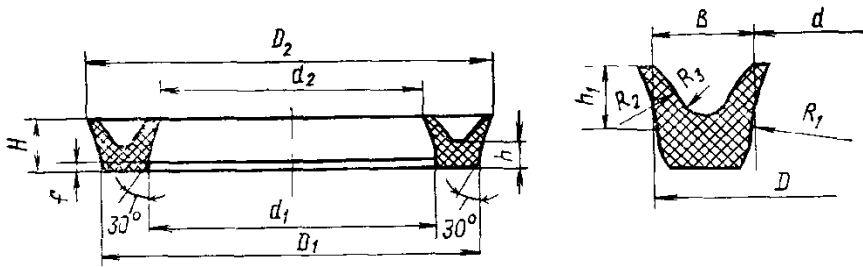


Рисунок 6.11 – Манжета воротникова гума

Такі манжети мають плоску підставку і борти трикутної форми, водночас вершини трикутника (вуса) розведені в різні боки, що забезпечує гарне ущільнення навіть за низького тиску робочої рідини.

Конструкція ущільнення з шевронними манжетами подана на рисунку 6.12.

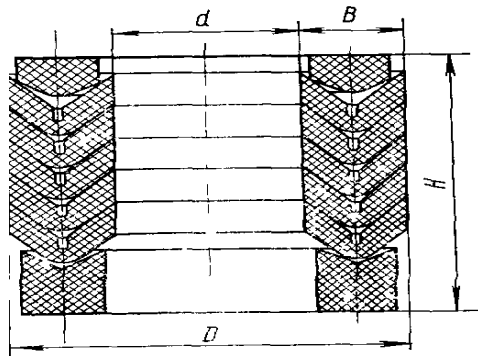


Рисунок 6.12 – Ущільнення з шевронними манжетами

Висота окремо взятого шевронного манжета недостатня для забезпечення герметичності, тому манжети цього типу використовують у вигляді пакета, набраного з декількох манжет (від 3 до 10). Зазвичай шевронні манжети використовують спільно з опорними 2 і натискними 3 кільцями (рис. 6.12), виготовленими з того ж самого матеріалу, що і манжети, або з бронзи чи пластмаси. Шевронні манжети рекомендують на тиск до 50 МПа.

Поршневі кільця (рис. 6.13) зазвичай служать для ущільнення зазору між внутрішньою поверхнею циліндра і поршнем, що здійснює зворотно-поступальні рухи.

Їхнє використання доцільне в тих випадках, коли у зв'язку з великими швидкостями руху і малою витримкою під тиском втрати рідини незначні, а у зв'язку з нагріванням застосування манжет стає небажаним. Поршневі кільця мають прямокутний перетин, вони монтується на поршні, у якому роблять для цього спеціальні канавки. Тиск робочої рідини притискає кільце до бічної поверхні канавки (рис. 6.13) і, розтискаючи кільце, збільшує його зусилля на внутрішню поверхню циліндра. З метою зменшення витоків рідини застосовують поршневі кільця з косим або ступінчастим замком (рис. 6.13 а), іноді застосовують здвоєні (рис. 6.13 б) або строєні (рис. 6.13 в) кільця.

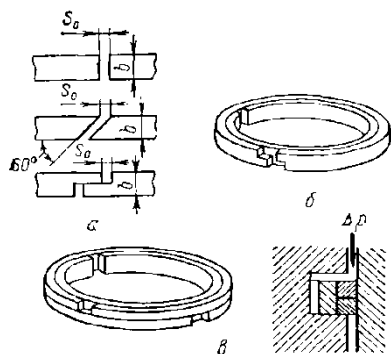


Рисунок 6.13 – Поршневі кільця:

- а – схема стиків (замків) поршневих кілець; б – здвоєне кільце;
в – стросене кільце і схема ущільнення

Поршневі кільця виготовляють із кованої бронзи, перлитного чавуну з високими механічними та антифрикційними показниками і сталі. У деяких випадках застосовують графіт або фторопласт. Бажано підібрати матеріал кілець так, щоб він становив із матеріалом циліндра антифрикційну пару.

Гідропривід служить для подачі рідини і створення тиску в гідроциліндрах пресів. Розрізняють два основних типи гідропривода пресів: груповий (насосно-акумуляторний) і індивідуальний (насосно-акумуляторний або насосний).

Груповим називають такий гідропривод, який забезпечує робочою рідиною велику кількість пресів від централізованої насосно-акумуляторної станції (рис. 6.14).

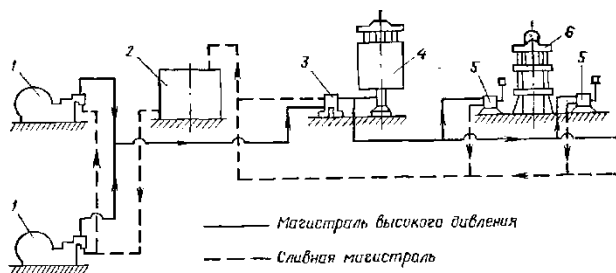


Рисунок 6.14 – Схема групового привода:
1 – насос; 2 – бак робочої рідини; 3 – клапан;
4 – акумулятор; 5 – дистриб'ютор; 6 – прес

Під час роботи привода насос 1 подає робочу рідину з бака 2 через керівні дистриб'ютори 5 до пресів 6 і до акумулятора 4. Під час робочого процесу плунжера гідроциліндра рідина надходить у нього як від насоса, так і з акумулятора. Під час витримки матеріалу під тиском насос нагнітає рідину в акумулятор через клапан 3, створюючи запас робочої рідини для наступного циклу. Запасаючи рідину і за необхідності віддаючи її, акумулятор згладжує пульсації тиску в гідравлічній системі преса.

Розрізняють акумулятори поршневі і безпоршневі. Найбільшого поширення набув поршневий вантажний акумулятор (рис. 6.15).

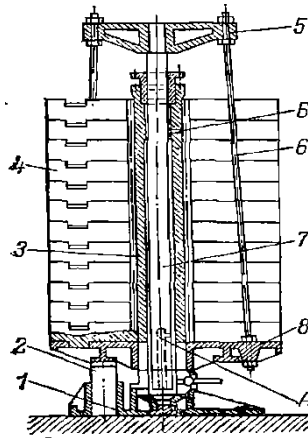


Рисунок 6.15 – Поршневий вантажний акумулятор:
 1 – опорна плита; 2 – упор; 3 – гідроциліндр; 4 – вантажі;
 5 – хрестовина; 6 – тяги; 7 – плунжер; 8 – плита

Вантажний акумулятор являє собою встановлений вертикально сталевий гідроциліндр 3 з плунжером 7, навантаженим чавунними вантажами 4. Циліндр встановлений на опорній плиті 1. На верхню частину плунжера посаджена хрестовина 5, до якої за допомогою тяг 6 підвішена плита 8 із вантажем. Тиск, що передається на плунжер, регулюється кількістю вантажів 4. Під час опускання вантажу в крайнє нижнє положення плита спирається на упори 2. У нижній частині плунжера є канали А, що

припиняють його підйом за допомогою виведення рідини через кільцеве розточення в отвори Б у циліндрі.

Вантажні акумулятори здатні підтримувати практично постійний тиск. Однак вони дуже громіздкі і в разі різкого гальмування викликають гідравлічні удари в трубопроводах.

Зазначені недоліки відсутні в безпоршневих акумуляторах. Вони компактні, під час їхньої роботи не виникають гідравлічні удари, у них немає рухомих частин і, отже, відсутні ущільнення. На рисунку 6.16 як приклад поданий безпоршневий пневмогідравлічний акумулятор.

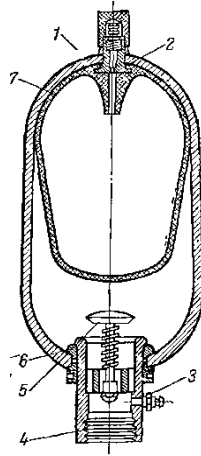


Рисунок 6.16 – Пневмогідравлічний акумулятор:

- 1 – металевий балон; 2 – клапан подачі повітря; 3 – пробка;
- 4 – штуцер; 5 – нагнітальний клапан; 6 – еластична прокладка;
- 7 – гумовий мішок

Такий акумулятор складається з металевого балона 1 із гумовим мішком 7. Акумулятор має два клапана: для подачі повітря 2 і нагнітання робочої рідини 5. Для запобігання підвищенню тиску понад допустимого в нижній частині балона є еластична прокладка 6, яка в разі досягнення максимального тиску вичавлюється із зазору і в такий спосіб оберігає акумулятор від перевантаження. Пробка 3 служить для видалення повітря з гідросистеми.

Під час роботи акумулятор спочатку заповнюють стисненим повітрям. Водночас гумовий мішок розширюється і щільно прилягає до внутрішньої поверхні балона. У міру нагнітання рідини через штуцер 4 повітря в мішку стискається, і обсяг мішка зменшується. Під час падіння тиску в системі повітря в мішку розширюється, витісняючи робочу рідину з акумулятора в гідросистему.

Недоліком безпоршневих акумуляторів є коливання тиску в гідросистемі, що виникають унаслідок зміни ставлення обсягів газової і рідкої фаз. Зазвичай це коливання не перевищує 10 %. У разі більшого падіння тиску використовують компресор для підкачування повітря в систему.

Дистриб'ютори в груповому гідроприводі служать для управління роботою пресів. Вони являють собою розподільні механізми з ручним або автоматичним перемиканням потоків робочої рідини. За конструкцією дистриб'ютори поділяють на кранові, шпindelні і золотникові. Дистриб'ютори з автоматичним перемиканням потоків – це переважно клапанні дистриб'ютори електромагнітної дії.

Індивідуальний гідропривід може бути насосно-акумуляторним або насосним (без акумуляторів). Найбільш поширений індивідуальний насосний гідропривід, до основних переваг якого належать простота конструкції, зручність регулювання тиску, високий ККД. Він складається (рис. 6.17) з бака 10, на якому зазвичай встановлюють два насоси: низького тиску 9 і високого тиску 6.

Цей прес працює так. Робоча рідина від насоса низького тиску 9 надходить до циркуляційного клапана 8, призначеного для захисту цього насоса від потрапляння в нього рідини під високим тиском. У разі підвищення тиску в гідросистемі понад 1,0–1,5 МПа клапан 8 перемикає потік рідини від насоса низького тиску на злив, від'єднуючи його від основної магістралі. Цій меті служить також і зворотний клапан 11. Золотникові розподільники 4 і 5, до яких надходить рідина від насосів високого і низького тисків, керують напрямком руху поршнів робочого гідроциліндра 3 і гідроциліндра виштовхувача 1, установлених,

відповідно, у верхній і нижній траверсах (плитах) преса 2. Для очищення робочої рідини від механічних включень на поворотній магістралі встановлений фільтр 12. Охолостикувач 7 призначений для направлення на злив рідини від насоса високого тиску за умови досягнення в гідросистемі тиску пресування. Кінцевий вимикач 13 служить для управління швидкістю опускання траверси. Його встановлюють у такий спосіб, щоб за 20 мм до змикання прес-форми вимкнути насос низького тиску і різко знизити швидкість змикання преса. Зазвичай швидкість холостого ходу становить 50–120 мм/с, у момент змикання прес-форми – знижується до 2–2,3 мм/с.

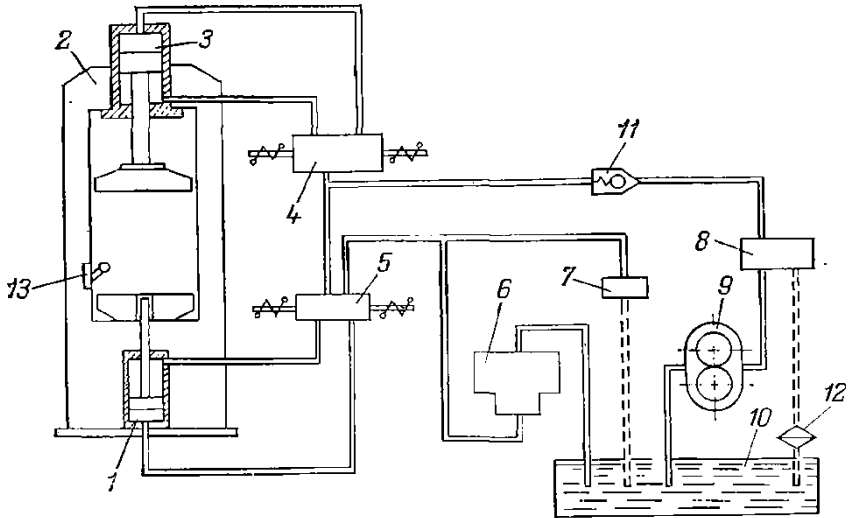


Рисунок 6.17 – Схема гідропреса з індивідуальним гідроприводом:

- 1 – гідроциліндр виштовхувача; 2 – прес;
- 3 – робочий гідроциліндр; 4, 5 – золотникові розподільники;
- 6 – насос високого тиску; 7 – охолостикувач;
- 8 – циркуляційний клапан; 9 – насос низького тиску;
- 10 – бак; 11 – зворотний клапан; 12 – фільтр;
- 13 – кінцевий вимикач

Як насос низького тиску ($P_{\max} \leq 7,0$ МПа) застосовують шестерний, лопатевий, черв'ячно-гвинтовий насоси. Як насоси високого тиску застосовують плунжерні насоси.

Робочою рідиною в гідроприводах є мінеральні масла та їхні суміші. У групових приводах можуть застосовуватися вода або водні емульсії, наприклад, такого складу:

- машинне масло – 42 %;
- рідке мило – 16 %;
- дистилат (конденсат) – 42 %.

До робочої рідини висувають такі вимоги: 1) безпека для людей; 2) пожежна безпека; 3) інертність до використовуваних у системі матеріалів; 4) оптимальна в'язкість і її слабка залежність від температури; 5) мала здатність до поглинання повітря і мала схильність до спінювання; 6) низька стисливість.

6.2.2 Механічні преси

Механічні преси у виробництві високомолекулярних сполук мають порівняно обмежене застосування, переважно для обробування облою і ливників із виробів (див. рис. 6.2), відпресуваних, а також їх використовують як робочий орган пігулкової машини. Залежно від механізму перетворення обертального руху вала привода на поступальну ходу плунжера розрізняють гвинтові, кривошипні і кулачкові механічні преси.

Гвинтові преси використовують найчастіше як лабораторне устаткування. Необхідне зусилля в них створюється завдяки гвинтовій парі, гвинт якої сполучений із рухливою плитою або безпосередньо з пуансоном прес-інструмента.

Робочим органом **кривошипного преса** є кривошипно-шатуновий механізм (рис. 6.18), що містить кривошип (колінчастий вал) 1, шатун 2, повзун (пуансон) 3. Цей механізм перетворює обертальний рух кривошипа на зворотно-поступальний рух повзуна.

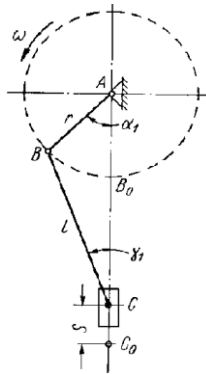


Рисунок 6.18 – Схема кривошипно-шатунного механізму:
1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – повзун

На рисунку 6.19 подана кривошипна пігулкова машина, призначена для формування порошкоподібних і волокнистих термореактивних матеріалів у пігулки правильної геометричної форми.

Машина являє собою автоматичний однопозиційний прес, на станині 1 якого встановлені механізми дозування, пресування, виштовхування і привід. Механізм дозування складається з бункера 13 із завантажувальним ковшем 7, який шарнірно закріплений на вертикальній осі і повертається за допомогою механізму, що складається з кулачка 17, ролика 18, укріпленого на важелі 8, і серезки 6. Тоді, коли ківш набігає на матрицю 4, у неї засипається порція матеріалу для пігулкування, який потім пресується пуансоном 25. Зворотньо-поступальний рух пуансон отримує від колінчастого вала 19 через шатун 10 і повзун 5. Хід пуансона регулюється черв'яком 14, який входить у зачеплення з черв'ячним колесом 12, укріпленим на ексцентриковій втулці. Під час обертання черв'яка ексцентрикова втулка повертається в корпусі шатуна, і відстань від осі ексцентрика 11 до осі пальця 9 повзуна змінюється. Готова пігулка видаляється з матриці виштовхувачем 26. Зворотньо-поступальний рух виштовхувач отримує від механізму, що складається з кулачка 15, у пазу якого розміщений ролик 20, і штанги 21 з вилкою 27. Під час підйому штанги вилка упирається в гайку 3 і піднімає виштовхувач 26.

Хід поршня вниз регулюється гайкою 2 за допомогою гвинтового механізму 28. Переміщення поршня вгору залежить від установки гайки 3, оскільки частину шляху штанга 21 рухається за нерухомого виштовхувача. Колінчастий вал 19 приводиться в обертання від електродвигуна через шків 22 пасової передачі та зубчастих коліс 24 і 16. Для налагодження машини колінчастий вал повертають вручну штурвалом 23.

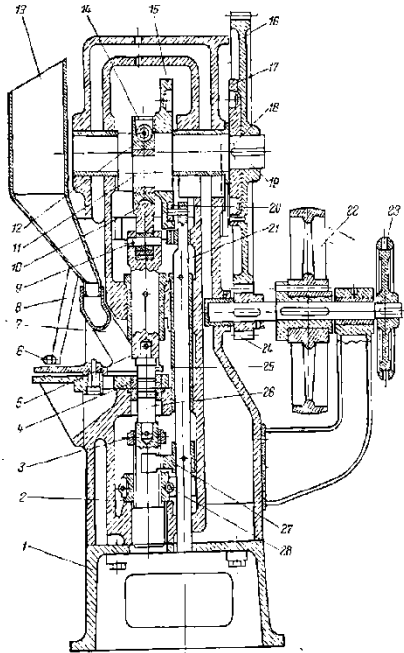


Рисунок 6.19 – Кривошипна пігулкова машина:

- 1 – станина; 2, 3 – гайки; 4 – матриця; 5 – повзун; 6 – сержка;
- 7 – ківш; 8 – важіль; 9 – палець; 10 – шатун; 11 – ексцентрик;
- 12 – черв'ячне колесо; 13 – бункер; 14 – черв'як;
- 15, 17 – кулачок; 16, 24 – зубчасте колесо; 18, 20 – ролик;
- 19 – колінчастий вал; 21 – штанга; 22 – шків; 23 – штурвал;
- 25 – пуансон; 26 – виштовхувач; 27 – вилка;
- 28 – гвинтовий механізм

У кулачковому механічному пресі робочим органом є кулачковий механізм (рис. 6.20).

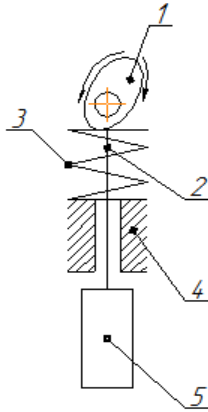


Рисунок 6. 20 Схема кулачкового механізму:

1 – кулачок; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – напрямна; 5 – плунжер

У цьому механізмі зворотно-поступальний рух пуансона 5, пов'язаного зі штоком 2, відбувається внаслідок дії на шток обертюого кулачка 1. Пружина 3 служить для підйому штока.

На рисунку 6.21 продемонстроване конструктивне виконання цього механізму в ротаційній пігулковій машині. Така машина являє собою ротаційний багатопозиційний прес-автомат, у якому всі операції здійснюються за умови безперервного обертання ротора 3. Він переміщує комплекти прес-інструментів, що складаються з матриці, верхнього і нижнього пуансонів, з однієї операції (позиції) на іншу.

