

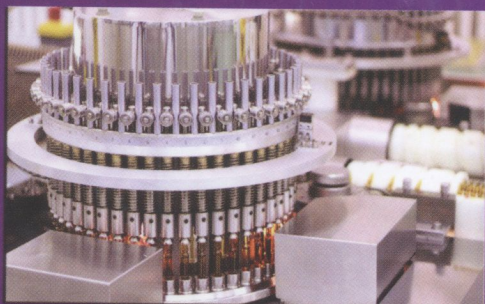
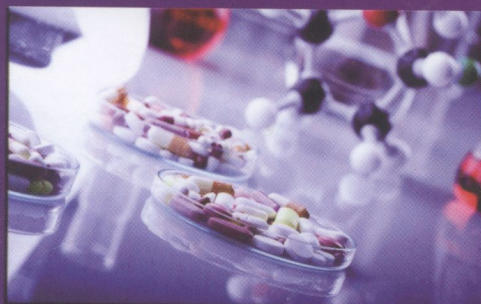
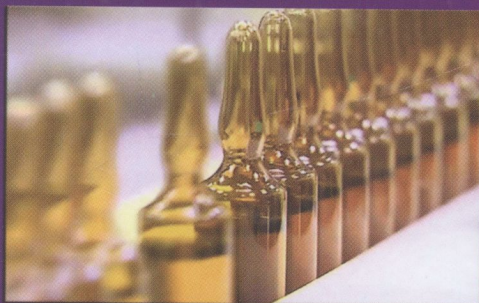
602.4(075.8)

T38

М.Б. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников,  
Т.В. Крутьських, І.Р. Бучкевич, О.І. Зайцев, І.О. Гузьова,  
О.П. Стрілець, Є.В. Гладух, В.П. Новіков

# Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості

підручник



Видавництво "Новий Світ – 2000"



602.4(073.8)

T38

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

М.В. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников,  
Т.В. Крутських, І.Р. Бучкевич, О.І. Зайцев, І.О. Гузьова,  
О.П. Стрілець, Є.В. Гладух, В.П. Новіков

# **Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості**

Підручник для студентів вищих навчальних закладів  
III-IV рівнів акредитації

2-ге, видання перероблене і доповнене



Львів  
Новий Світ-2000  
2018

602.4-7(075.8)

УДК 615.451.13;615.451.16; 615.453.6; 573.6.086.83;66.098,663.1(075.8)  
ББК 52.82Я73  
Н С85

*Затверджено Науково-методичною радою Національного університету  
«Львівська політехніка» як підручник для студентів напряму підготовки  
6.120201 «Фармація» і 6.051401 «Біотехнологія» та спеціальності  
7(8).12020103 «Технології фармацевтичних препаратів»*

### Рецензенти:

- Р.Б. Лесик** доктор фармацевтичних наук, професор, в.о. завідувача кафедри фармацевтичної, органічної і біоорганічної хімії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького
- В.М. Атаманюк** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної інженерії Національного університету «Львівська політехніка»
- О.В. Карпенко** доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу хімії і біотехнології горючих копалин Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглекімії Імені Л.М. Литвиненка НАН України

**Н 832 Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості:** підручник [для вищ. навч. закл.] Стасевич М.В., Миляннич, А.О., Стрельников Л.С., Крутських Т.В., Бучкевич І.Р., Зайцев О.І Гузьова, І.О., Стрілець О.П., Гладох Є.В., Новіков В.П. – Львів: «Новий Світ-2000», 2018. – 410 с.

У підручнику авторами узагальнено і систематизовано великий матеріал щодо обладнання вітчизняного та закордонного виробництва, яке застосовується на фармацевтичних і біотехнологічних підприємствах, зокрема матеріалів для виготовлення апаратів, технологічних особливостей та конструктивних елементів апаратури, гідродинамічних процесів, процесів подрібнення, просіювання, переміщення, змішування, дозування, таблеткування, виробництва ін'єкційних лікарських засобів, а також сорбції, екстракції, перегонки, кристалізації, сушіння, вираплювання. Представлено характеристику новітніх автоматизованих та напівавтоматизованих систем фармацевтичних і біотехнологічних процесів. Приведено технологічні розрахунки для вибору устаткування.

Для студентів вищих навчальних закладів III—IV рівнів акредитації фармацевтичних та біотехнологічних спеціальностей. Може бути корисним для студентів хімічних спеціальностей, а також технічного персоналу фармацевтичної та біотехнологічної промисловості.

ISBN 978-966-418-288-8

482143

© Стасевич М.В., Миляннич, А.О., Стрельников Л.С., Крутських Т.В., Бучкевич І.Р., Зайцев О.І Гузьова, І.О., Стрілець О.П., Гладох Є.В., Новіков В.П., 2018  
© «Новий Світ – 2000», ФОП Піча С.В. 2018

**НТБ ВНТУ**  
**м. Вінниця**

## ВСТУП

Стрімкий розвиток фармацевтичної та біотехнологічної галузі в Україні, велика конкуренція та підвищення вимог до якості продукції відображається в адаптації організації промислового виробництва готових лікарських засобів та біотехнологічних продуктів до принципів належної виробничої практики. Фармацевтичні та біотехнологічні підприємства постійно перебувають в процесі перетворень, пов'язаних з освоєнням нових ринків. Тому, для забезпечення населення високоякісною фармацевтичною та біотехнологічною продукцією необхідні висококваліфіковані кадри, які добре володіють основами промислової технології та роботи апаратурного оснащення виробництва. Крім цього, забезпечити випуск цієї продукції у зростаючих кількостях можливо тільки при широкій автоматизації виробничих процесів, використанні найновітнішого обладнання та швидкому впровадженні останніх досягнень науки і техніки.

Даний підручник розроблений з метою ознайомити студентів фармацевтичних та біотехнологічних спеціальностей з промисловим обладнанням вітчизняного та закордонного виробництва, яке використовується у технологічних процесах, його конструктивними особливостями, інноваційними розробками та застосуванням у фармацевтичному та біотехнологічному виробництві.

Підручник містить матеріал, який дозволяє студенту засвоїти знання про основні матеріали, які застосовуються при виготовленні обладнання для фармацевтичних та біотехнологічних підприємств, типи корозії та захисту від неї, стандартизацію обладнання та фактори, які впливають на вибір типового обладнання, конструктивні елементи промислової апаратури та особливості трубопровідних систем, види обладнання та принципи його роботи, яке використовують у таких технологічних процесах, як осадження, фільтрування, центрифугування, мембранні методи розділення, сорбція, екстракція, перегонка, кристалізація, вираплювання, подрібнення, просіювання,

переміщення, змішування, дозування, таблеткування, виробництво ін'єкційних лікарських засобів, зокрема види ампул, особливості їх виготовлення та альтернативні форми їх упакування, а також процес сушіння у конвективних, контактних, спеціальних та комбінованих сушарках.

У підручнику також представлено характеристику новітніх напівавтоматизованих та автоматизованих систем технологічних процесів фармацевтичних і біотехнологічних виробництв. Приведено технологічні розрахунки для вибору устаткування виробничого процесу.

У додатках наведені основні фізико-хімічні та теплофізичні властивості деяких речовин, зразок креслення основного апарату та основні технічні дані сталених емальованих апаратів з перемішувачим обладнанням.

Представлений у підручнику матеріал дозволить студентам застосувати одержані знання при вивченні загальної та спеціальної технології, проходженні практики, виконанні курсових і дипломних проєктів, у майбутній виробничо-практичній діяльності.

Згадування у тексті підручника окремих фармацевтичних організацій і торгових марок фармацевтичного та біотехнологічного обладнання не означає, що автори надають їм перевагу або рекламують їх.

Автори висловлюють глибоку вдячність рецензентам за конструктивні поради і зауваження.