Нижній пуансон в положенні виштовхування готової пігулки 1 з матриці 2 поданий на рисунку 6.21 а.

Виштовхування відбувається внаслідок дії профільного кулачка 13 на торцевий ролик 8 пуансона. Для змащення ролика, що обертається навколо осі 11, встановлена маслянка 10 і фетрова прокладка 9. Матриці встановлені в гніздах ротора 3, що розташовані по колу і кріпляться знизу спеціальними пластинами. Бічний ролик 7 призначений для переміщень пуансона за вертикаллю на холостому ході під дією зовнішніх кільцевих кулачків. Кулачок 12 призначений для підтримки і захисту пуансонів від поломок у разі руйнування кулачка 13 або його кріплен-

ня. Малий бічний ролик 6 розташований у вертикальному пазу ротора і не дозволяє пуансону повертатися навколо своєї осі в процесі експлуатації.

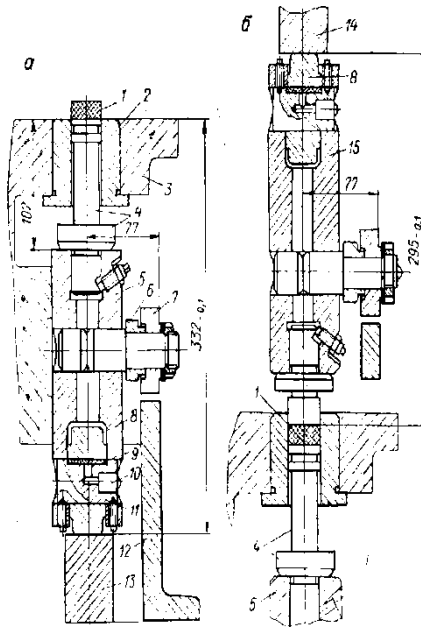


Рисунок 6.21– Пуансон ротаційної пігулкової машини:

- а – у положенні виштовхування пігулки;
- б – у положенні формування пігулки: 1 – пігулка; 2 – матриця;
- 3 – ротор; 4 – формувальна частина пуансона;
- 5 – корпус нижнього пуансона; 6, 7 – бічні ролики;
- 8 – торцеві ролики; 9 – прокладка; 10 – маслянка; 11 – вісь;
- 12–14 – кулачки; 15 – корпус верхнього пуансона

Верхній і нижній пуансон в положенні стиснення (формування) матеріалу в пігулку подані на рисунку 6.21 б. Стиснення відбувається внаслідок впливу кулачка 14 на торцевий ролик 8 верхнього пуансона 15 і аналогічного кулачка – на торцевий ролик нижнього пуансона 5.

6.2.3 Шнекові преси

Шнекові преси (черв'ячні машини) застосовують для безперервного прохідного (профільного) та ливарного пресування. Безперервне прохідне пресування в літературі зазвичай називають екструзією, а такі преси – екструдерами. Їх використовують для отримання плівок, труб (шлангів), листів і профільних виробів із термопластів (рідше реактопластів). За допомогою екструдерів здійснюють також нанесення тонких покриттів на різні підкладки (папір, тканини), нанесення ізоляції на дроти і кабелі. Їх застосовують для дегазації, змішування, пластикації і пластифікації полімерних матеріалів.

6.2.3.1 Облаштування і робота типового шнекового преса (екструдера)

Незалежно від технологічного призначення будь-який екструдер (рис. 6.22) складається з циліндричного корпусу 4, який має канали 5 для подачі холодоагенту (рідина, повітря), електронагрівачів 6 для позонного регулювання температури корпусу, шнека 3, формувальної головки 1, завантажувальної воронки з бункером 7 і привода 8.

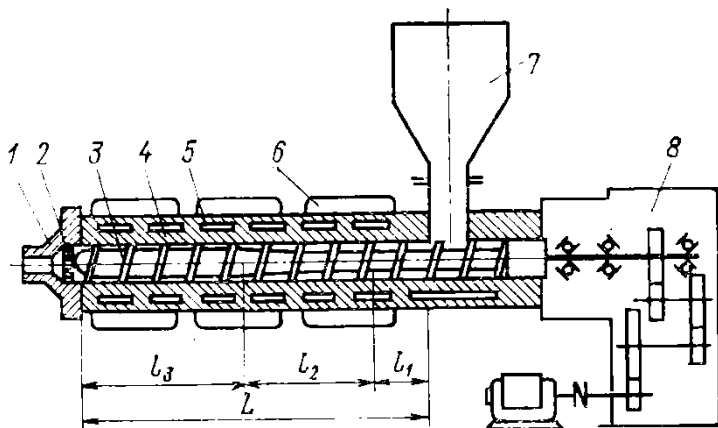


Рисунок 6.22 – Схема шнекового екструдера:

- 1 – формувальна головка; 2 – фільтрувальні ґрати; 3 – шнек;
- 4 – корпус; 5 – канали для холодоагенту; 6 – електронагрівачі;
- 7 – бункер; 8 – привод

Між формувальною головкою і торцем корпусу можна встановлювати решітки (сітки) для запобігання потраплянню у формувальну головку випадкових включень і непроплавленого полімеру, а також для збільшення зсувних деформацій матеріалу, що покращує його гомогенізацію.

Під час роботи шнекового преса термопластичний матеріал, що перероблюється, у вигляді гранул або порошку надходить у завантажувальну воронку і в міру просування вздовж корпусу ущільнюється, переходить у в'язкоплинний стан і видавлюється через формувальну головку. Відповідно до фізичних перетворень, які зазнає матеріал у шнековому пресі, потрібно розрізнити три технологічні зони за довжиною екструдера: завантаження (живлення) l_1 , плавлення (стиснення) l_2 , дозування l_3 .

У зоні завантаження частки матеріалу через завантажувальне вікно вільно перекидаються на гвинтову поверхню шнека і скачуються під дією сили тяжіння за нахилом цієї поверхні. Рушійною силою завантаження преса є сила тяжіння матеріалу, тому стійкість його роботи залежить від сипких властивостей матеріалу.

Обертання шнека призводить до переміщення порції матеріалу, що надійшла, унаслідок чого вона приєднується до матеріалу попередніх порцій. Матеріал заповнює канал шнека і внаслідок тиску, що в ньому розвивається, ущільнюється.

Ущільнені частки вже не можуть вільно зміщуватися (пересипатися) один щодо одного і рухаються в каналі як монолітна маса (пробка). Основною рушійною силою переміщення матеріалу стає різниця між силами тертя в парах «матеріал – корпус» і «матеріал – шнек». Наближене уявлення про механізм руху ущільненого матеріалу можна отримати, порівнявши його з гайкою, нагвинченою на гвинт (шнек). Якщо гайка не стикається ні з чим, крім гвинта, то під час його обертання вона починає обертатися разом із ним. Якщо ж перешкоджати її обертанню, то вона починає переміщуватися уздовж по осі гвинта поступально, ковзаючи по його нарізці. Перешкоду обертанню «гайки – матеріалу» в цьому разі надає контакт із матеріалом поверхні корпусу. Чим більше сила тертя між матеріалом і поверхнею корпусу порівняно і з силою тертя між матеріалом і шнеком, тим більше

продуктивність зони завантаження і більше створюваний його напірний ефект, що сприяє руху матеріалу в наступних зонах. У зв'язку з цим внутрішню поверхню корпусу роблять шорсткою (іноді на неї наносять дрібні поздовжні канавки), а поверхню шнека ретельно полірують. Велике значення тут може мати температурний режим зони завантаження. Температура внутрішньої поверхні корпусу може перевищувати температуру плавлення матеріалу, відповідно між матеріалом і поверхнею корпусу утворюється тонкий шар розплаву, що призведе до різкого зменшення в ньому сили тертя, яка перешкоджає обертальному руху матеріалу і, отже, зменшення продуктивності. Тому зону завантаження часто охолоджують завдяки подачі холодоагенту в канали корпусу. У більшості універсальних екструдерів зона завантаження становить $l_1 = (4\div 6) D$, де D – діаметр шнека.

Із зони завантаження пробка матеріалу, що рухається гвинтовим каналом шнека, потрапляє в зону плавлення. Матеріал у цій зоні переходить у в'язкоплинний стан. Механізм такого переходу можна уявити, припустивши, що шнек нерухомий, а корпус обертається з окружною швидкістю V , а також, що канал шнека розгорнутий на площині (рис. 6.23) [30].

Рисунок 6.23 демонструє, що плоский прямокутний канал накритий плоскою кришкою (робочою поверхнею корпусу 2), зміщується під кутом φ щодо поздовжньої осі каналу Z (тут φ – кут підйому гвинтової нарізки шнека). Твердий матеріал 1 рухається уздовж каналу. Щойно твердий матеріал потрапляє в обігрівальну частину корпусу з температурою вище, ніж температура плавлення матеріалу, розплав прилипає до корпусу 2 і захоплюється ним до штовхальної стінки 3 завдяки поперечній компоненті швидкості корпусу V_x . Плівка розплаву, натрапивши на стінку 3, немов би зшкрябується з поверхні корпусу і накопичується перед стінкою, утворюючи зону розплаву 4, яка також починає переміщуватися уздовж каналу.

У міру просування твердої пробки все більша частка матеріалу переходить у зону розплаву, яка, розширюючись, відтісняє пробку до пасивної стінки каналу. Процес плавлення можна було б вважати закінченим у тому місці каналу, де ширина пробки дорівнює нулю; довжина зони плавлення в цьому разі дорі-

внювала б Zn. Однак реально монолітність пробки 1 не зберігається до кінця її плавлення. Під час досягнення $K = (0,1 \div 0,2) B$, де B – ширина каналу, міцність її стає низькою і пробка руйнується на окремі фрагменти циркуляційною течею, що розвивається в зоні 4 (показано стрілками). Унаслідок цього реальна довжина зони плавлення трохи менша, ніж Z_n . Зазвичай довжина зони плавлення становить $l_2 = (8 \div 12) D$.

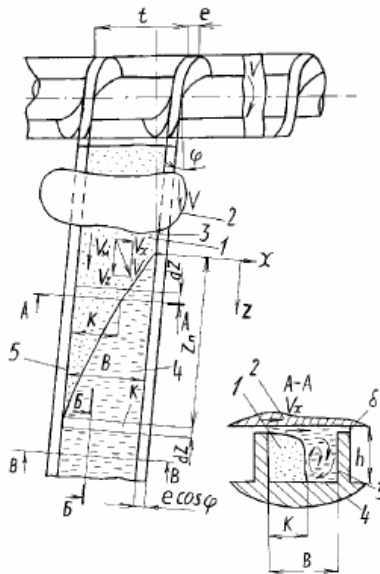


Рисунок 6.23 – Схема руху термопластичного матеріалу в зоні плавлення: 1 – твердий матеріал (пробка); 2 – корпус; 3 – штовхальна стінка нарізки шнека; 4 – зона розплаву; 5 – пасивна стінка каналу

У зоні дозування весь перетин каналу заповнений розплавом (рис. 6.24). Складність кінематики руху в цій зоні пов’язана з тим, що вектор швидкості руху корпусу V не паралельний осі каналу Z . Вид траєкторії кожної матеріальної частинки визначається вектором її швидкості, яку можна уявити як суму двох компонент V_x і V_z , розташованих у площинах поперечного (В-В) і поздовжнього (Б-Б) перетинів каналу.

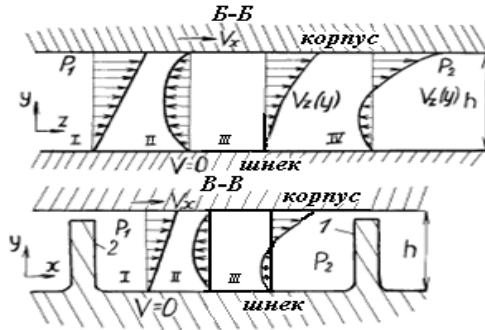


Рисунок 6.24 – Поля швидкостей матеріалу, що перероблюється, у поздовжньому і поперечному перетинах каналу зони дозування (відповідно до перетину Б-Б і V-B на рисунку 6.23)

Унаслідок прилипання розплаву до стінок каналу його швидкість під стінками дорівнює швидкості стінок. Поздовжня швидкість компонента корпусу V_z викликає потік уздовж каналу з епюрою швидкостей I, поданою на рисунку 6.24 (Б-Б).

Цей потік називають вимушеним, тому що, рухаючись, корпус змушує текти розплав у напрямку до виходу з каналу. На виході з каналу зазвичай спостерігається значний тиск, тому вимушений потік спрямований у бік зростання тиску (на рисунку 6.24 тиск P_2 більше, ніж тиск P_1).

Якщо б поверхня корпусу була нерухомою, то в каналі під впливом перепаду тиску $\Delta P = P_2 - P_1$ виник би потік з епюрою швидкостей II. Напрямок цього потоку протилежний вимушеному потоку, тому його зазвичай називають протипотоком, або зворотним потоком. Результируюча епюра швидкостей V_z є сумою епюр I і II (див. на рис. 6.24 поз. III).

Із зростанням ΔP зворотний потік зростає, продуктивність зони дозування зменшується і сумарна епюра $V_z(y)$ може набути вигляду, поданого на позиції IV. У зоні, що прилягає до шнека, з'являється потік, що рухається в напрямку, протилежному виходу з каналу. Під час подальшого зростання ΔP за деякого його значення $\Delta P_{\text{макс}}$ продуктивність зони дозування дорівнює нулю.

У площині xu на рисунку 6.24 (В-В) картина перебігу багато в чому подібна до розглянутої. Поперечна компонента швидкості поверхні корпусу V_x викликає потік з епюрою швидкостей I. Оскільки вихід із каналу в напрямку x практично закритий стінкою 1, то в разі нагнітання до неї розплаву розвивається тиск P_2 , який більше, ніж тиск P_1 , біля пасивної стінки 2. Унаслідок виникнення в поперечному перерізі перепаду тисків $\Delta P = P_2 - P_1$ створюється потік з епюрою швидкостей II. Результуюча епюра швидкостей III в напрямку, поперечному осі каналу V_x (y), знаходиться як сума епюр I і II. Отже, у верхній частині каналу розплав, що захоплюється поверхнею корпусу, натікає на штовхальну стінку 1 і, змінюючи напрямок, стікає уздовж цієї стінки в нижню частину каналу, де утворюється потік у напрямку від стінки 1 до стінки 2. Повернувшись до стінки 2 і піднявшись по ній вгору, розплав втягується корпусом у новий виток циркуляції

Циркуляційний потік розплаву сприяє змішуванню полімеру. Довжина зони дозування для пластикувального екструдера повинна бути достатньою, щоб за час перебування в ній полімеру в ньому встигли завершитися процеси гомогенізації. Ця довжина, зазвичай, становить $l_3 = (4 \div 6) D$.

На відміну від термопластів, гумові суміші, що надходять на переробку в шнековий екструдер, являють собою високов'язкі маси. Під час руху в каналі екструдера принципових змін у їхній властивості не відбувається, і характер руху на всій довжині каналу залишається практично незмінним. Унаслідок прогріву суміші завдяки дисипативним тепловиділенням може зменшуватися її в'язкість, що зменшує тепловиділення. Щоб уникнути цього процесу, рух суміші в каналі організують так, щоб із просуванням зростала інтенсивність її деформування. Домагаються цього, застосовуючи шнеки з монотонно зменшуваною з рухом матеріалу глибиною нарізки або зменшуваним кроком нарізки.

Зовнішній вигляд одношнекового екструдера поданий на рисунку 6.25.

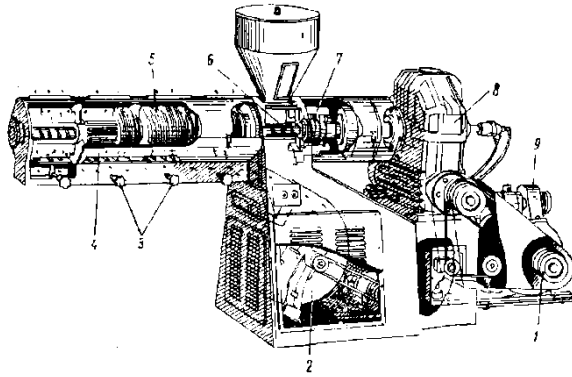


Рисунок 6.25 – Зовнішній вигляд одношнекового екструдера:
 1 – клиноремінна передача; 2 – вентилятор; 3 – вентиля; 4 – електронагрівачі; 5 – кільцеві ребра; 6 – шнек; 7 – наполегливий підшипник; 8 – редуктор; 9 – електродвигун

Екструдер має нагрівальну систему, яка складається з електронагрівачів 4 і розділена за технологічними зонами. На кожній зоні встановлені два різних циліндричних нагрівачі. Для охолодження зон екструдера повітрям встановлений один загальний вентилятор 2, а кількість повітря, що нагнітається до кожної зони, можна регулювати вентилями 3. Для інтенсифікації охолодження корпусу на ньому встановлені кільцеві ребра 5. Шнек 6 має по всій довжині канал для охолодження водою. Осьове зусилля, що виникає під час роботи шнека, сприймається потужним наполегливим підшипником 7. Обертання шнека здійснюється електродвигуном 9 через клиноремінну передачу 1 і редуктор 8.

Головним робочим органом шнекового екструдера є шнек (гвинт, черв'як). Конструкція шнека характеризується такими основними геометричними параметрами (рис. 6.26):

- зовнішнім діаметром D ;
- довжиною робочої частини L ;
- кроком нарізки t ;
- кутом підйому гвинтової лінії φ ;
- глибиною нарізки h ;
- шириною гребеня нарізки e ;
- шириною каналу b ;

- величиною зазору між гребенем нарізки і внутрішньою стінкою корпусу екструдера δ ;
- кількістю заходів нарізки i ;
- величиною геометричної компресії A_{Γ} .

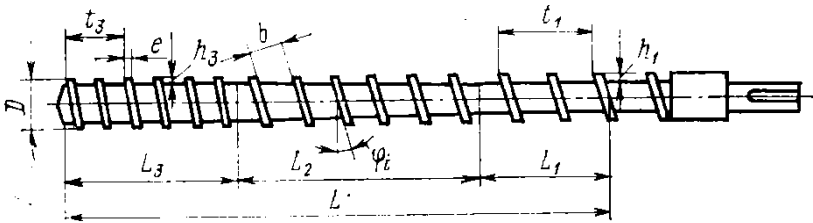


Рисунок 6.26 – Геометричні характеристики шнека

На робочій довжині шнека загалом розрізняють три геометричні зони: завантаження L_1 ; стиснення L_2 ; дозування L_3 . Довжини геометричних зон шнека можуть не збігатися з довжинами технологічних зон екструдера (l_1, l_2, l_3).

Конструкція черв'яка здебільшого передбачає плавне або ступінчасте зменшення обсягів міжвиткового простору від зони завантаження до формувальної головки. Створюється це завдяки зменшенню глибини або кроку нарізки шнека і характеризується величиною геометричної компресії [11]. Для одношнекового екструдера вона визначається

$$A_{\Gamma} = \frac{h_1(t_1 - i_1 e_1) \cos \varphi_3 D_{cp1}}{h_3(t_3 - i_3 e_3) \cos \varphi_1 D_{cp3}},$$

де D_{cp} – середній діаметр нарізки; $\varphi = \arctg(t/\pi D)$ – кут підйому нарізки.