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	9
Особливості процесів та апаратів фармацевтичної промисловості.....	9
Особливості процесів та апаратів біотехнологічних виробництв.....	11
Основні вимоги до обладнання.....	11
Класифікація основних процесів у фармацевтичній та біотехнологічній промисловості.....	13
<b>Розділ 2. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b> .....	17
Вуглецеві сталі і чавуни.....	17
Леговані сталі і сплави, біметали.....	18
Кольорові метали і сплави.....	20
Неметалічні матеріали.....	23
Матеріали неорганічного походження.....	24
Матеріали органічного походження.....	24
Захисні покриття.....	27
Плівкові покриття.....	27
Листові покриття.....	29
Футерування.....	29
<b>Розділ 3. ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОДУКТІВ</b> .....	30
<b>Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ АПАРАТУРИ</b> .....	34
Стандартизація обладнання та чинники, які впливають на вибір типового обладнання.....	34
Конструктивні елементи промислової апаратури.....	36
Особливості будови апаратів для біотехнологічних виробництв.....	51
Особливості трубопровідних систем фармацевтичних та біотехнологічних виробництв.....	71
<b>Розділ 5. ГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ</b> .....	78
Осадження.....	79
Фільтрування.....	80
Центрифугування.....	86
Мембранні методи розділення рідинних і газових систем та приклади їх застосування.....	89

<b>Розділ 6. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>98</b>
<i>Обладнання для процесу подрібнення.....</i>	98
<b>Теоретичні основи подрібнення .....</b>	98
<b>Основні принципи подрібнення .....</b>	101
<b>Будова та принцип роботи подрібнюючих машин .....</b>	103
Подрібнювачі ударно-стираючої дії.....	105
Подрібнювачі ударної дії.....	109
Подрібнювачі стираючо-роздавлюючої дії.....	114
Подрібнювачі роздавлюючої дії .....	117
Подрібнювачі ріжучої і розпилюючої дії .....	118
Подрібнювачі розколюючої і розламуючої дії.....	121
Колоїдні млини .....	122
<b><i>Просіювання сипучих матеріалів .....</i></b>	127
<b>Механічне просіювання .....</b>	128
Механізми для механічного сортування .....	130
<b>Пневматичне та гідравлічне сортування .....</b>	135
<b><i>Змішування твердих матеріалів .....</i></b>	137
Змішувачі барабанного типу .....	138
Змішувачі шнекового типу .....	139
Змішувачі лопатевого типу .....	140
<b><i>Механізми для переміщення твердих матеріалів.....</i></b>	141
Конвеєри з гнучким тяговим елементом .....	142
Конвеєри без гнучкого тягового елемента .....	147
Пневматичний транспорт .....	150
<b><i>Підживлюючі пристрої у фармацевтичному та біотехнологічному виробництві .....</i></b>	154
<b>Дозатори твердих матеріалів .....</b>	155
Об'ємні дозатори безперервної дії.....	158
Об'ємні дозатори порційної дії .....	161
Вагові дозатори безперервної дії .....	165
Вагові дозатори порційної дії .....	165
<b>Підживлювачі твердих матеріалів.....</b>	168
<b>Розділ 7. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ТАБЛЕТКУВАННЯ.....</b>	<b>172</b>
<b>Характеристика процесу таблеткування .....</b>	173
<b>Обладнання процесу таблеткування .....</b>	176
Гранулятори .....	176
Машина для таблеткування .....	178
Обладнання для покриття таблеток оболонками .....	182
Обладнання для полірування таблеток .....	185
Фасувальне та пакувальне обладнання для таблеток .....	185
<b>Розділ 8. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ІН'ЄКЦІЙНИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ .....</b>	<b>195</b>
<b>Види ампул та особливості їх виробництва .....</b>	198

Підготовка повітря для виробничих приміщень.....	204
Обладнання для водопідготовки.....	206
Фільтраційні установки для ін'єкційних розчинів .....	213
Обладнання виробництва ампул.....	214
Устаткування для наповнення ампул.....	224
Устаткування для запаювання ампул .....	229
Автоматизовані лінії процесу ампулювання .....	233
Обладнання для контролю якості запаювання.....	236
Обладнання для маркування і пакування .....	238
Альтернативні форми упаковки ін'єкційних лікарських засобів.....	242
<b>Розділ 9. ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ .....</b>	<b>245</b>
Теплообмінники.....	245
Основні теплоносії і холодоагенти та вимоги до них .....	250
Випарювання та обладнання.....	252
<b>Розділ 10. МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ .....</b>	<b>257</b>
<i>Процеси масообміну.....</i>	<i>257</i>
Абсорбція та апаратура.....	258
Адсорбція та апаратура.....	271
Десорбція.....	276
Екстрагування і область застосування процесу .....	277
Перегонка, її види та обладнання .....	281
Кристалізація та сфера застосування .....	287
<i>Процес сушіння у виробництві лікарських засобів.....</i>	<i>291</i>
Характеристика процесу сушіння та класифікація обладнання .....	291
Теоретичні основи сушіння.....	295
<b>Організація процесу сушіння у фармацевтичній та біотехнологічній</b>	
<b>    промисловостях .....</b>	<b>310</b>
<b>Основні види сушильних апаратів та принцип їх роботи .....</b>	<b>311</b>
<i>Конвективні сушарки.....</i>	<i>312</i>
Камерні сушарки .....	312
Тунельні сушарки .....	313
Стрічкові сушарки .....	313
Барабанні сушарки .....	314
Аерофонтанні сушарки.....	316
Сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром .....	317
<i>Сушарки з віброкиплячим шаром .....</i>	<i>319</i>
Розпилювальні сушарки .....	321
Турбулентні сушарки.....	327
Роторні сушарки .....	328
Пневматичні сушарки .....	328
Сушарки з закрученими потоками газодисперсної суміші.....	333
Фільтраційні сушарки.....	335
<i>Контактні сушарки .....</i>	<i>337</i>



Вакуум-сушильні шафи .....	338
Гребкові вакуум-сушарки .....	338
Вальцеві сушарки .....	339
<i>Спеціальні сушарки та перспективні методи сушіння</i> .....	340
Терморадіаційні сушарки .....	340
Мікрохвильове сушіння .....	343
Високочастотні сушарки .....	343
Сублімаційні сушарки (ліофілізатори) .....	344
Циклічна вакуум-сублімаційна сушарка .....	352
Розпилювальна сублімаційна сушарка .....	354
<i>Комбіновані сушарки</i> .....	355
<b>Способи інтенсифікації процесів сушіння</b> .....	357

**Розділ 11. МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТРОЛЬ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ** .....

359

**ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТУРИ** .....

392

**ДОДАТКИ** .....

399

**ЛІТЕРАТУРА** .....

406

## **Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Фармацевтичні заводи побудовані за цеховим принципом, зазвичай вони мають 4 основних цехи: галеновий; таблетковий; ампульний; фасувальний.

У галеновому цеху зосереджено виробництво екстрактів і настоянок, а також новогаленових препаратів, біогенних стимуляторів, тощо. У цьому цеху проводиться екстрагування рослинної сировини різними методами (мацерація, перколяція, циркуляція і ін.), операції з розділення рідких і твердих фаз (відстоювання, фільтрування, пресування), відгонка спирту та інших екстрагентів, випарювання, сушіння під вакуумом, розчинення, змішування та т.д.

В таблетковому цеху виготовляються таблетки, що являють собою спресовані порошкоподібні суміші. Основні виробничі операції у цьому цеху - подрібнення вихідних речовин, змішування, гранулювання маси і таблетування.

У ампульному цеху виготовляються розчини в ампулах для ін'єкцій. Тут виробничий цикл складається з розчинення вихідних речовин, фільтрації розчинів, виготовлення ампул, підготовки їх до наповнення (мийка та інші операції), наповнення, запаювання, стерилізації та маркування.

У фасувальному цеху фасується продукція, що виробляється на підприємстві.

Робота в цехах проводиться у відділеннях (виробничі ділянки), наприклад відділення мазей у галеновому цеху. На підприємствах спеціалізованого профілю можуть бути такі цехи, як пластирний, супозиторний та ін. Підприємства вузького профілю можуть бути одноцехові, наприклад завод, що випускає гірчичники.

На кожному фармацевтичному підприємстві, крім основних цехів є підсобні цехи та відділення, які обслуговують основні цехи.

*Основна апаратура* – реактори, автоклави – апарати потрібні для проведення хімічних і фізико-хімічних процесів, у результаті яких утворюються необхідні продукти. *Допоміжна апаратура* – мірники, збірники, сховища – апарати, які суттєво не впливають на технологічний процес.

### **Особливості процесів та апаратів фармацевтичної промисловості**

#### **1. Висока якість отримуваних продуктів.**

Для цього слід використовувати відповідне обладнання, виготовлене з матеріалів високої чистоти. Сам технологічний процес та обладнання мають відповідати міжнародним стандартам GMP, які передбачають особливі вимоги стосовно виробництва лікарських препаратів.