Шнеки одношнекових екструдерів виконують зазвичай із постійним кроком t і змінною глибиною нарізки h . У цьому разі

$$A_{\Gamma} = 0,93 \frac{h_1}{h_3}.$$

Зі змінним кроком t і $h = \text{const}$ роблять шнеки великих діаметрів ($D \geq 160$) для екструдерів із переробки гум. Тоді

$$A_{\Gamma} = \frac{t_1}{t_2}.$$

Під час вибору величини геометричної компресії можна орієнтуватися на такі рекомендації: $A_{\Gamma} = 2,5-4,5$ для термопластів; $A_{\Gamma} = 5-6$ для фторопластів; $A_{\Gamma} = 1,2-1,35$ для гум; $A_{\Gamma} = 0,8-1,1$ для реактопластів.

6.2.3.2 Багатошнекові і спеціальні преси

Сьогодні застосовують багатошнекові преси з двома, трьома і більше шнеками; проте найбільшого поширення набули двошнекові. Вони можуть бути з паралельним і послідовним компонуванням шнеків.

Шнек-преси з паралельним компонуванням шнеків більш поширені, ніж із послідовним. Такі преси дозволяють збільшити продуктивність, ступінь змішування, мають більш високий ККД, переробляють високов'язкі маси з великим вмістом наповнювача.

За характером розташування і напрямку обертання шнеків розрізняють двошнекові машини із зачіплювальними і незачіплювальними шнеками; з однаковим і з різним (зустрічними) напрямком їхнього обертання. Принцип дії пресів із незачіплювальними шнеками заснований на силах внутрішнього тертя матеріалів, а робота пресів зі шнеками, що перебувають у взаємному зачепленні, заснована на примусовому просуванні перероблювального матеріалу до формувальної голівки завдяки вичавлюваному впливу витка сполученого шнека.

Двошнекові преси із зачіплювальними шнеками зазвичай застосовують для змішування і зневоднення; шнеки водночас обертаються в різних напрямках. Продуктивність двошнекових пресів із взаємозачіплювальними шнеками порівняно мало визначається противотиском. Процес пластикації в цих пресах багато в чому залежить від тепла, що передається зовнішніми нагрівачами; витрата енергії на безперервне видавлювання в них значно менше, ніж в одношнекових.

Практично будь-який двошнековий прес (рис. 6.27) складається з корпусу 1, шнеків 2 і 2 а, блока наполегливих підшипників 5 і 5а із фрикційними косозубими шестернями 4 і 4а, редуктора 7,

з'єднаного з провідним шнеком за допомогою ланцюгової передачі 6. Обертаються шнеки за допомогою електродвигуна 8.

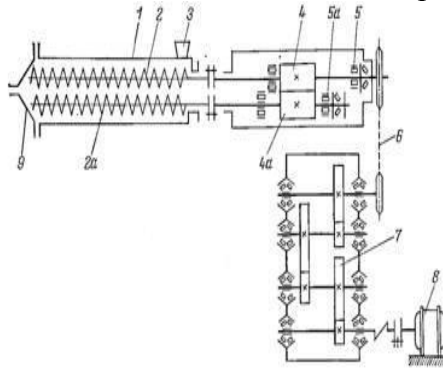


Рисунок 6.27 – Схема двошнекового преса з паралельними шнеками: 1 – корпус; 2, 2 а – шнеки; 3 – завантажувальна воронка; 4, 4а – шестерні; 5, 5 А – наполегливі підшипники; 6 – ланцюгова передача; 7 – редуктор; 8 – електродвигун; 9 – формувальна головка

Під час роботи преса матеріал, що переробляється, надходить у завантажувальну воронку 3. Готовий профіль екструдуюється через формувальну головку 9. Обігрів корпусу може здійснюватися електричними нагрівачами, рідким теплоносієм, перегрітою парою.

Особливість конструкції двошнекового преса пов'язана зі значними осьовими зусиллями, що виникають під час роботи шнеків. Вони сприймаються спеціальними наполегливими підшипниками, діаметри яких обмежуються відстанню між осями шнеків.

Послідовна компоновка шнеків використана в спеціальному шнек-пресі Ш-2В, призначеному для пресування порохової маси в безперервному виробництві піроксилінових порохів. Спроби застосувати наявні типові шнек-преси, що працюють в інших галузях промисловості, у цьому разі не сприяли позитивним результатам. Це пов'язано з особливими властивостями такої маси.

Порохова маса являє собою пластифіковані легким розчинником нітрати целюлози і характеризується дуже жорсткою структурою, а, відповідно, під час перероблення потрібні значні зусилля (плавлення маси неможливе). Її переробка полягає в перемішуванні, переході в пластичний (вискоеластичний) стан і ущільненні. Надходячи в прес, вона має щільність $450\text{--}500\text{ кг/м}^3$, а випресовані порохові шнури – щільність $1\ 200\text{--}1\ 250\text{ кг/м}^3$. Створити одnogвинтовий шнек-прес, що забезпечує ступінь стищення $2,4\text{--}2,7$, не є можливим. Прогрівання маси сприяє збільшенню її пластичності, але нагрівати масу вище ніж $35\text{--}37\text{ }^\circ\text{C}$ не допускають за технікою безпеки, а також це призводить до погіршення якості одержуваних шнурів унаслідок появи в масі бульбашок випаруваного розчинника. Застосовувані у виробництві шнек-преси охолоджуються.

Схема шнек-преса Ш-2В наведена на рисунку 6.28.

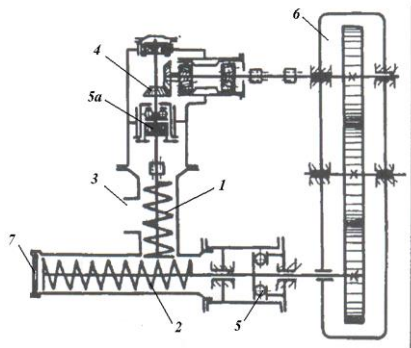


Рисунок 6.28 – Схема шнек-преса Ш-2В: 1 – живильний шнек; 2 – пресовий шнек; 3 – завантажувальна горловина; 4 – кінцева передача; 5, 5 а – напoлегливі підшипники; 6 – редуктор; 7 – матрична обойма

Шнек-прес Ш-2В містить живильний шнек 1 і пресовий шнек 2, установлені в загальному корпусі перпендикулярно один одному. У зоні розташування живильного шнека є завантажувальна горловина 3, а в кінці пресованого шнека закріплена матрична обойма 7, у якій формуються порохові шнури. У середині пресованого шнека є порожнина, у яку подається охоло-

джена вода, корпус шнека також має охолоджувальну сорочку. Це пов'язане з тим, що внаслідок подолання сил тертя порохової маси об шнек і корпус виділяється значна кількість теплоти. Обертання шнеків здійснюється від електродвигуна через редуктор 6, який служить роздавальною коробкою. Вал пресованого шнека безпосередньо пов'язаний із редуктором, вал живильного шнека – через конічну передачу 4.

Осьові зусилля шнеків, що виникають під час пресування маси, сприймаються упорними підшипниками 5.

Зовнішній вигляд шнек-преса поданий на рисунку 6.29.

Живильний і пресовий шнеки преса є однозахідними ($i = 1$), мають однакові зовнішні діаметри і крок нарізки, відповідно, що дорівнюють 180 мм і 85 мм, але різні внутрішні діаметри: живильного – 120 мм, пресового – 140 мм. Унаслідок цього обсяг міжвиткового простору пресового шнека на 25 % менше, ніж аналогічний обсяг живильного шнека, що забезпечує підпір маси в пресовий шнек.

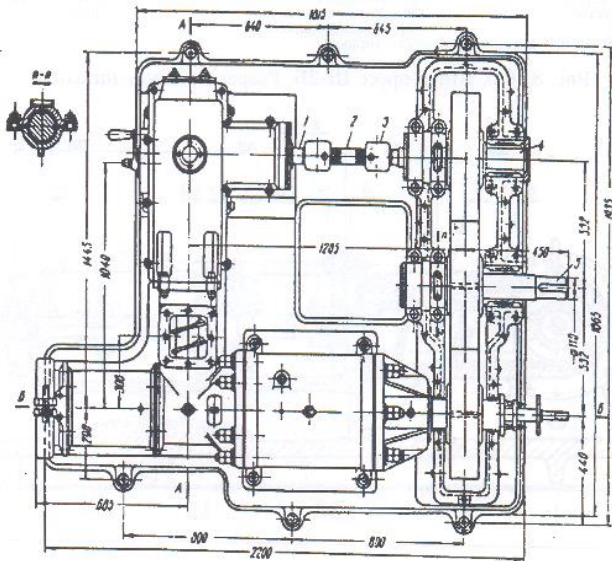


Рисунок 6.29 – Зовнішній вигляд шнек-преса Ш-2В (план):
1 – живильний шнек; 2 – пресовий шнек;

3 – завантажувальна горловина; 4 – вал живильного шнека;
5 – редуктор; 6 – опорна плита

Під час роботи преса тиск у головній частині, пресового шнека досягає 50–80 кг/см². Кількість обертів живильного шнека може змінюватися від 11,7 об./хв до 35,6 об./хв, пресовий – від 8,8 об./хв до 26,8 об./хв.

6.2.4 Безшнекові екструдери

Переробка полімерних матеріалів на шнекових пресах – широко розповсюджений, але не єдиний спосіб безперервного прохідного пресування (екструзії). Відомі плунжерні екструдери з порційною подачею матеріалу з допомогою, наприклад, двох циліндрів із плунжерами і безперервним виходом через формувальну головку. Однак такий екструдер має низьку пластикаційну продуктивність. Цей недолік усувається в дисковому екструдері, конструкція якого подана на рисунку 6.30.

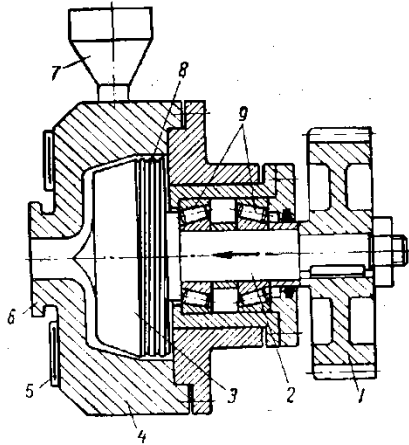


Рисунок 6.30 – Схема конструкції дискового екструдера:

- 1 – зубчасте колесо; 2 – вал; 3 – диск; 4 – корпус;
- 5 – електронагрівачі; 6 – фланець; 7 – бункер;
- 8 – гвинтова нарізка; 9 – підшипник

Робочим органом такого екструдера є диск 3, що обертається на валу 2, встановленому в підшипниках 9. На консолі вала закріплене зубчасте колесо 1, пов'язане з приводом. Між диском і прилеглою до нього частиною корпусу 4 є зазор. Корпус у зоні розташування диска нагрівається за допомогою електронагрівачів 5. Диск також може нагріватися.

Робота дискового екструдера заснована на принципі ефекту нормальних сил, що виникають під час зсуву в'язкопружного розплаву полімерного матеріалу в зазорі між обертовим диском і нерухомим корпусом (ефект Вайсенберга).

Матеріал, що перероблюється, у вигляді порошку або гранул завантажується в бункер 7. Завантажувальний канал під бункером розташований тангенціально до камери, у якій міститься диск. Матеріал через цей канал потрапляє в периферійну зону зазору між диском і корпусом і втягується в круговий рух. Контактуючи з гарячими робочими поверхнями і піддаючись інтенсивному зрушенню (частота обертання диска 200–400 об./хв), матеріал розігрівається і плавиться. Унаслідок прояву розплавом пружних властивостей у ньому виникають нормальні напруження, що діють у радіальному напрямку. Унаслідок цих напружень у матеріалі поряд з окружною виникає і радіальна компонента швидкості, що забезпечує його переміщення до центрального отвору, який є водночас отвором фланця 6, до якого приєднується формувальна головка.

Переваги дискових екструдерів порівняно зі шнековими: вони більш прості за конструкцією, малогабаритні і дешевші за шнекові; якість змішування в них краще, оскільки поле швидкостей зсуву в робочому зазорі (на відміну від поля швидкостей зсуву в каналі шнека) практично однорідне; час перебування розплаву в екструдері набагато менше (не перевищує 10 с), що важливо для нетермостабільних матеріалів.

Недоліком таких екструдерів є значні пульсації продуктивності через нестійку подачу матеріалу в робочий зазор, що певною мірою усувається за наявності на циліндричній ділянці диска гвинтової нарізки 8 (рис. 6.30). Другий недолік – це малі значення максимального тиску, що розвивається на вході у форму-

вальну головку. Він може бути усунений за допомогою зміцнення на диску (співвісно з ним) шнека, який входить у центральний отвір у корпусі. У цьому разі зона живлення диска з гвинтовою нарізкою і зона робочого зазору здійснюють лише транспортування і плавлення матеріалу. Створення тиску, достатнього для проходження розплаву через формувальну головку, у цьому разі здійснюється шнеком.

6.3 Розрахунок пресового устаткування

Зусилля, яке повинно забезпечувати пресове обладнання, визначається необхідним тиском пресування. Цей тиск залежить від способу пресування, конструкції прес-інструмента, властивостей пресованого матеріалу і режимів процесу пресування. Відповідно перед розрахунком преса (або його підбором) попередньо розраховують процес пресування.

6.3.1 Визначення величини тиску пресування

Глухе компресійне пресування. Наприклад, пігулкування порошкоподібного реактопластичного матеріалу характеризується величиною тиску пресування P_p^* , перевищення якого не призводить до подальшого збільшення щільності пігулки. Величина P_p^* визначається дослідним методом, наприклад, для фенопластів вона дорівнює 75–125 МПа, а для стекловолоніта – 250–300 МПа [30]. Зусилля пігулкування вибирається з умови необхідності досягнення в пігулці мінімального значення тиску пресування $P_{\min} = P_p^*$ у найменш міцному шарі таблетки.

В односторонній схемі пресування цей шар розташовується біля нижнього пуансона, а у двосторонній – у середньому (нейтральному) перерізі. Тиск пресування P_p за схемою одностороннього пігулкування визначають за формулою

$$P_p = P_{\min} + (4h_v/d_T)\tau_T, \quad (6.1)$$

де h_T і d_T – висота і діаметр пігулки відповідно; τ_T – питома сила тертя на бічній поверхні пігулки, вона може бути знайдена приблизно із співвідношення

$$\tau_T = (0,25-0,35)P_p.$$

Для схеми двостороннього пігулкування формула (6.1) видозмінюється так:

$$P_{\Pi} = P_{\text{мин}} + (2h_{\tau}/d_{\tau})\tau_{\tau} \quad (6.2)$$

Зусилля пресування під час пігулкування визначають за формулою

$$P = \frac{\pi d_{\tau}^2}{4} P_{\Pi} . \quad (6.3)$$

Литне пресування. Номінальний тиск литного пресування $P_{\text{нл}}$, який забезпечує уприскування матеріалу у форму, дорівнює сумі гідравлічних опорів елементів литної системи (нагрівальний циліндр – сопло, литниковий канал – форма). Загальний перепад тиску визначають так:

$$\Delta P_{\text{общ}} = P_{\text{нл}} - P_{\text{к}} = \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{ф}}, \quad (6.4)$$

де $P_{\text{к}}$ – тиск у кінці порожнини форми (взяті за нуль); $\Delta P_{\text{ц}}$, $\Delta P_{\text{с}}$, $\Delta P_{\text{л}}$, $\Delta P_{\text{ф}}$ – втрати тиску в нагрівальному циліндрі, соплі, литнику і формі відповідно.

Перепад тиску $\Delta P_{\text{ц}} = P_{\text{нл}} - P_{\text{с}}$ пов'язаний із витратами частини зусилля вприскування на подолання сил тертя матеріалу об стінки нагрівального циліндра $\Delta P_{\text{с}} = P_{\text{с}} - P_{\text{л}}$, $\Delta P_{\text{л}} = P_{\text{л}} - P_{\text{ф}}$ і $\Delta P_{\text{ф}} = P_{\text{ф}} - P_{\text{к}}$, відповідають втраті тиску за умови течії розплаву в зазначених елементах.

Механізм уприскування литних машин у більшості конструкцій здатний здійснювати заповнення форми у двох регульованих технологічних режимах: а) постійної швидкості лиття; б) постійного тиску на вході у форму за змінної швидкості її заповнення. Реалізація цих режимів пов'язана з особливостями функціонування гідропривода вприскування. Перший режим використовують під час лиття товстостінних виробів. Якщо опір сопла і литникових каналів руху уприскуваного матеріалу невеликий, то тиск у гідросистемі машини не досягає встановленої величини, і швидкість заповнення враховують з огляду на продуктивність гідронасоса литної машини. Другий режим заповнення форми характерний для лиття тонкостінних виробів. Тут, зважаючи на значний гідравлічний опір литникових каналів і порожнини форми руху матеріалу, тиск у гідросистемі зростає до встановленого значення за час, дуже малий порівняно з часом

протікання процесу заповнення. Постійний тиск у гідроциліндрі не може компенсувати все більшого опору пресуванню матеріалу, і швидкість течії починає спадати.

Втрати тиску $\Delta P_{\text{ц}}$ залежать у кожному конкретному випадку від конструкції механізмів для пластифікації і вприскування литних машин, а також властивостей матеріалу, що переробляється. Точний якісний облік цих втрат ускладнений, тому їхні величини визначають здебільшого експериментально. Можна вважати приблизно, що в разі лиття термопластів їхня сума становить 10–20 %, у разі лиття гумових сумішей – 25–30 % і за лиття реактопластів – до 40 % від $\Delta P_{\text{заг}}$.

Величина $\Delta P_{\text{л}}$, що витрачається на перебіг сильно в'язких середовищ (розплавів термопластів і гумових сумішей) у каналах різної форми в режимі постійної швидкості лиття, може бути розрахована за співвідношеннями, отриманими в гідродинамічному аналізі сталого плинущу розплавів полімерів за умови спільного розгляду рівнянь руху, нерозривності, енергії і реології [30]. Завдання розв'язують також під час введення припущень про відсутність ковзання потоку щодо стінок каналу, впливу гравітаційних і інерційних сил. Унаслідок цього отримане для каналів: круглого прямокутного

$$\Delta P_{\text{л}} = 2Lm_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \left(\frac{3n+1}{\pi n} \cdot \frac{Q_{\text{п}}}{r^{\frac{3n+1}{n}}}\right)^n; \quad (6.5)$$

поперечних перерізів

$$\Delta P_{\text{л}} = 2Lm_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \left(\frac{2(2n+1)}{n} \cdot \frac{Q_{\text{п}}}{Bh^{\frac{2n+1}{n}}}\right)^n,$$

де L – довжина; r – радіус; B – ширина; h – висота каналу; m_0 – коефіцієнт, що залежить від природи середовища; E – енергія активації; n – індекс течії; R – універсальна газова постійна; $Q_{\text{в}}$ – об'ємна витрата розплаву через литник.

Для розплавів реактопластів, рух яких у каналах підкоряється закону пристінного ковзання [30], отримана аналітична залежність для розрахунку $\Delta P_{\text{л}}$ в ізотермічних умовах для каналів круглого і прямокутного поперечного перерізів відповідно

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{л}} &= 2Lk_c Q_p^s / (\pi^s r^{2s+1}), \\ \Delta P_{\text{л}} &= 2(B+h)Lk_c Q_p^s / (Bh)^{s+1},\end{aligned}\quad (6.6)$$

де k_c и s – константи рівняння, які виражають закон пристінного ковзання [30].

Під час визначення перепаду тиску $\Delta P_{\text{ф}}$ проводять спрощені конфігурації виробу. Складні вироби можна замінити еквівалентними виробами, які являють собою послідовно і паралельно з'єднані диски, пластини і циліндри [30].