2. Унеможливлення попадання біологічно активних речовин в навколишнє середовище (герметичність обладнання, системи вентиляції).

3. Надзвичайно великий асортимент продуктів (мінерального, рослинного, тваринного і синтетичного походження), які використовують у виробництві.

4. Вихідні речовини, які використовують у виробництві, дуже часто мають низьку якість, що зумовлює необхідність встановлення додаткового обладнання для їх очистки.

5. Невеликі обсяги продукції при широкому асортименті препаратів і напівпродуктів їх одержання. При цьому всі речовини, які виготовляються, мають бути перероблені на готові лікарські форми.

6. Достатньо швидке поновлення номенклатури лікарських засобів, завдяки чому широко використовують сумісні схеми виробництва, які дозволяють швидко переходити від отримання одного препарату до випуску іншого.

7. Багатостадійність виробництва, кожна стадія якого характеризується своїм значенням коефіцієнта виходу  $\eta$ , і що більше стадій, то нижчим є загальний  $\eta$ .

Тобто, якщо загальний коефіцієнт виходу невеликий (наприклад, 20%), то отримаємо порівняно невелику кількість готової продукції (20%). Отож на одиницю готової продукції треба взяти в декілька разів більше сировини, ніж це розраховано за стехіометричним рівнянням хімічної реакції, тобто великі витратні коефіцієнти.

8. Складні умови протікання корозії в реакційних середовищах. Використовується обладнання, яке виготовлене з корозійностійких матеріалів або має захист від корозії (емальоване, гумоване, захищене різними полімерними матеріалами).

9. У виробництві застосовують дуже велику кількість легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин (петролейний ефір, ацетон, спирти), тому високі вимоги до герметизації обладнання зокрема та техніки безпеки і протипожежної охорони в цілому.

10. Висока вартість готових препаратів. Вона пов'язана з великою кількістю і вартістю вихідних речовин, високою вартістю технологічних схем, що вимагають додаткового контролю, енергоємністю виробництв, чистотою продуктів тощо.

Обладнання поділяється на: періодичної, неперервної та напівперервної дії (один компонент подається і вивантажується неперервно, а інший періодично).

Головною характеристикою устаткування є його продуктивність – тобто кількість отриманого готового продукту за одиницю часу.

## **Особливості процесів та апаратів біотехнологічних виробництв**

Принципова відмінність біотехнологічних процесів полягає в наступному:

- чутливість біологічних агентів до фізико-механічних впливів;
- наявність міжфазового переносу речовин (за типом «рідина - клітини», «газ - рідина - клітини»);
- вимоги умов асептики;
- низькі швидкості протікання багатьох процесів в цілому;
- нестабільність цільових продуктів;
- піноутворення;
- складність механізмів регуляції росту і біосинтезу.

### **Основні вимоги до обладнання**

*Технологічні вимоги:*

– максимальна продуктивність при мінімальних затратах матеріалів, енергії, праці;

– стійкість заданого технологічного режиму і основних параметрів процесу (тиск, температура, концентрація), точність і зручність регулювання, можливість використання автоматичного контролю і керування;

– механізація й автоматизація завантаження і вивантаження;

– конструкція апаратів повинна відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії: гарантувати безпеку праці, унеможливити шкідливі викиди і випромінювання шляхом герметизації та ізоляції апаратури. Апарати фармацевтичних виробництв постачають запобіжними системами, що попереджають аварії, а також обгороджують їх деталі, що рухаються, і вузли; устаткування повинно строго відповідати високим санітарно-гігієнічним вимогам, які попереджають бактеріальні, механічні або хімічні забруднення і розкладання лікарських засобів.

Для забезпечення зазначених умов апарати мають бути герметичні, зручні для можливого ретельного очищення і дезінфекції, а також повинні бути виготовлені з матеріалів, які не взаємодіють з навколишнім середовищем, та матеріалами, що переробляються.