Величину $\Delta P_{\text{ф}}$ у першому технологічному режимі заповнення ($Q_p = \text{const}$) визначають за формулами (6.5) для термопластів і гумових сумішей, за формулою (6.6) – для реактопластів (у разі заміни $\Delta P_{\text{л}}$ на $\Delta P_{\text{ф}}$). Величина $\Delta P_{\text{ф}}$ у другому технологічному режимі заповнення ($P_{\text{ф}} = \text{const}$) має постійне значення

$$\Delta P_{\text{ф}} = P_{\text{нл}} - \Delta P_{\text{ц}} - \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{л}} = \text{const}, \quad (6.7)$$

де величина $P_{\text{нл}}$ обумовлена гідроприводом литвеві машини.

Прохідне пресування. За такого пресування опір формувального каналу матриці розраховують за формулою

$$\Delta P = \mu_3 \frac{V}{K}, \quad (6.8)$$

де μ_3 – ефективна в'язкість пресованого матеріалу, яку визначають за формулою (5.3), Па · с; V – об'ємна витрата матеріалу через формувальний канал матриці, м³/с; K – коефіцієнт геометричної форми каналу, м³.

Для каналів довільного перетину

$$K = \frac{f^3}{2\ell\Pi^2}; \quad \dot{\gamma} = \frac{2V\Pi}{f^2}, \quad (6.9)$$

де f – площа перетину каналу, м²; ℓ – довжина каналу, м; Π – змочений периметр каналу, м.

Розрахункові вирази K і $\dot{\gamma}$ – для найбільш поширених каналів простої конфігурації наведені в таблиці 6.1.

Зусилля пресування, яке повинен забезпечувати прес, визначають як

$$P = \Delta p \cdot F, \quad (6.10)$$

де F – площа плунжера формувального інструмента, м².

Формувальна головка екструдерів зазвичай має складну конструкцію. Під час розрахунків таку головку розбивають на окремі ділянки простої геометричної форми. За такого підходу загальний опір формує головки

$$\Delta P_r = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (6.11)$$

де ΔP_i – опір каналу на i -й ділянці, Па; n – кількість ділянок.

За наближеним оцінюванням гідравлічного опору формувальної головки можна обмежитися урахуванням ділянок із найбільшим опором.

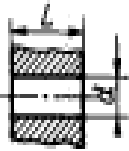
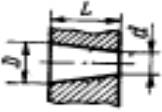
6.3.2 Розрахунок гідравлічного преса

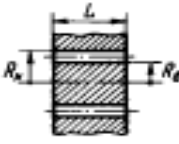
6.3.2.1 Зусилля і швидкість пресування

$$P_n = p_n \frac{\pi D^2}{4}, \quad (6.12)$$

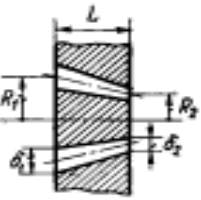
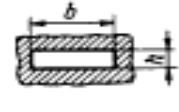
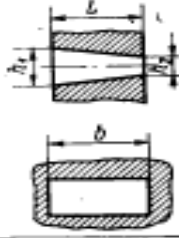
де p_n – номінальний (розрахунковий) тиск робочої рідини в гідравлічній системі преса н/м^2 ; D – діаметр плунжера головного гідроциліндра, м.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнти геометричної форми каналів і швидкостей зсуву [11]

Вид каналу	Розрахункова схема	$K_L, \text{м}^2$	$\dot{\gamma}, \text{с}^{-1}$
Круглий циліндричний		$K_{\text{ц}} = \frac{\pi d^4}{128l}$	$\dot{\gamma}_{\text{ц}} = \frac{32V}{\pi d^3}$
Круглий конічний		$K_k = \frac{3\pi D^3 d^3}{128 \cdot l \cdot (D^2 + Dd + d^2)}$	$\dot{\gamma}_k = \frac{256V}{\pi(D-d)^2}$

Круглий кільцевий		$K_{\text{кол}} = \frac{\pi(R_H + R_B) \cdot (R_H - R_B)}{12l}$	$\dot{Y}_{\text{кол}} = \frac{5,58V}{\pi \cdot (R_H + R_B) \cdot (R_H - R_B)^2}$
-------------------	---	---	--

Продовження таблиці 6.1

Вид каналу	Розрахункова схема	$K_L, \text{м}^2$	$\dot{Y}, \text{с}^{-1}$
Конічний кільцевий		$K_{\text{НК}} = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6lM};$ $M = \frac{(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \times \ln \frac{R_2\delta_1}{R_1\delta_2} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}$	$\dot{Y}_{\text{НК}} = \frac{22,3V}{\pi(R_1 + R_2)} \times \frac{1}{(\delta_1 + \delta_2)^2}$
Щілинний прямокутний		$K_{\text{щ}} = \frac{b^2 h^2}{\delta l(b+h)}$	$\dot{Y}_{\text{щ}} = \frac{5,58V}{bh^2}$
Щілинний клиноподібний		$K_{\text{щк}} = \frac{bh_1^2 h_2^2}{6l(h_1 + h_2)}$	$\dot{Y}_{\text{щк}} = \frac{11,16V}{6(h_1 + h_2)^2}$

Номінальну силу P_n преса визначають за формулою

$$P = p \frac{\pi D^2}{4} \pm G - \sum T - R, \quad (6.13)$$

де p – робочий тиск рідини, Н/м²; G – сила тяжіння рухливих деталей преса (головного плунжера, рухомої плити, пуансона прес-форми), Н; $\sum T$ – втрати на тертя в ущільненнях головного і зворотних циліндрів, Н; R – втрати зусилля внаслідок протитиску зворотних циліндрів, н.

Знак «плюс» у рівнянні (6.13) відповідає верхньому розташуванню головного гідроциліндра, знак «мінус» – нижнього.

Зусилля проти тиску у зворотних гідроциліндрах знаходять за формулою

$$R = p \frac{\pi d^2 n_{\text{ц}}}{4} + T, \quad (6.14)$$

де d – діаметр плунжера у зворотному гідроциліндрі, м; $n_{\text{ц}}$ – кількість зворотних циліндрів; T – втрати на тертя у зворотному гідроциліндрі, Н.

Втрати на тертя в ущільненнях гідроциліндрів залежать від типу і матеріалу ущільнення. Для манжетних ущільнень під час використання шкіряних або гумових манжет втрати на тертя визначають за формулою

$$T = \pi D h p f_m, \quad (6.15)$$

де h – висота зіткнення манжета з плунжером, м; f_m – коефіцієнт тертя матеріалів манжет і плунжера (0,006–0,008 для шкіри і 0,01–0,02 для гуми).

Якщо ущільнення складається з U-подібних манжет із полівінілхлориду, то для визначення втрат на тертя використовують таку формулу:

$$T = \pi D h p f_m (q + p)^{0,6}, \quad (6.16)$$

де f_m – коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,35–0,45; q – контактний тиск від попереднього натягу манжет (вважають таким, що дорівнює 1–2 Мн/м²).

Під час використання сальникових ущільнень втрати на тертя будуть дорівнювати

$$T = \pi D k h_y, \quad (6.17)$$

де h_y – висота набивання ущільнення, м; k – сила тертя, яка впадає на одиницю тертя поверхні набивання.

Величина k залежить від затягування сальника і за тиску робочої рідини до $6,5 \text{ Мн/м}^2$ становить $40\text{--}130 \text{ Кн/м}^2$.

Втрати на тертя для комплекту ущільнювачів поршневих кілець розраховують за формулою

$$T = \pi b D f_k (z p_k + p), \quad (6.18)$$

де b – товщина кільця; f_k – коефіцієнт тертя фрикційної пари «чавун – сталь» ($f_k = 0,15\text{--}0,25$); z – кількість кілець; p_k – тиск від сил пружності кільця ($p_k = 0,1\text{--}0,2 \text{ МПа}$); p – тиск робочої рідини.

Швидкість пресування, яка визначається швидкістю переміщення плунжера робочого гідроциліндра, за сучасних прискорених режимів пресування може змінюватися від 100 мм/с до 250 мм/с (за звичайних режимів із груповим гідроприводом – $40\text{--}70 \text{ мм/с}$). Вона залежить (за робочого ходу) від кількості рідини, що надходить у робочу порожнину циліндра, і від площі плунжера (поршня)

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (6.19)$$

де Q – витрата робочої рідини, $\text{м}^3/\text{с}$.

Задаючись значенням швидкості пресування за допомогою виразу (6.19), можна визначити кількість робочої рідини, що витрачається під час роботи конкретного гідроциліндра.

6.3.2.2 Розрахунок робочого гідроциліндра і колон преса

Рівняння (6.12) дозволяє із зусилля, встановленого під час розрахунку процесу пресування (див. п. 6.3.1), визначити діаметр плунжера, a , відповідно, і діаметр робочого гідроциліндра. Товщину стінки цього циліндра можна розрахувати, розглядаючи його як товстостінну ємність (див. розд. 2), або використовуючи формулу Баха.

$$R_{\text{ц}} = r_{\text{ц}} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{доп}} + 0,4p}{\sigma_{\text{доп}} - 1,3p}}, \quad (6.20)$$

де $R_{\text{ц}}$ – зовнішній радіус циліндра, м ; $r_{\text{ц}}$ – внутрішній радіус циліндра, м ; $\sigma_{\text{доп}}$ – найбільш допустиме напруження розтягування стінки циліндра, Н/м^2 .

Преси для переробки полімерних матеріалів мають чітко фіксований центр докладання зусиль робочого гідроциліндра, що збігається з геометричною віссю преса, тому колони преса схильні тільки до розтягувальних зусиль [31].

Розрахункове зусилля для колон визначають за формулою

$$P_k = K_k \frac{P_H}{n_k}, \quad (6.21)$$

де P_H – номінальне зусилля преса, Н; $K_k = 1,15-1,25$ – коефіцієнт, що враховує попереднє затягування гайок колон (менше значення K_k потрібно брати для тихохідних пресів великого зусилля, більше – для швидкохідних пресів невеликого зусилля); n_k – кількість колон.

Внутрішній діаметр різьби колон дорівнює

$$d_{рез} = \sqrt{\frac{4P_k}{\pi\sigma_{дон}}}. \quad (6.22)$$

Різьбу колон і гайок перевіряють на зріз і зминання за формулами

$$\tau_c = \frac{P_k}{\pi d_{рез} H}, \quad \sigma_{см} = \frac{P_k}{\frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_{рез}^2)z}, \quad (6.23)$$

де H – висота гайки, м; d_0 – зовнішній діаметр гайки, м; z – кількість витків гайки.

6.3.3 Розрахунок шнекового екструдера

Розрахунок одношнекового екструдера заснований на використанні спрощених рівнянь гідродинамічної теорії екструзії полімерних матеріалів.

6.3.3.1 Визначення геометричних параметрів і частоти обертання шнека

Геометричні параметри і частоту обертання шнека вибирають відповідно до заданої продуктивності екструдера. Для цього відповідно до рекомендацій, наведених у таблиці 6.2, для термопластів вибирають швидкість зсуву, яка відповідає матеріалу, що переробляється, і виду виробу.

Таблиця 6.2 – Рекомендації щодо вибору типу шнека r_1/h_3 і швидкості зсуву [11]

Матеріал	Вид	Вид матеріалу, який загрузається	Насипна щільність	Тип черв'яка	Відношення h_1/h_3	Градент швидкості $\dot{\gamma}$, s^{-1}
Поліетилен ПЕ-ВП	Труби	Гранули	500–550	1А, 1Б, 2А	3,50–4,30	50–110
	Профілі, листи	Те саме	500–550	1А, 1Б, 2А	3,50–4,30	100–230
Поліетилен ПЕНП	Покриття	«	500	1А, 1Б, 2А	4,00–4,75	100–240
	Плівки, труби, профілі	«	500	1А, 1Б, 2А	3,50–4,30	50–110
Поліпропілен ПП ПВХ не пластифікований	На вибір	«	500	2А, 2Б,	4,00–4,35	55–110
	На вибір	Порошок	450–550	3Б, 3В 1А	2,70–3,10	15–40
ПВХ пластифікований	На вибір	Те саме	500	3А, 1А	3,35–4,00	90–110
Полістирол	Гранули	Бісер	500–550	1Б, 2В, 4А	4,00–4,35	100–200
	Листи	Гранули	500–600	1Б, 2А	4,00–4,35	50–110
Поліаміди	На вибір	Те саме	600–700	1Б, 2А	4,00–4,35	50–110
Поліакрилати	На вибір	«	600–700	1Б, 3А	3,35–3,70	40–110
Примітка. Таблиця складена щодо типових черв'яків із кроком $t = D$						

За заданою об'ємною продуктивністю V (m^3/c) розраховують відношення $V/\dot{\gamma}$ виду і за номограмою на рисунку 6.31

визначають попередній діаметр шнека. Величину D округлюють до найближчого значення з низки діаметрів нормалізованих шнеків, зазначених у таблиці 6.3.

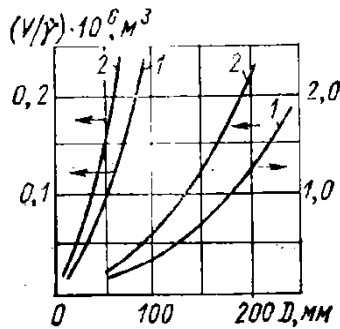
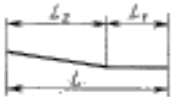
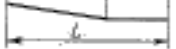


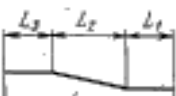
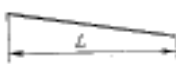


Рисунок 6.31 – Номограма для попереднього визначення діаметра шнека: 1 – тихохідні шнеки; 2 – швидкохідні шнеки

Таблиця 6.3 – Конструктивні параметри типових шнеків [11]

Група черв'яка	Тип черв'яка	Схема вимірювання глибини нарізання	L/D	Loб/D	L1/D	L2/D	L3/D
1	1Б		20(25)	22,5 (27,5)	11(13) 12(14)	9 (12) 8 (11)	—
	1А						
2	2А		20(25)	22,5 (27,5)	10(12) 12(14)	1 1	9 (12) 7 (10)
	2Б						
3	3 А		20(25)	22,5 (27,5)	9(11)	4 (6)	7 (8)
	3 Б					5 (7)	6 (7)
	3 В					6 (8)	5 (6)
4	4А 4Р*		20(25) 3–12	22,5 (27,5)	—	—	—

Примітка. Розмір D вибирають із ряду діаметрів нормалізованих черв'яків: 20, 32, 45, 63, 90, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 450, 500 мм.

* Для переробки резинових сумішей

Розраховують глибину каналу шнека в кінці зони дозування

$$h_3 = 1,82 \left(\frac{V}{\dot{\gamma} D} \right)^{0,5}, \quad (6.24)$$

де D – діаметр шнека, м.

Визначають частоту обертання шнека (с^{-1})

$$n = \frac{\dot{\gamma} h_3}{\pi D}. \quad (6.25)$$

Згідно з розрахованим значенням D і n із таблиці 6.4 вибирають марку типового шнекового екструдера, діапазон частоти обертання шнека і співвідношення L/D (для термопластів 20–25), за яким визначають довжину робочої частини шнека L .

Таблиця 6.4 – Технічні характеристики типових одношнекових пресів

Умовне позначення преса	D , мм	L/D	Частота обертання, хв^{-1}	Потужність привода, кВт	Потужність нагрівачів, кВт	Число зон нагріву	Продуктивність по поліетилену, кг/год
4П20×20 4П20×25	20	20 25	12,5–125 18–180; 26–260	2,2	1,5	3	4 6 9
4П32×20 4П45×25	32	20 25	11–106 14–140; 21–212	6,0	3,6	3	11 15 23
4П45×20 4П45×25	45	20 25	9–90 12–118; 18–180	11 19 19	7,5	4	30 46 80
4П63×20 4П63×25	63	20 25	7,5–78 10–100; 15–150	25 25 32	14 14 19	4	63 90 100
4П90×20 4П90×25	90	20 25	6–63 9–90; 12,5–125	55 55 75	19 19 26	4	95 135 185
4П125×20 4П125×25	12 5	20 25	4–43 6–63; 8,5–85	100	50	6	145 300 350

Продовження таблиці 6.4

Умовне позначення преса	D , мм	L/D	Частота обертання, хв^{-1}	Потужність привода, кВт	Потужність нагрівачів, кВт	Число зон нагіву	Продуктивність по поліетилену, кг/год
4П160×20	16	20	3–34	125			220
4П160×25	0	25	5–50; 7–67	125 160	80	6	335 450
4П200×20	20	20	3–27	200			400
4П200×25	0	25	4–40; 5–53	200 250	120	6	500 800

За таблицю 6.2 вибирають тип шнека і величину відношення h_1/h_3 , на підставі якого розраховують глибину нарізки в зоні завантаження h_1 . Далі визначають інші геометричні параметри шнека, на підставі таких даних:

– крок нарізки шнека

$$t = (0,8-1,2)D;$$

– ширина гребеня нарізки

$$\ell = (0,05-0,12)D;$$

– кут підйому гвинтової лінії

$$\varphi = 17^\circ 40';$$

– кількість заходів нарізки

$$i = 1;$$

– ширину гвинтового каналу

$$b = \frac{t - e}{i \cos \varphi}. \quad (6.26)$$

Величину радіального зазору між гребенями нарізки і корпусом беруть, на підставі з таких рекомендацій:

D , мм	32	45	63	90	125	160	200	250
δ , мм	0,08–0,12	0,1–0,15	0,18–0,22	0,25–0,3	0,25–0,3	0,3–0,38	0,33–0,4	0,42–0,5

Довжини геометричних зон шнека призначають відповідно до рекомендацій таблиці 6.3.

6.3.3.2 Розрахунок продуктивності екструдера

Об'ємну продуктивність одношнекового екструдера визначають за зоною дозування. Водночас матеріал розглядають як ньютонівську рідину з ефективною в'язкістю, взятою за середньої швидкості зсуву і середньої температури в зоні в умовах ламінарної течії. За таких припущень об'ємну продуктивність можна розрахувати за рівнянням

$$V = v_B n - K_p \frac{\Delta P}{\mu_k} + K_3 \frac{\Delta P}{\mu_3}, \quad (6.27)$$

де v_B – обсяг міжвиткового простору за довжиною кроку нарізки m^3 ; K_p , K_3 – коефіцієнти геометричної форми каналу шнека і зазору між гребенями нарізки та корпусом екструдера, m^3 ; μ_k , μ_3 – ефективні в'язкості розплаву в каналі шнека і в зазорі, $Pa \cdot s$; n – частота обертання шнека, s^{-1} ; ΔP – перепад тиску в зоні дозування, який визначається величиною опору формувальної головки, Pa .

За постійної глибини нарізки в зоні дозування значення v_B , K_p , K_3 розраховують за такими формулами:

$$v_B = \frac{\pi D h_3 (t - ie) \cos^2 \varphi}{2} \Phi_B; \quad (6.28)$$

$$K_p = \frac{h_3^3 (t - ie) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L_3} \Phi_p; \quad (6.29)$$

$$K_3 = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi \sin \varphi}{10 e i L_3}, \quad (6.30)$$

де δ – величина радіального зазору між шнеком і корпусом, m ; Φ_B , Φ_p – форм-фактори, що враховують гальмівний вплив бічних стінок нарізки.

Значення форм-факторів можуть бути знайдені з виразів

$$\Phi_B = 0,125 \left(\frac{h}{b} \right)^2 - 0,625 \frac{h}{b} + 1; \quad (6.31)$$

$$\Phi_p = 0,13 \left(\frac{h}{b} \right)^2 - 0,71 \frac{h}{b} + 1. \quad (6,32)$$

Порядок розрахунку шнеків із лінійно змінюваною глибиною каналів у зоні дозування і кроком $t = \text{const}$ наведено в [11].

Значення μ_k і μ_3 визначають із реологічних кривих течії за середньої температури в зоні дозування або розраховують за рівнянням (5.3) за відомих реологічних констант η і n . Для деяких термопластів значення цих констант наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Значення коефіцієнта консистенції η (чисельник) і показника ступеня n (знаменник) для деяких полімерних матеріалів [11]

Матеріал	ПТР, г/10 хв	Температура, °С					
		140	160	180	200	220	240
Поліетилен високої щільності	1,2	$\frac{17000}{0,42}$	$\frac{12150}{0,43}$	$\frac{8930}{0,45}$	$\frac{7600}{0,46}$	$\frac{6600}{0,48}$	$\frac{5800}{0,50}$
Поліетилен низької щільності	0,3	$\frac{41830}{0,34}$	$\frac{32420}{0,35}$	$\frac{23100}{0,37}$	$\frac{15890}{0,40}$	$\frac{13000}{0,40}$	$\frac{11980}{0,40}$
	2,0	$\frac{30640}{0,32}$	$\frac{23750}{0,34}$	$\frac{15290}{0,38}$	$\frac{10230}{0,41}$	$\frac{7800}{0,42}$	$\frac{7120}{0,44}$
Поліпропілен	0,7	–	–	$\frac{42000}{0,17}$	$\frac{18800}{0,27}$	$\frac{8920}{0,35}$	$\frac{6200}{0,375}$
		–	–	$\frac{31500}{0,28}$	$\frac{16500}{0,34}$	$\frac{11000}{0,36}$	$\frac{9000}{0,36}$
Полівінілхлорид пластифікований	–	$\frac{85000}{0,20}$	$\frac{57800}{0,24}$	$\frac{31500}{0,28}$	$\frac{16500}{0,34}$	$\frac{11000}{0,36}$	$\frac{9000}{0,36}$
Полівінілхлорид непластифікований	–	$\frac{113000}{0,38}$	$\frac{101000}{0,4}$	$\frac{88000}{0,41}$	$\frac{73000}{0,41}$	–	–
* Чисельник ** Знаменник							

Швидкість зсуву в каналі шнека визначають за формулою

$$\dot{\gamma}_k = \frac{\pi^2 (D - h_{cp})(D - 2h_{cp})n}{h_{cp} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{cp})^2 + t^2}}; \quad (6,33)$$

у зазорі – за формулою

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta(\pi^2 D^2 + t^2)}, \quad (6.34)$$

де $h_{\text{ср}}$ – середня глибина нарізки в зоні дозування.

Оскільки екструдер складається із двох взаємопов'язаних елементів: нагнітального пристрою (власне преса) і дроселювального пристрою (формувальної головки), то його дійсна продуктивність буде залежати від характеристик обох елементів. Тому для знаходження дійсної продуктивності необхідно спільно розв'язати систему рівнянь, що враховують зовнішні характеристики преса і формувальної головки.

Рішення можна знайти графічно за допомогою побудови поєднаної характеристики преса і головки (рис. 6.32).

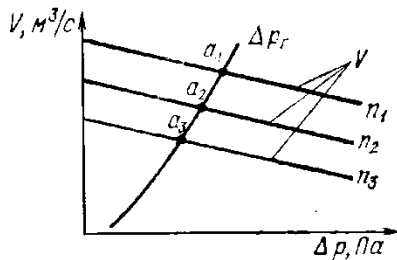


Рисунок 6.32 – Поєднана характеристика шнекового преса і формувальної головки

Характеристику екструдера $V = f(\Delta p, n)$ будують за рівнянням (6.27) для різних значень Δp за умови $n = \text{const}$. Розрахунок ведуть для кількох значень частоти обертання шнека, що лежать у межах їхнього діапазону зміни обраного типового екструдера. Характеристику формувальної головки $V = f(\Delta p)$ будують за рівнянням (6.4) або (6.8). Точки перетину характеристик a_1, a_2, a_3 (див. рис. 6.32) відповідають значенням продуктивності екструдера заданої частоти обертання шнека.

6.3.3.3 Визначення потужності привода екструдера

Корисну потужність, затрачену екструдером на переробку полімерного матеріалу, визначають підсумовуванням витрат потужності на окремих його зонах

$$N_{\text{п}} = N_1 + N_2 + N_3 + N_{\text{г}}, \quad (6.35)$$

де витрати потужності: N_1 – у зоні завантаження; N_2 – у зоні плавлення; N_3 – у зоні дозування; $N_{\text{г}}$ – у формувальній голівці.

Потужність, що витрачається в зоні завантаження N_1 , має незначну величину, і нею можна знехтувати.

Потужність, що витрачається в зоні плавлення N_2 , дорівнює

$$N_2 = N_2' + N_2'', \quad (6.36)$$

де N_2' потужність, що витрачається на тертя і дисипацію енергії між поверхнею пробки твердого (нерозплавленого) матеріалу і внутрішньою поверхнею корпусу; N_2'' – потужність, що витрачається в зазорі δ між корпусом і гребенем нарізки.

Першу складову потужності, що витрачається в зоні плавлення, визначають за формулою

$$N_2' = \mu_3 \Delta w_{np}^2 \frac{t - ie}{2\delta_o \operatorname{tg} \varphi} \ell_2, \quad (6.37)$$

де ℓ_2 – довжина зони плавлення, м; Δw_{np} – швидкість переміщення пробки твердої фази полімеру щодо стінки корпусу, м/с. Цю швидкість розраховують за формулою

$$\Delta w_{np} = \sqrt{(\pi D n - w_{np} \cos \varphi)^2 + (w_{np} \sin \varphi)^2}. \quad (6.38)$$

Швидкість руху пробки вздовж гвинтового каналу визначається з виразу

$$w_{np} = \frac{G}{\rho_{\text{н}} b h_{1\text{ср}}}, \quad (6.39)$$

де $\rho_{\text{н}}$ – насипна щільність матеріалу, кг/м^3 ; G – масова продуктивність екструдера, кг/с ; $h_{1\text{ср}}$ – середнє значення глибини нарізки в зоні завантаження, м.

Величину ефективної в'язкості у формулі (6.37) визначають за середньої температури пристінного шару $T_{cl} = (T_{ц} + T_{nl})/2$ і середнього градієнта швидкості

$$\dot{\gamma} = \frac{\Delta w_{np}}{\delta_o}. \quad (6.40)$$

Товщина пристінного шару розплаву над пробкою матеріалу в міжвитковому просторі

$$\delta_o = \frac{2(t - ie)}{\rho_{\tau} w_{np} \sin \varphi} \Phi. \quad (6.41)$$

Величину параметра теплового балансу Φ (кг/м · с) розраховують за формулою

$$\Phi = \frac{\lambda(t_{ц} - t_{nl})}{c_{\tau}(t_{nl} - t_1) + r_{nl}}, \quad (6.42)$$

де λ – теплопровідність розплаву за середньої температури пристінного шару; c_{τ} – питома теплоємність твердої фази полімеру за середньої температури $T_{cp} = (T_1 + T_{nl})/2$; r_{nl} – удільна теплота плавлення, Дж/кг; $T_{ц}$, T_{nl} , T_1 – відповідно температура стінки корпусу, плавлення та завантажуваного матеріалу.

Другу складову потужності, що витрачається в зоні плавлення (дисиперована в зазорі δ), розраховують за формулою

$$N_2 = \frac{\pi^2 D^2 n^2}{tg \varphi \delta} \mu_3 i e \ell_2. \quad (6.43)$$

Ефективну в'язкість μ_3 в зазорі δ визначають за температури плавлення $T_{пл} \approx T_{ц}$ і швидкості зсуву, яку розраховують за формулою (6.34).

Потужність, що витрачається в зоні дозування, так само має дві складові

$$N_3 = N_3' + N_3'', \quad (6.44)$$

де N_3' – потужність, що витрачається на подолання тертя розплаву в каналі шнека; N_3'' – у зазорі між корпусом і гребенем нарізки шнека.

Величину N_3' визначають за формулою

$$N_3' = I\mu_k n^2 \frac{\pi^3 (t - ie)\ell_3}{t}, \quad (6.45)$$

Коефіцієнт I загалом для шнека зі змінною глибиною нарізки і кроком $t = \text{const}$ визначають із виразу

$$I = \frac{\pi^2 D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{(D + d_3)^3 - (D + d_n)^3}{3(d_3 - d_n)} + \frac{2,3\pi^2 D^5}{(t^2 + \pi^2 D^2)(h_n - h_3)}, \quad (6.46)$$

де h_n і d_n – глибина каналу і діаметр сердечника на початку каналу зони дозування, м; h_3 і d_3 – глибина каналу і діаметр сердечника в кінці каналу зони дозування, м.

Потужність N_3'' , що втрачається в зазорі між корпусом і гребенем нарізки шнека, розраховують за формулою (6.43) за умови підстановки в неї довжини зони дозування ℓ_3 .

У наближених розрахунках можна застосувати довжини технологічних зон екструдера: завантаження ℓ_1 , плавлення ℓ_2 і дозування ℓ_3 , що дорівнюють довжинам, відповідним геометричним зонам шнека: L_1 , L_2 , і L_3 .

Потужність, що витрачається у формувальній голівці, розраховують за формулою

$$N_r = V\Delta P_r. \quad (6.47)$$

Величину ΔP_r визначають за формулами (6.8) і (6.11).

Потужність електродвигуна привода екструдера дорівнює

$$N_{\text{ед}} = N_n / \eta, \quad (6.48)$$

де η – коефіцієнт, що враховує втрати енергії в приводі екструдера й інші невраховані втрати. Його вважають таким, що дорівнює $\eta = 0,7-0,8$.

6.3.3.4 Міцнісний розрахунок шнека

Завданням міцнісного розрахунку в цьому разі є перевірка попередньо заданих розмірів шнека і визначення максимального допустимого прогину. Під час розрахунку вважають, що на шнек діють: крутний момент $M_{\text{кр}}$, осьова сила P і рівномірно розподілене навантаження g від власної сили тяжіння. Осьова сила і навантаження викликають прогин f шнека (рис. 6.33).

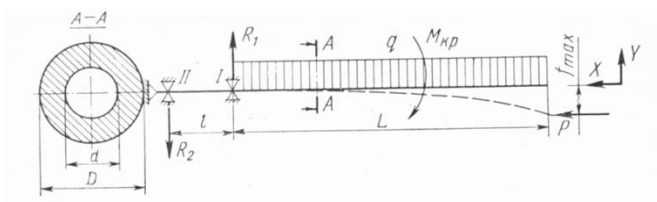


Рисунок 6.33 – Розрахункова схема шнека

Крутний момент і осьова сила визначають відповідно за формулами:

$$M_{кр} = 9550 \frac{N}{n}; \quad (6.49)$$

$$P = Fp \quad (6.50)$$

де N – потужність привода, кВт; n – частота обертання шнека, об./хв; p – тиск матеріалу, що пресується, у передній частині шнека, Н/м²; F – площа поперечного перерізу шнека (перетин А-А) (див. рис. 6.3).

Площу поперечного перерізу шнека розраховують за формулою

$$F = \frac{\pi D^2}{4} (1 - j^2), \quad (6.51)$$

де $j = d/D$ – відношення внутрішнього діаметра (сердечника) шнека до зовнішнього діаметра.

Максимально дотичні напруження в шнеку, що виникають від крутного моменту, дорівнюють

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (6.52)$$

де W_p – полярний момент опору, який визначають як

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - j^4), \text{ м}^3. \quad (6.53)$$

Максимальні напруги від осьової сили і розподіленого навантаження виникають у місці защемлення кінцевої частини шнека (у першого підшипника), їх визначають як

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_{\text{и}}}{W_o}, \quad (6.54)$$

де $M_{\text{и}}$ – максимальний згинальний момент; W_o – момент опору щодо нейтральної осі шнека. Ці моменти визначають відповідно за формулами

$$M_{\text{и}} = \frac{gL^2}{2}; \quad (6.55)$$

$$W_o = \frac{\pi D^3}{32}(1 - j^4), \quad (6.56)$$

де L – довжина шнека, м.

Умова міцності шнека за третьою теорією міцності

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_{\text{дон}}. \quad (6.57)$$

Максимальний прогин шнека від розподіленого навантаження

$$f_{\text{max}} = \frac{gL^4}{8EJ}, \quad (6.58)$$

де E – модуль пружності матеріалу шнека, Н/м²; J – момент інерції поперечного перерізу шнека, що розраховують за формулою

$$J = \frac{\pi D^4}{64}(1 - j^4). \quad (6.59)$$

Отриманий унаслідок розрахунку прогин повинен бути менше за величину зазору між гребенем нарізки шнека і внутрішньою стінкою корпусу.

7 УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ГРАНУЛЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

7.1 Загальне уявлення про процеси гранулювання

Гранулювання означає отримання матеріалів (речовин) у вигляді зерен (з лат. *Granulum* – зернятко). Такий прийом покращує технологічні властивості матеріалів, запобігаючи їхньому злипанню (злежуваності), підвищуючи сипкість. Це полегшує вантаження, транспортування і дозування матеріалів, а, відповідно, дозволяє механізувати й автоматизувати виробничі операції.

У застосуванні щодо порохів, крім зазначених властивостей, гранулювання визначає їхні функціональні характеристики, оскільки вони залежать від розміру і форми порохових гранул. Тому гранулювання є однією з основних операцій технологічного процесу виробництва деяких марок порохів.

Залежно від способу виготовлення гранули можуть мати різноманітну форму: кубічну, циліндричну, еліпсоїдну, кулясту і бути невизначеної форми (крихтоподібні частки).

На практиці застосовують різні способи гранулювання. Використання того чи іншого способу залежить від стану вихідного матеріалу. Найбільшого поширення набули такі способи:

1) для монолітного твердого матеріалу – дроблення (різка) з подальшим відсівом товарної фракції (різні хімічні продукти, зокрема полімерні матеріали);

2) для порошкоподібного (тонкоподрібненого) твердого матеріалу:

– таблетування (пресування таблеток) (лікарські препарати, вибухові речовини, полімерні матеріали);

– пресування плитки з подальшим її дробленням і розсівом на фракції (добрива, наприклад, хлористий калій; димний порох);

– дражжування – зволоження порошку з обкаткою в барабанних або тарілчастих змішувачах (лікарські препарати, вітаміни, цукерки);

3) для пластичного або такого, який перебуває у в'язко-плинному стані матеріалу (пластифікованого), – формування

(пресування) шнурів, прутків (стренг), листів із подальшим їхнім дробленням або різкою на гранули (полімерні матеріали, порох);

4) для матеріалу в рідкому стані (розплаву або розчину) – розпорошення в газове або рідке середовища, де відбувається затвердіння утворюваних крапель (добрива, сірка, порох);

5) для суспензії матеріалу – розпорошення у зважений шар частинок матеріалу (у барабанному апараті, апараті з псевдозрідженим шаром) із відкладенням на поверхню частинок шару суспензії та її сушінням (добрива, димний порох, інші хімічні продукти).

З аналізу наведеного переліку способів гранулювання випливає, що отримання гранул полімерних матеріалів здебільшого пов'язане з їхнім подрібненням (дробленням, різкою).

7.2 Елементи теорії подрібнення і види подрібнювального обладнання

Процес подрібнення полягає в розподілі твердого тіла на частини за допомогою силового впливу. Такий поділ відбувається в тому разі, коли напруга, що виникає в тілі під дією зовнішніх сил, перевищує сили зчеплення частинок (когезійні сили) і тіло розпадається на частини. Якщо розмір цих частин перевищує необхідний, то їх знову піддають подрібненню доти, поки не вийдуть частки необхідного розміру. Основними характеристиками подрібнення є ступінь подрібнення й енергія, що витрачається (потужність).

Ступінь подрібнення визначають як відношення вихідного розміру тіла d_n до кінцевого розміру його частин d_k (за різних їхніх розмірів – до середнього їхнього розміру)

$$i = \frac{d_n}{d_k}. \quad (7.1)$$

Енергію, що витрачається на подрібнення, можна визначати на підставі різних теорій. Найбільшого поширення набули дві теорії: поверхнева (теорія Ріттенгера); об'ємна (теорія Кірпічева – Кіка).

Відповідно до поверхневої теорії, робота, необхідна для подрібнення, пропорційна знову утворюваній поверхні матеріалу, що подрібнюється. Відповідно до схеми, поданої на рисунку 7.1,

площу нової поверхні, що утворюється під час руйнування тіла, можна визначити як

$$S = \sum S_k - S_n = 6d_n^2(i-1), \quad (7.2)$$

де $\sum S_k$ – сума площі поверхні утворених частин тіла; S_n – площа поверхні вихідного тіла.

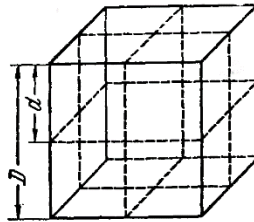


Рисунок 7.1 – Схема розподілу кубічного тіла на частини

Для вираження роботи, яка витрачається під час подрібнення, вважають, що на утворення одиниці площі нової поверхні витрачається постійна робота. Ця робота називається питомою роботою A_y , яку визначають дослідним методом і залежить від властивостей матеріалу, що подрібнюється. Тоді вся робота, що витрачається на подрібнення розглянутого тіла, дорівнюватиме

$$A = A_y S = 6A_y d_n^2(i-1). \quad (7.3)$$

Сутність об'ємної теорії полягає в тому, що під час подрібнення робота витрачається на деформацію тіла, яка досягається в момент його руйнування. Тоді відповідно до теорії пружності витрата енергії на подрібнення за інших рівних умов прямо пропорційна зміні обсягу тіла в разі його деформування

$$A = \frac{\sigma_b^2 \Delta V}{2E}, \quad (7.4)$$

де ΔV – зміна обсягу тіла внаслідок руйнівної деформації; σ_b – межа міцності матеріалу; E – модуль пружності.

Обидві теорії не відображають повною мірою всіх явищ, що відбуваються під час подрібнення. Залежно від способу і ступеня подрібнення можна застосовувати ту чи іншу теорію. Дослідні дані доводять, що об'ємна теорія досить добре узгоджується з дослідними даними за умови великого і середнього

подрібнення, поверхнева – більш відповідає дрібному і тонкому подрібненню.

На основі об'ємної теорії з урахуванням витрат енергії, пов'язаної з її витратами на подолання тертя всередині матеріалу і за його руху по робочих поверхнях подрібнювача, а також на пружну деформацію шматків матеріалу без руйнування була отримана формула для визначення максимальних витрат потужності в (кВт) на подрібнення

$$N_{\max} = 1,39 \cdot 10^{-6} \frac{\sigma_b^2 G}{\eta E \rho} \lg i ,$$

де G – продуктивність подрібнювача; ρ – густина матеріалу, що подрібнюється.

Згідно з об'ємною теорією витрата енергії за умови тонкого подрібнення має бути в 3–4 рази більше, ніж за великого і середнього, а фактично він більше в 15–20 разів. Така розбіжність пояснюється не тільки «зміцненням» частинок зі зменшенням їхнього розміру, але переважно гальмівною дією переподрібненого матеріалу. У машинах великого і середнього подрібнення процес завершується в 1–3 прийоми, а в машинах тонкого подрібнення – у 100–120 прийомів руйнування, водночас готовий продукт залишається тривалий час у зоні подрібнення, гальмуючи процес.

Тому недоцільно в одній камері здійснювати процес із високим ступенем подрібнення. Найбільш економічно його проводити в декількох послідовно встановлених камерах з обов'язковим проміжним відбором фракцій, котрі мають потреби в подрібненні в наступній камері.

Подрібнення твердого матеріалу засноване на декількох принципах його руйнування (рис. 7.2).

Розчавлювання (рис. 7.2 а) – тіло під дією навантаження деформується з усього об'єму, руйнування відбувається, коли внутрішнє напруження перевищить межу міцності стиску. Унаслідок такого руйнування утворюються частинки різного розміру і форми.

Розколювання (рис. 7.2 б) – тіло руйнується під дією клинчастого робочого органу подрібнювача, що створює в тілі місця з концентрацією найбільших навантажень. Цей принцип

дозволяє регулювати розмір одержуваних часток, але їхня форма також непостійна.

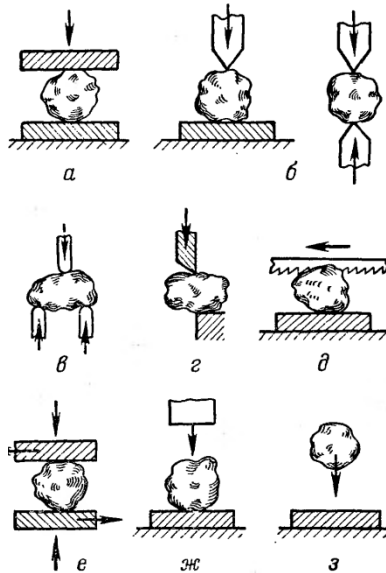


Рисунок 7.2 – Принципи руйнування твердого матеріалу:

А – розчавлювання; б – розколювання; в – розламування; г, д – різані; е – стирання; ж – обмежений удар; з – вільний удар

Розламування (рис. 7.2 в) – тіло руйнується під дією згинального навантаження. Розмір і форма частинок, що утворюються, приблизно така ж сама, як і в разі розколювання.

Різання (рис. 7.2 г) – відділення частини тіла зрізувальною дією. Процес повністю керований (одну дію дають дві частини тіла).

Стирання (рис. 7.2 д) – тіло руйнується під дією стискальних і зсувних зусиль з утворенням частинок (порошкоподібного продукту) нерегульованого розміру.

Удар – тіло руйнується під дією динамічного навантаження. Розрізняють руйнування тіла обмеженим і вільним ударом. За обмеженого удару (рис. 7.2 е) тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача, ефект руйнування залежить від кінетичної енергії робочого органа. За вільного удару (рис. 7.2 ж)

руйнування тіла відбувається внаслідок його зіткнення з робочим органом подрібнювача або з іншим тілом. Ефект руйнування залежить від кінетичної енергії тіла.

Принципи різання і стирання використовують для руйнування пластичних матеріалів, а розчавлювання, розколювання, удару – крихких.

У реальних подрібнювальних машинах зазвичай поєднують кілька принципів. Наявність того чи іншого принципу руйнування твердого матеріалу або комбінація декількох принципів визначає конструкцію робочих органів, а, відповідно, конструкцію подрібнювальної машини.

Подрібнювальне обладнання умовно поділяють на:

- дробарки;
- млини.

Дробарки призначені для великого ($d_n = 1\ 500\text{--}300$ мм; $i = 2\text{--}6$), середнього ($d_n = 300\text{--}100$ мм; $i = 5\text{--}10$) і дрібного ($d_n = 100\text{--}10$ мм; $i = 10\text{--}50$) дроблення. Основні принципи руйнування твердого матеріалу в них – розчавлювання, розламування, розколювання, удар.

Млини призначені для тонкого ($d_n = 10\text{--}2$ мм; $i = 100$) і надтонкого подрібнення. Основні принципи руйнування твердого матеріалу в цьому разі – стирання, розчавлювання, удар. Як приклад на рисунку 7.3. наведені схеми деяких видів дробарок, на рисунку 7.4 – схеми млинів.

Робочим органом щоківих дробарок (рис. 7.3 а) служать дві щоки: нерухома і та, що коливається. Матеріал надходить у простір між щік і в разі їхнього зближення руйнується, за розбіжності висипається через нижню щілину.

У конусних дробарках (рис. 7.3 б) робочим органом є два вхідних один в один конуси, у простір між якими потрапляє подрібнений матеріал. Зовнішній конус нерухомо пов'язаний зі станиною дробарки, а внутрішній – установлений на осі з ексцентриситетом щодо осі зовнішнього конуса. Під час обертання внутрішній конус в одній частині кола наближається до нерухомого конуса, руйнуючи матеріал, а в іншій, протилежній частині кола – видаляється з нерухомого конуса. Подрібнений матеріал водночас висипається через розкрити вихідну щілину.

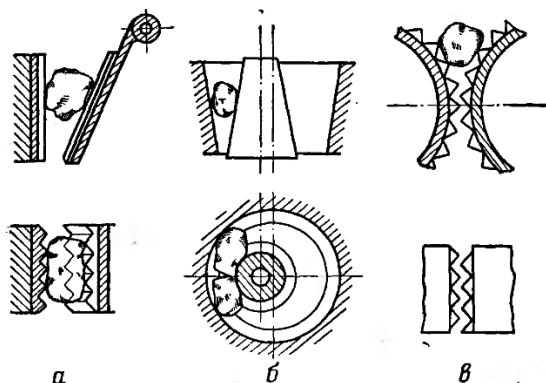


Рисунок 7.3 – Схеми деяких видів дробарок:
 а – щокова; б – конусна; в – зубовалкова

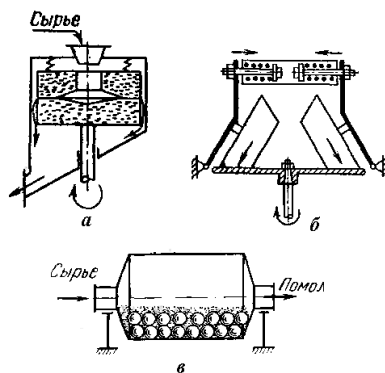


Рисунок 7.4 – Схеми деяких видів млинів: а – жорновий млин;
 б – катково-тарілчастий млин; в – барабанний млин

Робочі органи зубовалкової дробарки – зуби, установлені на валки. У двовалковій дробарці (рис. 7.3 в) матеріал, що має подрібнюватися, потрапляє між зубами валків, які обертаються назустріч один одному, і розколюється. Для подрібнення можуть також використовуватися дробарки з гладкими валками. У цьому разі подрібнення матеріалу відбувається роздавлюванням за однакової частоти обертання валків або роздавлюванням із стиранням, якщо валки мають різні частоти обертання.

Жорновий млин (рис. 7.4 а) має два кола, що називаються жорнами. Одно жорно приводиться в обертання, друге – неру-

хоме. Верхнє жорно своєю вагою притискається до нижнього. Матеріал, який має подрібнюватися, надходить всередину верхнього жорна, потім відцентровими силами, а також за допомогою спеціальних насічок на робочих поверхнях жорен затягується між ними і подрібнюється.

Робочим органом катково-тарілочастого млина (рис. 7.4. б) є таріль, що обертається, і катки, кожен із яких обертається на своїй осі. Катки притискаються до робочої поверхні тареля за допомогою пружинних механізмів. Подрібнювальний матеріал подається на таріль і завдяки відцентровим силам, що виникають під час обертання тареля, надходить під катки, подрібнюється і скидається з тареля.

Барабанний млин (рис. 7.4 в) являє собою барабан, усередині якого містяться змелювальні тіла (кулі, стрижні, диски тощо). Під час обертання барабана змелювальні тіла завдяки тертю між ними, а також із внутрішньою стінкою барабана піднімаються на деяку висоту, потім починають падати або скочуватися вниз. Якщо в барабані міститься матеріал, який підлягає подрібненню, то змелювальні тіла (ударом під час падіння, роздавлюванням і стиранням у разі скачування) його подрібнюють.

З огляду на те, що найбільш поширений розмір гранул полімерних матеріалів дорівнює 0,2–10 мм, для їхнього гранулювання використовують дробарки дрібного дроблення. Дробарки великого і середнього дроблення можна застосовувати для попереднього дроблення, млини тонкого подрібнення застосовують для подрібнення твердих компонентів, що входять до складу полімерних матеріалів (барвники, пігменти, наповнювачі).

7.3 Способи гранулювання полімерних матеріалів. Облаштування грануляційних агрегатів

Гранулювання полімерних матеріалів використовують у двох випадках: під час отримання полімеру як завершальна фаза технологічного процесу, з метою надання йому товарної форми (первинне гранулювання) і під час перероблення відходів полімерних матеріалів, зокрема перероблення утилізованих виробів із полімерних матеріалів (вторинне гранулювання).

7.3.1 Способи та обладнання первинного гранулювання полімерів

Під час первинного гранулювання полімерів, наприклад, поліетилену низької щільності, грануляційний комплекс встановлюють в одну лінію з реакторами для полімеризації етилену або безпосередньо під змішувачами, у яких готують композиції на основі поліетилену. Живлення таких грануляторів здійснюють вже готовим розплавом. Це призводить до зміни конструкції екструдера, що подає розплав у гранулятор, оскільки відпадає необхідність у захопленні і транспортуванні твердого полімеру, його плавленні.

Гранулювання можна здійснювати одним із таких способів:

- різка на решітці у водному середовищі;
- різка на решітці з повітряним охолодженням гранул;
- різка (дроблення) охолоджених прутків (стренговий спосіб);
- різка листового матеріалу (охолодження смуг).

Грануляційний комплекс першого типу для гранулювання поліетилену низької щільності поданий на рисунку 7.5.

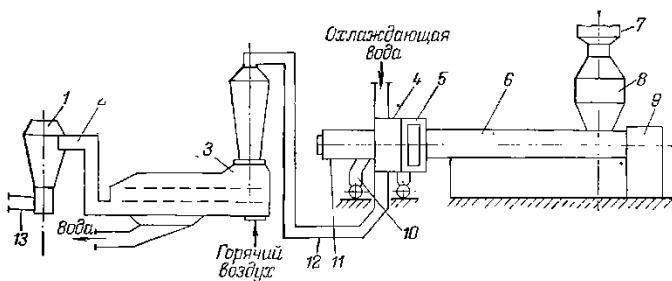


Рисунок 7.5. – Схема грануляційного комплексу для первинного гранулювання поліетилену: 1 – циклон; 2 – пневмотранспорт; 3 – вібросито; 4 – ножова головка; 5 – гранулятор; 6 – екструдер; 7 – відділення низького тиску виробництва поліетилену; 8 – приймальна воронка; 9 – привід шнека; 10 – рухома каретка; 11 – привід ножової головки; 12 – трубопровід

Комплекс складається з екструдера 6; приймальної воронки 8, з'єднаної безпосередньо з відділенням низького тиску 7; регульованого привода шнека 9; гранульованої головки з фільтром стаціонарного (сітчастого або шибєрного) типу 5; різального пристрою, що складається зазвичай із ножової головки 4, встановленої на рухомій каретці 10, та регульованого привода вала ножової головки 11. До комплексу також входять: герметична водяна камера, де відбувається різка гранул, та система трубопроводів 12, з якими вода з гранулами транспортується на вібросита 3, де відбувається відділення гранул від води і їхній поділ за розмірами (фракціонування). Рухаючись на віброситах, гранули розділяються на основний потік і дві фракції: що залишається на ситі (великі гранули) і проходить через сито (дрібні гранули). Основний потік гранул товарного розміру надходить у систему пневмотранспорту 2, проходить через осушувальний циклон 1 і направляється пневмопроводом 13 із потоком сухого повітря в прийомні бункери. Великі й малі гранули надходять через свій циклон у систему пневмотранспорту, якою прямують у бункер для некондиційної продукції, що піддається вторинній переробці.

Власне гранулятор із різкою на решітці у водяному середовищі (рис. 7.6) складається з корпусу, що обігривається 1 із системи розвідних каналів 2, конічної решітки 3, на якій встановлений пакет сіток 4, гранулювальної фільєри 5, герметичної камери 11, ножової головки 10, встановленої на валу 9 двигуна регульованого привода 8, рухомої станини 7 із колесами 6.

Під час роботи гранулятора гомогенізований розплав полімеру з екструдера проходить через пакет сіток 4, конічні ґрати 3 і видавлюється через отвори гранулювальної фільєри 5 у вигляді циліндричних шнурів у камеру 11, у якій обертається ножова головка 10, встановлена на валу 9. Ножі рухаються зі швидкістю, яка забезпечує відрізання гранул заданої довжини. Швидкість видавлювання гранул визначають продуктивністю екструдера, тому частота обертання ножової головки синхронізована зі швидкістю обертання шнека екструдера.

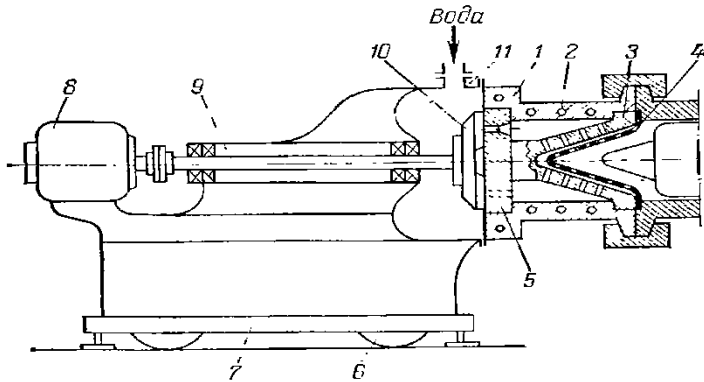


Рисунок 7.6. Гранулятор із різкою на решітці у водяному середовищі: 1 – корпус; 2 – канали для обігріву; 3 – конічні ґрати; 4 – фільтрувальні сітки; 5 – гранульована фільера; 6 – колеса станини; 7 – станина; 8 – привід; 9 – вал; 10 – ножова головка; 11 – камера

Аналогічну конструкцію має і гранулятор із повітряним охолодженням гранул. Відмінність полягає в тому, що відрізані гранули через патрубок подають у збірник, де охолоджують повітрям, яке нагнітає вентилятор. Повітряне охолодження застосовують для матеріалів із малою схильністю до злипання, наприклад, для пластифікованого і жорсткого полівінілхлориду, поліетилену.

Грануляційні комплекси, робота яких заснована на способі різання (дроблення) охолоджених (твердих) прутків (рис. 7.7), широко застосовують для гранулювання поліамідів, полістиролу і різних сополімерів стиролу, поліетилентерефталату, поліетилену високої щільності.

Такий спосіб часто називають стренговим (гол. *Streng* – мотузки, з яких сплітають канат). За цього способу гранулювання із формувальної головки 2 виходять шнури розплаву (зазвичай не більше ніж 20–25), проходять через охолоджувальну ванну 3 і за допомогою тягнутих і напрямних валків 6 подаються в різальний пристрій роторного типу (гранулятор). Необхідний розмір

гранул досягають підбором частоти обертання ротора гранулятора.

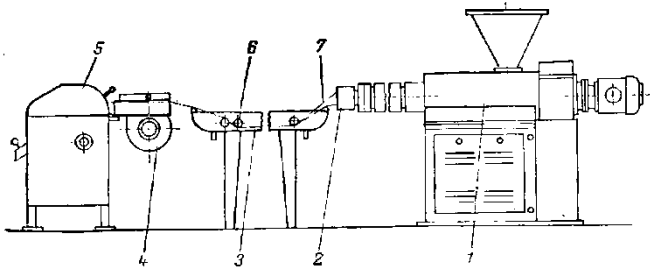


Рисунок 7.7 – Схема грануляційного комплексу з різкою охолоджених прутків: 1 – екструдер; 2 – формувальна головка; 3 – охолоджувальна ванна; 4 – повітряна сушарка; 5 – роторна дробарка (гранулятор); 6 – напрямні і тягнучі валки; 7 – шнури полімеру

Процес гранулювання в цьому разі може бути періодичним. Спочатку виготовляються прутки полімеру, потім вони подаються в різальний пристрій. Такий процес широко використовують у виробництві порошків, де гранули одержують не з розплаву, а з пластифікованого полімерного матеріалу (пластичної маси).

Гранули кубічної форми отримують із листового матеріалу. Для цього за допомогою екструдера формується лист полімерного матеріалу, який потім розрізається на смуги, а смуги ріжуться на гранули.

7.3.2 Гранулятори для переробки відходів полімерних матеріалів (вторинного гранулювання)

У виробництві полімерних матеріалів і під час їхньої переробки утворюється велика кількість відходів (залишки під час штампування, обрізки, браковані вироби тощо), які можна використовувати повторно. Для цього вони повинні бути попередньо подрібнені і перетворені на гранули. Таке гранулювання здійснюється зазвичай на грануляторах, що являють собою роторно-ножові і молоткові дробарки.

На рисунку 7.8 поданий гранулятор для переробки відходів термопластів (прутків, стрічок, листів або шматків різної форми).

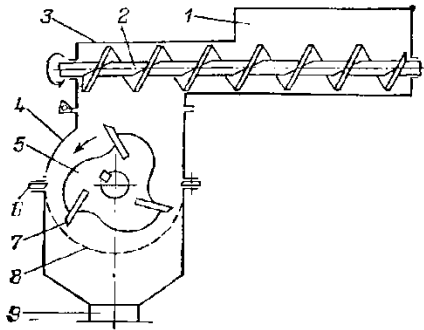


Рисунок 7.8 – Гранулятор для переробки термопластів:
1 – бункер; 2 – шнек живильника; 3 – живильник; 4 – корпус;
5 – ротор; 6 – нерухомі ножі; 7 – рухливі ножі; 8 – решітка;
9 – розвантажувальний патрубок

Під час роботи гранулятора подрібнювальний матеріал завантажується в бункер 1, з якого шнеком 2 живильника 3 подається в корпус 4 гранулятора, де встановлений ножовий ротор 5. Матеріал захоплюється ротором і, потрапляючи в простір між нерухомими 6 і рухливими 7 ножами, подрібнюється. Частки матеріалу, відрубані ножами, відкидаються на решітку 8, установлену в корпусі 4. Якщо їхній розмір менший за розмір отворів решітки, то вони провалюються в розвантажувальний штуцер 9. Частки, які не пройшли через отвори, захоплюються ротором і повторно піддаються подрібненню.

Гранулювання відходів вініпласту становить значні труднощі порівняно з переробкою інших термопластів. Це пов'язано з його значною жорсткістю і міцністю, високою питомою ударною в'язкістю. Відходи вініпласту переробляються на дробарках молоткастого типу.

Терморективні матеріали, на відміну від термопластичних, мають малу ударну в'язкість, Вони досить крихкі і легко подрібнюються в молоткових і зубчастих дробарках до потрібного ступеня подрібнення з поділом на фракції за допомогою вібраційних сит.

7.3.3 Устаткування для гранулювання порохів

На відміну від інших полімерних матеріалів, гранулювання яких має допоміжне значення (надання матеріалу товарної форми), порохова гранула є виробом (пороховий елемент), який виконує цільову функцію (горіння за заданим законом). Тому гранулювання є однією з основних операцій технологічного процесу виробництва зернового пороху. Залежно від виду і марки пороху використовують різні способи й обладнання для гранулювання.

7.3.3.1 Гранулювання нітратцелюлозних порохів

Основним компонентом нітратцелюлозного пороху (піроксилінового і баліститного) є нітрати целюлози – штучні високомолекулярні сполуки. На відміну від інших термопластичних полімерів, їхня температура склування перевищує температуру розкладання. Тому нітрати целюлози не можна перевести у в'язкоплинний стан за допомогою нагрівання. У зв'язку з цим для отримання пластичної маси, з якої можна було б формувати порохові елементи, у нітрати целюлози вводять речовину, що знижує температуру склування – пластифікатор. Для піроксилінових порохів пластифікатором служить спирто-ефірна суміш, для баліститного – нітроефіри. З пластифікованого полімерного матеріалу на основі нітратів целюлози формують порохові шнури, які потім піддають різанню.

У виробництві піроксилінового пороху використовують грануляційний комплекс, що складається з гідравлічного преса (періодична технологія) або шнек-преса (безперервна технологія) для формування шнурів і верстатів різання для отримання гранул. Для різання дрібних марок у періодичній технології застосовують верстат Сан-Галлі (рис. 7.9).

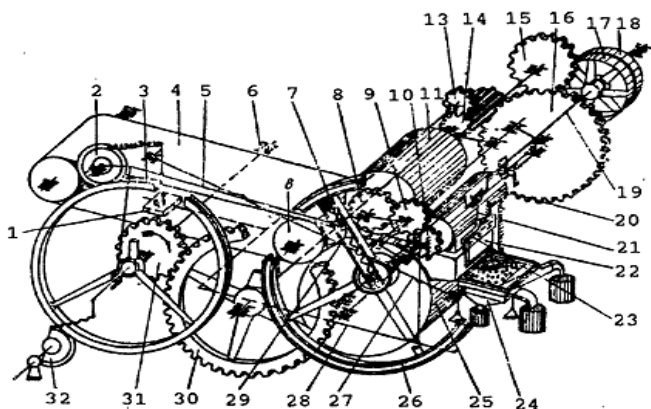


Рисунок 7.9 – Кінематична схема верстата Сан-Галлі:
 1 – вантаж; 2 – кулачок; 3 – фрикційне колесо; 4 – транспортер;
 5 – важіль; 6, 19 – вал; 7 – повзун; 8 – приводний барабан;
 9, 10, 11 – шестерні; 12 – тягнучий барабан; 13, 14, 15, 16, 30, 31 –
 зубчасті пари; 17, 18 – шківи; 20 – притискний барабан;
 21 – шатун; 22 – ніж; 23 – повзун; 24 – вібросито;
 25 – подавальний барабан; 26 – маховик; 27 – тяга;
 28 – система важелів; 29 – гвинт; 32 – кулачок

Верстат Сан-Галлі – це верстат типу гільйотини з пульсивною подачею пучка порохових шнурів на різку. Він складається з правої і лівої щік станини, у яких змонтований колінчастий вал 19. З одного кінця вала встановлені робочий 17 і холостий 18 шківи, з іншого – маховик 26, що забезпечує рівномірну роботу верстата. У прорізи маховика встановлений повзун 7, який за допомогою гвинта 29 переміщується і регулює довжину кривошипа і, як наслідок цього, довжину зерна, що відрізається. Повзун 7 важелем 5, за допомогою кулачка 2 з'єднаний із фрикційним колесом 3. Для фіксації фрикційного колеса змонтований гальмівний кулачок 32. На колінчастому валу з шатуном 21 кріпиться повзун 23, а до нього – ніж 22. Фрикційне колесо 3, змонтоване на проміжному валу 6 із зубчастими парами 30, 31 і 13, 14, пов'язане з приводним барабаном 8 транспортера 4, що служить для подання шнурів, і зубчастою парою 14, 16 – з нижнім подавальним барабаном 25.

Барабан 25 через пару шестерень 15, 16 перебуває в зачепленні з верхнім тягнучим барабаном 12, який через шестерні 9, 10, 11 пов'язаний із притискним барабаном 20. Призначення останнього – ущільнювати пучок порохових шнурів, що надходять у зів верста-та, для чого він, перебуваючи в кінематичному зв'язку з пода-вальним барабаном, змінює своє вертикальне положення залежно від товщини пучка шнурів, що надходить. Силу притиснення регулюють вантажем 1, який системою важелів 28 пов'язаний із притискним барабаном. Усі три барабани 12, 20, 25 мають поздовжні рифи.

Для попереднього сортування нарізаних зерен служить набір вібросит 24, рама їх тягою 27 з'єднана з важелем 5, за допомогою якого сита набувають коливального руху.

Верстат працює так. Обертальний рух від привода через ремінну передачу передається колінчастому валу – ніж 22 набуває зворотно-поступального руху, а від маховика 26 рух за допомогою тяги 27 і фрикційного колеса 3 передається транспор-теру 4, на якому рівним шаром лежить пучок шнурів. Транспортер подає пучок до подавальних і притискних барабанів. Коли зазор між подавальними барабанами відкритий, пучок подається на довжину зерна і притискний барабан притискує пучок. Водночас ніж 22 починає рух вниз, а транспортер і вся система подачі шнурів зупиняється.

Верстат Сан-Галлі, на відміну від інших, дає найбільший розкид по довжині зерна, що досягає 20–25 %. Це пов'язане з тим, що рух кулачка фрикційного колеса починається з малим прискоренням, унаслідок чого втрачається точність подачі шнурів у момент перебування його в «мертвій» точці і в момент початку руху подачі. Крім того, часто спостерігається і прослизання кулачка по фрикційному колесу.

Технічні характеристики верстага Сан-Галлі:

- частота обертання колінчастого вала, об./хв 180–220
- потужність привода, кВт 1,47
- ширина зазору, мм 260
- висота зазору, мм 30–50
- габаритні розміри, мм 2100 × 1000 × 1600.

Середні і великі марки піроксилінових порохів у періодичному виробництві отримують на верстаті Разумєєва або стрічковому верстаті.

Облаштування різального верстата Разумєєва подане на рисунку 7.10.

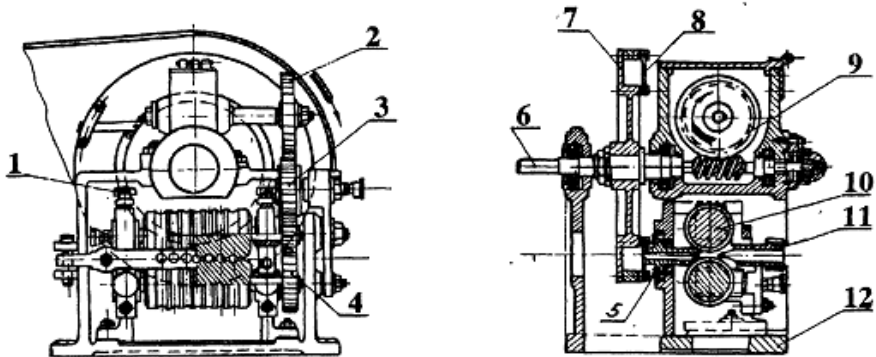


Рисунок 7.10 – Облаштування різального верстата Разумєєва:
 1 – гвинти; 2, 3, 4 – шестерні; 5, 11 – личинки;
 6 – приводний вал; 7 – маховик; 8 – ножі;
 9 – черв'ячна передача; 10 – подавальні валки; 12 – станина

Основою станка служить станина 12, на якій змонтовані два подавальні валки 10. Верхній валок – рухливий, і гвинтами 1 він притискується до нижнього валка. На валках зроблені виточки, радіус і кількість яких залежать від марки пороху. Для кращого захоплення шнура на поверхні виточок зроблена насічка. Перед подавальними валками встановлена передня личинка 11, призначення якої – направляти шнур у виточки між валиками. За валками встановлена друга личинка 5, площиною вихідного торця якої з невеликим проміжком переміщуються ножі 8, закріплені на обертовому маховику 7. На маховику кріпляться два або чотири ножі. Маховик встановлений на приводному валу 6, який черв'ячною передачею 9 і шестернями 2, 3 і 4 кінематично пов'язаний із подавальними валками. Верстат влаштований так, що в разі повороту маховика на $\frac{1}{4}$ або $\frac{1}{2}$ обороти подавальні валки

переміщують шнур на довжину порохового зерна. У цей момент зерно зрізають ножі.

Верстат Разумєєва розрахований на різання порохів різних марок зерна, які мають різні довжину і діаметр. Тому для настройки верстата на різку порохів інших марок передбачена можливість швидкої зміни шестерень 2 і 3, подавальних валків 10, личинок 11 і 5, водночас зберігається відповідна синхронізація між рухом маховика і подавальними валками.

Принцип різання шнурів у стрічковому різальному верстаті аналогічний верстату Разумєєва, але різальним органом є не ніж, а рушійна сталеві стрічка (рис. 7.11).

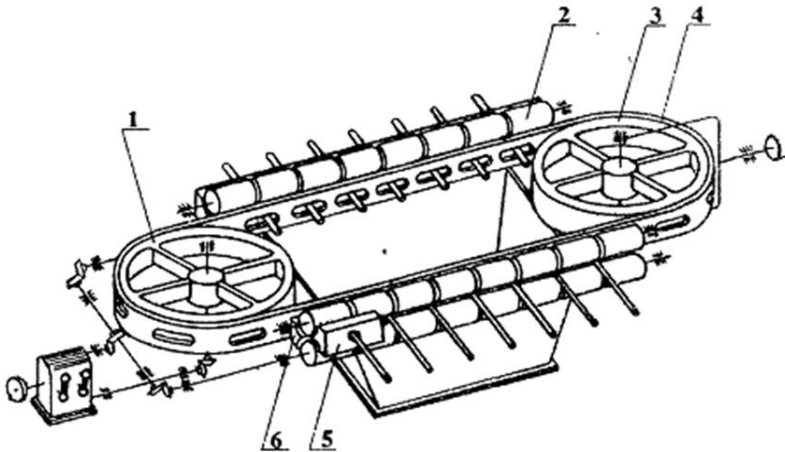


Рисунок 7.11 – Механізм різання стрічкового верстата:

- 1, 3 – маховики; 2 – валки; 4 – сталеві стрічка;
5 – перша личинка; 6 – друга личинка

Механізм різання стрічкового верстата складається із двох маховиків, один із яких приводний 1, другий – натяжний 3. На маховики надіта сталеві стрічка 4 товщиною 0,5 мм, шириною 50–55 мм із вікнами, перемички між якими є різальною частиною. Кількість вікон і їхня довжина у стрічці залежать від марки пороху. Із двох боків стрічки встановлені подавальні валки 2, верхній із яких – притискний. На валках зроблені виточки, на поверхні яких для кращого захоплення шнура зроблена насічка.

Перед подавальними валками встановлено личинки 5, призначення яких направляти шнур у виточки між валками. За валками встановлені другі личинки 6, площиною яких рухається сталева стрічка.

Кінематична схема стрічкового верстата різання подана на рисунку 7.12.

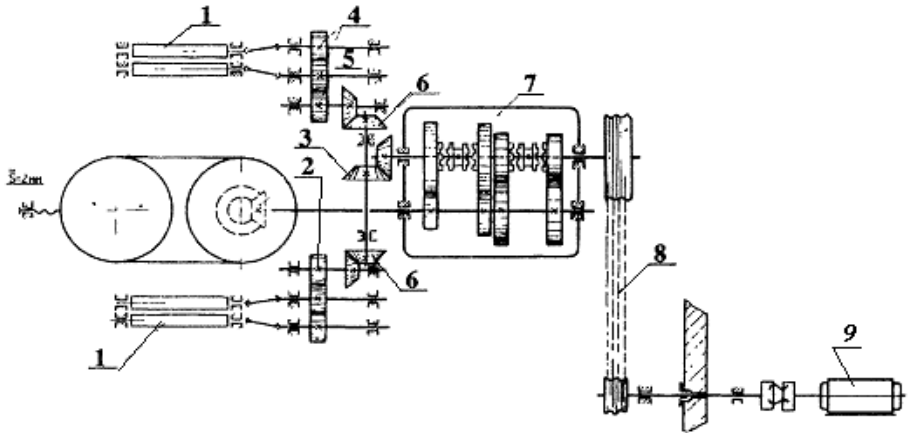


Рисунок 7.12 – Кінематична схема стрічкового різального верстата:
 1 – валки; 2, 3, 4, 5, 6 – зубчасті колеса;
 7 – коробка швидкостей; 8 – клиноремінна передача;
 9 – електродвигун

Під час роботи верстата обертальний рух від електродвигуна 9 через клиноремінну передачу 8, коробку швидкостей 7 і конічну зубчасту пару 2 передається маховику і стрічці. Конічні зубчасті пари 3, 6 і далі циліндричні зубчасті колеса 4, 5 передають обертальний рух валкам 1. Кінематична схема верстата розрахована на те, що за умови переміщення різальної стрічки на довжину вікна подавальні валки переміщують шнур на довжину зерна. У цей момент зерно зрізається. Під час переходу від однієї марки пороху до іншої передбачається відповідна настройка швидкості руху стрічки (частоти обертання маховика) за допомогою коробки швидкостей 7 і заміна подавальних валків. Довжину зерна можна регулювати також заміною стрічки з іншою довжиною вікна.

У безперервному виробництві піроксилінового пороху для різання порохових шнурів використовують безперервний різальний агрегат (рис. 7.13).

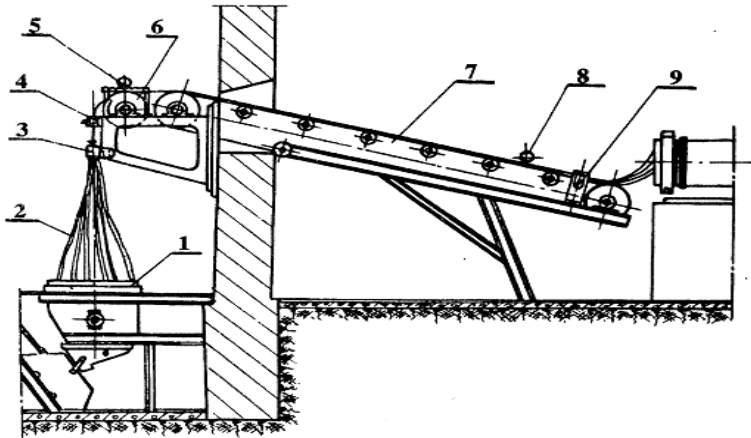


Рисунок 7.13 – Безперервний агрегат для різання порохових шнурів: 1 – нижній різальний верстат; 2 – трубки; 3 – верхній різальний верстат; 4, 8 – притискний валик; 5 – ролик; 6 – барабан; 7 – похилий транспортер; 9 – гребінка

Агрегат складається з верхнього різального верстата 3, нижнього різального верстата 1 і похилого транспортера 7. Ви-пресовувані шнури із шнек-преса надходять на стрічку транспортера 7, швидкість якого на 15–20 % більше, ніж швидкість ви-пресовування шнурів, щоб шнури були на стрічці в натягнутому стані і не утворювали петель. Для розміщення шнурів по ширині стрічки транспортера служить гребінка 9, установлена на початку транспортера. Для додаткового натягу шнурів застосовують притискний валик 8. Із транспортерної стрічки шнури надходять на барабан 6, на якому закріплена гумова стрічка з канавками для направлення шнурів до отворів верхнього різального верстата. Між приводним барабаном транспортера і барабаном 6 встановлений ролик 5, призначення якого – не допускати петлеутворення шнура в проміжку, де немає транспортерної стрічки, за допомогою

притиснення шнурів до барабана 6. Для того щоб шнури рухалися не по дотичній до барабану, а потрапляли в отвори верстата, установлений притискний валик 4. Пройшовши верхній різальний верстат, шнури надходять у трубки 2, що з'єднують верхній верстат із нижнім.

Верхній різальний верстат має дві плити: верхню і нижню з отворами для проходу шнурів. Між плитами у спеціальному пазу проходить ланцюг, на який закріплені ножі. Рух ножів і транспортерної стрічки кинематично пов'язані.

Облаштування нижнього різального верстата подане на рисунку 7.14.

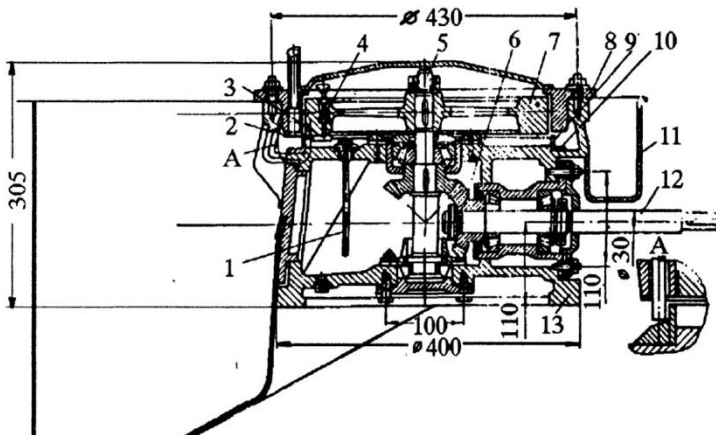


Рисунок 7.14 – Облаштування нижнього різального верстата:

- 1 – щуп; 2 – ніж, 3 – сегмент; 4 – фіксувальний палець;
- 5 – вертикальний вал; 6 – шестерня; 7 – маховик;
- 8 – личинкове кільце; 9 – відбивач; 10 – обмежувальне кільце;
- 11 – бункер; 12 – приводний вал; 13 – корпус

Нижній різальний верстат складається з корпусу 13, у якому встановлений горизонтальний приводний вал 12. Він через конічну пару шестерень 6 зв'язаний із вертикальним валом 5. На вертикальному валу закріплений маховик 7, на нижній площині якого затискним сегментом 3 кріпиться ніж 2. У пазу затискного сегмента він фіксується пальцем 4. У верхній частині корпусу на

спеціальних приливах встановлене личинкове кільце 8. Просвіти між приливами утворюють вікна, через які викидаються порохові зерна, відрізані ножом. Личинкове кільце встановлене так, щоб його робоча площина, якою ходить ніж, була вище за площину маховика, на якій прикріплений ніж, на 0,1–0,2 мм. У підстави припливів на корпусі зроблене виточення для посадки наполегливого обмежувального кільця 10, яке має відбивач 9, що перешкоджає потраплянню під маховик порохових зерен, що важливо з погляду безпеки. Відстань між відбивачем і вихідними отворами личинкового кільця – 1,0–1,5 мм. Довжина зерна регулюється відстанню між робочими поверхнями личинкового і наполегливого кільця. Відрізані порохові зерна викидаються в бункер 11. Корпус верстата одночасно є і масляною ванною, рівень масла в якій підтримується на певному значенні і заміряється щупом 1.

Принцип роботи різального агрегата полягає в такому. Порохові шнури, які надходять із транспортера через отвори у верхній і нижній плитах верхнього різального верстата, заповнюють трубки 2, що з'єднують його з нижнім різальним верстатом. Коли шнур, який надходить у трубку, не доходить до ножа нижнього верстата на відстані 50–100 мм, ніж верхнього верстата відрізає шматок шнура (рис. 7.15 а).

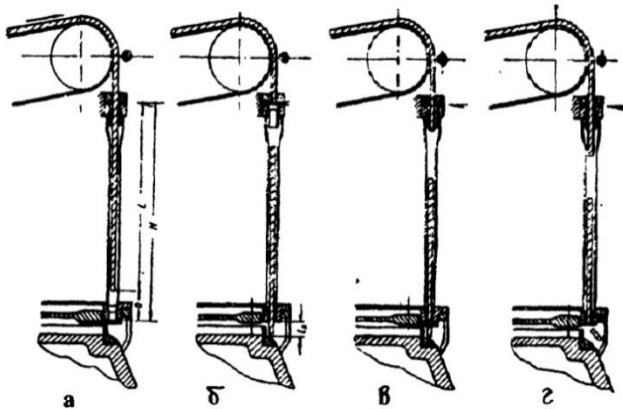


Рисунок 7.15 – Схема різання порохового шнура на різальному агрегаті

Відрізаний шнур падає з трубки до упору нижнього верстата (рис. 7.15 б). У цей момент ніж нижнього верстата відрізає знизу від шнура зерно заданої довжини (рис. 7.15 в), яке ножем викидається в бункер верстата (рис. 7.15 г), а шнур вільно падає на висоту зерна до упору і далі відрізається наступне зерно.

Необхідність такої організації різання викликана нерівномірністю виходу порохових шнурів із шнек-преса, їхнє безпосереднє різання не забезпечує жорстких вимог до довжини порохових зерен. Окремі шматки шнура надходять у нижній різальний верстат під дією власної сили тяжіння з постійною швидкістю. Унаслідок цього зерна, що виходять, мають практично однакову довжину.

Баліститний порох, на відміну від піроксилінового, не виробляється в зернистому вигляді, але з метою ущільнення порохової маси перед її переробкою у виріб і підвищення технологічності переробки технологічний процес виробництва містить гранулювання (пігулкування) як допоміжну операцію. Її проводять на безперервнотійних вальцях із формувальними кільцями, а також на кільцевому пігулковому пресі (ПКП).

Схема пристрою пігулкових вальців наведена на рисунку 7.16.

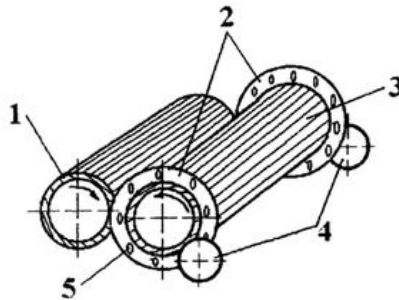


Рисунок 7.16 – Схема пристрою пігулкових вальців:

- 1 – холостий валок; 2 – формувальні кільця; 3 – робочий валок;
- 4 – дискові ножі; 5 – отвори, що формують пігулки

Під час роботи вальців порохова маса завантажується в середину між валками, де вона, захоплюючись ними, обволікає поверхню робочого валка 3 та, просуваючись уздовж цього валка в обидва боки, продавлюється через отвори 5 у формувальних

кільцях 2. Утворені шнури зрізуються дисковими ножами 4, унаслідок чого виходять порохові пігулки. Просування маси по робочому, а не по холостому валку забезпечується різною формою поздовжніх жолобків – рифлів на їхній поверхні – прямокутною на робочому валку і гострозубою формою – на холостому. Крім того, температура обігріву робочого валка приблизно на 20 °С вище, ніж холостого.

Для підвищення вибухобезпеки завдяки зниженню дрібки пилю в баліститному напівфабрикаті, що надходить на формування виробу, а також для більшого його ущільнення перед подачею у формувальний прес у сучасному виробництві передбачена додаткова операція гранулювання на кільцевому пігулковому пресі (рис. 7.17).

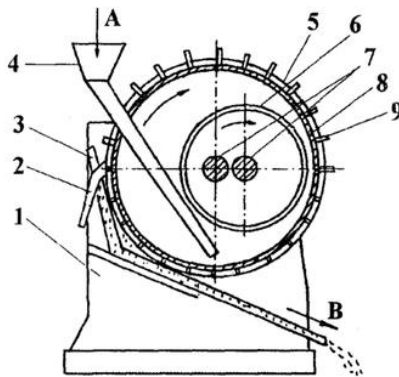


Рисунок 7.17 – Схема преса ПКП:

- 1 – станина; 2 – ніж; 3 – лоток; 4 – завантажувальний бункер;
- 5 – барабан; 6 – ролик; 7 – вали; 8 – шар порохової маси;
- 9 – порохові шнури

Під час роботи преса порохові пігулки із завантажувального бункера 4 надходять у внутрішню порожнину барабана 5, по всій циліндричній поверхні якого розташовані радіальні калібрувальні отвори діаметром 10 мм. Під час одночасного обертання ролика 6 у барабані 5 порохові пігулки захоплюються рифленим роликом 6 і, мнучись, утворюють на внутрішній поверхні

барабана пороховий шар 8, який ущільнюється роликом і продавлюється через отвори в барабані 5. Утворені порохові шнури 9 зрізуються ножом 2 у вигляді щільної пігулки. Пігулки зміщуються по лотку 3 в бункер транспортера, що подає їх у формувальний прес.

7.3.3.2 Гранулювання димного пороху

Димний порох являє собою зерна (гранули), що складаються із суміші твердих компонентів: калієвої селітри, деревного вугілля і сірки (відповідно 75, 15 і 10 мас%). Гранулювання можна здійснювати двома способами: сухим (пресуванням) і водно-суспензійним (у псевдозрідженому шарі). У промисловості застосовують переважно сухий спосіб гранулювання.

Комплекс обладнання для гранулювання димного пороху сухим способом містить: гідравлічний прес із плитами, що обігріваються паром; розбивочну і зернильну машини; полірувальний барабан. На пресі із суміші тонкоподрібнених компонентів димного пороху пресують плити заданої щільності. Розбивочна машина служить для розбивки відпресованих плит на шматки розміром до 100 мм (порохову плитку). Порохову плитку після охолодження завантажують у зернильну машину, де вона дробиться на гранули заданих розмірів.

Отримані гранули обробляють у полірувальному барабані (барабанному змішувачі) для згладжування гострих кромek і полірування поверхні гранул.

Безпосереднє формування гранул заданих розмірів здійснюється на зернильній машині, схема якої подана на рисунку 7.18.

Під час зерніння (гранулювання) димного пороху пороху плитку завантажують у бункер-лоток 1, який здійснює коливальні рухи (280 подвійних коливань на хвилину). З бункера-лотка плитка надходить на першу пару валків 3. Подавання плитки регулюється за допомогою шибера 2.

Перша пара валків зубчата, зуби у вигляді прямокутної піраміди висотою 10 мм. Швидкість обертання валків – 40 об./хв. Роздрібнена на цій парі валків плитка (розміром 20–30 мм) зсипається в елеваторний ящик 4, звідки елеватором 5 подається на

другу пару валків 6. Друга пара валків рифлена (жолобки по довжині валка), висота рифів – 5 мм. Валки обертаються зі швидкістю 45 об./хв. Після другої пари валків порошок надходить на сито 7 для відділення пилу, що утворився під час дроблення плитки, і далі на третю пару валків 8, на якій відбувається остаточне дроблення. Третя пара валків гладка, обертається зі швидкістю 60 об./хв.

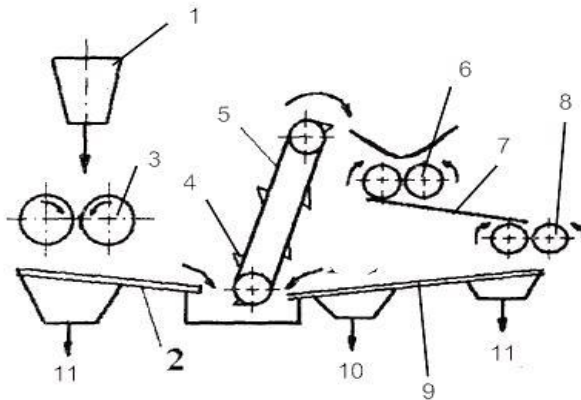


Рисунок 7.18 – Схема зернильної машини:

- 1 – бункер-лоток; 2 – шибер; 3 – перша пара валків;
- 4 – елеваторний ящик; 5 – елеватор; 6 – друга пара валків;
- 7 – сито; 8 – третя пара валків; 9 – гуркіт; 10 – товарна фракція;
- 11 – пил

Далі порошок надходить на гуркіт 9, де розділяється на три фракції: велику, товарну і пил. Велика фракція повертається в елеваторний ящик і знову подається на дроблення. Товарна фракція і пил збираються в м'яку тару. Пил повертається в технологічний процес на стадію змішування компонентів.

Валки зернильної машини виготовлені з бронзи, мають діаметр 300 мм, довжину 680 мм. Одна з опор кожної пари – рухома для того, щоб в разі потрапляння у валки сторонніх предметів вони могли проходити через валки. Це дозволяє знизити небезпеку займання порошку. Рухливість одного з валків забезпечується завдяки гумовому буферу.

Привод зернильної машини розміщений за стіною в машинному відділенні. Отвір у стінці, через який проходить вал привода, герметизується за допомогою сальникового ущільнення.

Працює зернильна машина за відсутності обслуговчого персоналу, управління здійснюють дистанційно.

Гранулювання димного порошу **водно-суспензійним способом** здійснюють в апараті (грануляторі) з псевдозрідженим шаром. Для цього готують 45–50 % (за масою) суспензію вугільної суміші у водному розчині калієвої селітри. Суспензію подають за допомогою пневматичної форсунки безпосередньо в псевдозріджений шар попередньо приготованих часток димного порошу, псевдозрідження яких здійснюється потоком гарячого повітря.

За такої подачі суспензії повітря, що витікає із сопла форсунки, не тільки розпорошує суспензію, а й створює в псевдозрідженому шарі струминну течію, яка формує простір зі зниженим вмістом твердої фази (газовий факел), у якому відбувається розпорошення суспензії. Ця течія також забезпечує ежекцію часток із шару і їхній рух через факел розпилу. Унаслідок суспензії, що подається в псевдозріджений шар, не локалізується в зоні подання (зрошення), а захоплюється частками, що рухаються через факел, і видалається з цієї зони. Такий спосіб подачі суспензії дозволяє розподілити її по поверхні частинок, що містяться в шарі, без їхнього пересування. Покриті суспензією частки, що виходять із зони зрошення, сушаться в основній частині псевдозрідженого шару, унаслідок чого на їхній поверхні утворюється шар компонентів порошу, міцно пов'язаних між собою і поверхнею частинок завдяки кристалізації селітри (кристалізаційних містків). Багаторазова циркуляція частинок через факел розпилу призводить до зростання розміру частки та формування гранул, що мають шарову структуру і форму, близьку до сферичної (кулеподібної). Безперервність процесу гранулювання в умовах постійної подачі у псевдозріджений шар суспензії компонентів димного порошу і виведення з нього гранул, які досягли необхідного розміру, забезпечується завдяки наявності в шарі джерел нових часток (ретура). Такими джерелами можуть бути введені ззовні спеціально підготовлені частки димного порошу або частки, що виникають безпосередньо у псевдозрідженому

шарі (завдяки сушці окремих крапель суспензії, агломерації пилу, яку повертатимуть у шар після очищення зріджуваного повітря, використання спеціального подрібнювача, що дробить частину гранул шару).

Облаштування гранулятора з псевдозрідженим шаром для отримання димного пороху водно-суспензійний способом подане на рисунку 7.19.

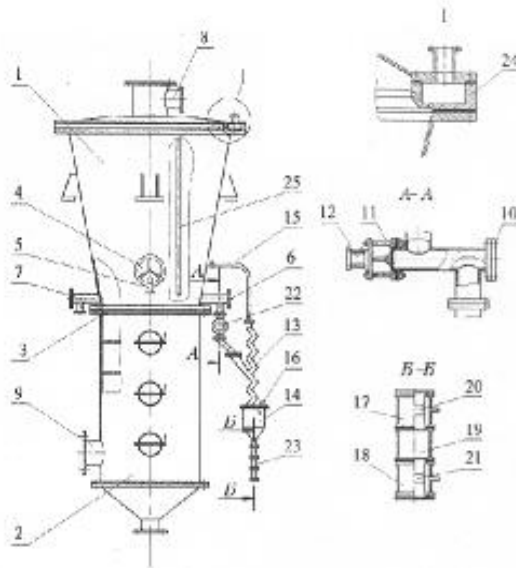


Рисунок 7.19 – Гранулятор із псевдозрідженим шаром для димного пороху: 1 – корпус; 2 – газова камера; 3 – газорозподільна решітка; 4 – люк; 5 – пневматична форсунка; 6, 7 – розвантажувальний пристрій; 8 – штуцер відпрацьованого повітря; 9 – штуцер зрідженого повітря; 10 – корпус вивантаженого пристрою; 11 – еластична мембрана; 12 – пневмоциліндр; 13 – зигзагоподібна камера; 14 – газова камера сепаратора; 15 – трубопровід; 16 – штуцер сепараційного повітря; 17 – верхня шлюзова камера; 18 – нижня шлюзова камера; 19 – проміжна ємність; 20, 21 – еластичні втулки; 22 – живильник; 23 – шлюзовий затвор; 24 – додатковий фланець; 25 – заземлений стрижень

Гранулятор складається з корпусу 1, газової камери 2, між якими встановлена газорозподільна решітка 3. Корпус являє собою усічений конус, у нижній частині якого розташовані чотири люки 4. Кришки люків забезпечені бобишками для кріплення форсунки. На рівні газорозподільної решітки до корпусу кріпляться два розвантажувальних пристрої 6 і 7 клапанного типу: один – робочий, другий – для аварійного вивантаження шару порошу з гранулятора. У дію вивантажувальні пристрої приводяться за допомогою пневматичного мембранного виконавчого механізму. Зверху корпус гранулятора закритий кришкою з патрубком 8 для виходу відпрацьованого повітря, і під нею встановлений додатковий фланець 24 пристрою для екранування струменями повітря внутрішньої поверхні корпусу, що запобігає відкладенню на ній порохового пилу. До кришки кріпляться також заземлені стрижні 25 для усунення накопичення в шарі заряду статичної електрики.

Газова камера 2 являє собою циліндричну обичайку з конічним днищем, у нижній частині якого розміщений штуцер для стікання води під час миття гранулятора. Усередині газової камери встановлені підпірні решітки, призначені для рівномірного розподілу зрідженого повітря за перетином апарата. На циліндричній частині газової камери розташовані люки для її огляду і чищення, а також штуцер 9 для введенню зрідженого повітря.

Гранулятор забезпечений сепарувальним пристроєм для виведення з псевдозрідженого шару порохових гранул, які досягли необхідного розміру. Він складається із зигзагоподібної сепарувальної камери 13, газової камери 14, трубопроводу 15 для повернення дрібних гранул і часток порошу в шар, живильника 22 і шлюзового затвора 23.

Під час роботи гранулятора нагріте повітря надходить у газову камеру 2 через штуцер 9, проходить через газорозподільну решітку 3 і перетворює у псевдозріджений стан шар порохових часток, що міститься на ній. Після прогрівання шару до заданої температури через пневматичну форсунку 5 подають попередньо підготовлену суспензію компонентів порошу. Відповідно до описаного вище процесу відбувається зростання частинок і

утворення гранул, унаслідок чого починає підвищуватися гідравлічний опір псевдозрідженого шару. Під час досягнення певного значення опором, що залежить від середнього розміру гранул у шарі, відкривається клапан вивантажувального пристрою 6, і порох із шару надходить у сепараційну камеру 13. Його подавання регулюється живильником 22 завдяки коливальному руху еластичної мембрани 11. Одночасно в газову камеру 14 сепараційного пристрою через штуцер 16 подається повітря, яке, піднімаючись по камері 13, захоплює дрібні гранули та частки порошу, повертаючи їх по трубопроводу 15 у шар на дорошування. Великі гранули збираються в нижній частині газової камери 14 і вивантажуються за допомогою шлюзового затвора 23. Робота цього затвора заснована на поперемінному перетисканні еластичних втулок 20 і 21 стисненим повітрям, що подається у шлюзові камери 17 і 18 зовні еластичних втулок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии : учеб. пособие / Г. Н. Мальцева. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
2. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов / А. Д. Домашнев. – Москва : Машгиз, 1961. – 624 с.
3. Федосеев В. И. Сопротивление материалов : учеб. для вузов / В. И. Федосеев. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 592 с.
4. Беляев В. М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. 1: Тонкостеночные сосуды и аппараты химических производств : учеб. пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов. – Томск : Изд-во Том. политех. ун-та, 2003. – 168 с.
5. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов / А. Э. Генкин. – Москва : Высш. школа, 1970. – 352 с.
6. Любошиц М. И. Справочник по сопротивлению материалов / М. И. Любошиц, Г. М. Ицкович. – Минск : Высшейш. школа, 1969. – 464 с.
7. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи / М. Ф. Михалев и др. ; под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Ленинград : Машиностроение, 1984. – 301 с .
8. Венцель Е. С. Теория вероятности и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Высш. шк., 2000. – 480 с.
9. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1971. – 784 с.
10. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск. – Ленинград : Госхимиздат, 1963. – 416 с.
11. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи / И. В. Доманский и др. ; под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 384 с.

12. Иванов М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов ; под ред. В. А. Финогорова. – Москва : Высш. школа, 2000. – 383 с.
13. Воробьев В. А. Технология полимеров / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов. – Москва : Высш. школа, 1980. – 303 с.
14. Гиндич В. И. Производство нитратов целлюлозы. Технология и оборудование / В. И. Гиндич, Л. В. Забелин, Г. Н. Марченко. – Москва : ЦНИИНТИ, 1984. – 360 с.
15. Машины и аппараты химических производств / И. И. Чернобыльский и др. ; под ред. И. И. Чернобыльского. – Москва : Машиностроение, 1974. – 456 с.
16. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.
17. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – Москва : Химия, 1972. – 496 с.
18. Коузов П. А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П. А. Коузов, Л. Я. Скрябина. – Ленинград : Химия, 1983. – 143 с.
19. Оборудование для переработки сыпучих материалов : учеб. пособие / В. Я. Борщев, Ю. И. Гусев, М. А. Промтов, А. С. Тимонин. – Москва : Машиностроение-1, 2006. – 208 с.
20. Машины и аппараты химических производств / А. С. Тимонин и др. ; под общ. ред. А. С. Тимонина. – Калуга : Изд-во Н. Ф. Бочкаревой, 2008. – 872 с.
21. Генералов М. Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ / М. Б. Генералов. – Москва : Академкнига, 2004. – 397 с.
22. Гиндич В. И. Технология пироксилиновых порохов. Том 2. Производство порохов / В. И. Гиндич. – Казань : Татарское газетно-журнальное изд-во, 1995. – 391 с.
23. Руководство к лабораторному практикуму по курсу «Машины и аппараты химических производств» / М. Ф. Михалев и др. – Москва : ЦНИИНТИ, 1984. – 176 с.

24. Оборудование для переработки пластмасс : справочное пособие / В. К. Завгородний и др. ; под ред. В. К. Завгороднего. – Москва : Машиностроение, 1976. – 407 с.

25. Канторович З. Б. Основы расчета химических машин и аппаратов / З. Б. Канторович. – Москва : Машгиз, 1960. – 744 с.

26. Торнер Р. В., Акутин М. С. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – Москва : Химиздат, 1986. – 400 с.

27. Торнер Р. В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчета). – Москва : Химия, 1972. – 456 с.

28. Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. – Москва : Машиностроение, 1972. – 272 с.

29. Гиберов З. Г. Механическое оборудование предприятий для производства полимерных и теплоизоляционных изделий / З. Г. Гиберов, С. В. Вернер. – Москва : Машиностроение, 1973. – 416 с.

30. Басов Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любартович. – Москва : Химия, 1986. – 488 с.

31. Завгородний В. К. Оборудование предприятий по переработке пластмасс / В. К. Завгородний, Э. Л. Калинин, Е. Г. Махаринский. – Ленинград : Химия, 1972. – 464 с.

Навчальне видання

Лукашов Володимир Костянтинович

**УСТАТКУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА
ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК**

Конспект лекцій

для студентів спеціальності

161 *«Хімічні технології та інженерія»*

за спеціалізацією *«Хімічні технології високомолекулярних сполук»*

Відповідальний за випуск В. І. Серeda

Редактор І. О. Кругляк

Комп'ютерне верстання В. К. Лукашова

Підписано до друку 08.04.2021, поз. 52.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,04. Обл.-вид. арк. 14,86. Тираж 5 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від № 3062 від 17.12.2007.