*Конструктивні вимоги:*

– механічна міцність і стійкість форми (підвищений запас міцності до дії високих тисків, температур, шкідливих і вибухонебезпечних речовин);

– довговічність і надійність (корозійна стійкість і періодичний ремонт, безпека експлуатації);

– конструктивна досконалість (малі габарити і вага, простота конструкції, дешевизна, застосування стандартних легко замінних деталей і вузлів, а також

зручність в експлуатації, ремонті, монтажі і розбиранні; технологічність у виготовленні);

– транспортабельність (можливість перемішувати як у межах цеху, так і в межах підприємства);

– уніфікація (можливість використання для подібних процесів).

Під час проектування апарата, щоб зменшити його масу, використовують таку форму, при якій відношення бічної поверхні апарата до його об'єму було б мінімальним. Найменше відношення поверхні до об'єму мають апарати кульові, які використовуються у процесі створення сховищ для рідин. У проектуванні апаратів циліндричної форми з кришкою і плоским дном зазначена умова зберігається при співвідношенні  $H:D = 2$  ( $H$  – висота,  $D$  – діаметр). Виготовлення окремих деталей і вузлів з матеріалів високої міцності також зменшує масу апарата.

### Експлуатаційні вимоги

Апарат створюється для проведення визначеного технологічного процесу, що вимагає певних умов. Такими умовами є: температура і тиск, при яких здійснюється процес; швидкість руху і взаємний контакт потоків; механічні, теплові та інші впливи. Так, при варінні холосасу, що містить цукор і пектинові речовини, можуть утворюватися осадки на поверхні обігріву і накопичуватися продукти карамелізації, що впливають на процес теплообміну, тому раціонально застосування казана, приведеного на рис.1. Казан має циліндричний корпус 1, сферичне днище 2, обладнане паровою сорочкою 3 і якірною мішалкою 4. Мішалка сприяє рівномірному обігріву холосасу, а також запобігає осадженню і карамелізації цукру. Конструкція такого апарату дозволяє створити оптимальні умови для протікання процесу, тоді як інші типи апаратів (наприклад, циліндрична форма казана з плоским днищем, лопатевою мішалкою і змійовиком для пари) не забезпечили б зазначених умов.

Головною характеристикою апарата є його продуктивність, тобто кількість отриманого готового продукту за одиницю часу.

Більш достовірно характеризує конструкцію апарату продуктивність, віднесена до  $1 \text{ м}^2$  поверхні, наприклад: напруженість випарних апаратів — кількість води, випареної за 1 год. і віднесена до  $1 \text{ м}^2$  його поверхні.

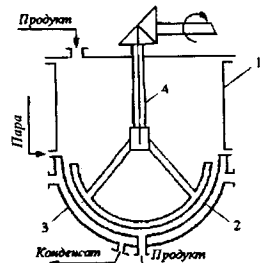


Рис. 1. Холосасоварний казан:  
1 - корпус; 2 - днище; 3 - парова сорочка; 4 - мішалка

Продуктивність апарату можна збільшити інтенсифікацією процесу, заміною періодичних процесів безперервними, механізацією та їх автоматизацією.

#### *Вимоги техніки безпеки та промислової санітарії*

Апарати і прилади для хіміко-фармацевтичного виробництва проектують і виготовляють з необхідним запасом міцності, оснащують їх запобіжними системами, що попереджують аварії, а також огорожують його рухомі деталі і вузли.

Тому використовують найбільш зручні в цьому відношенні герметично закриті апарати безперервної дії, у яких контроль здійснюється з пульта керування автоматично з відповідним подвійним захистом (наприклад, тепловий та електричний). Апарати фармацевтичних виробництв повинні строго відповідати високим санітарно-гігієнічним вимогам, що попереджує бактеріальне, механічне або хімічне забруднення і розклад лікарських засобів.

Для забезпечення зазначених умов апарати повинні бути герметичні, зручні для можливого ретельного очищення і дезінфекції, крім того, апарати повинні бути виготовлені з матеріалів, які не взаємодіють з навколишнім середовищем, та матеріалами, що переробляються.

#### *Економічні вимоги*

Витрати на проектування, виготовлення, монтаж і експлуатацію хіміко-фармацевтичних апаратів з урахуванням оптимально-реальних умов повинні бути мінімальними та обґрунтовані техніко-економічними розрахунками. Економічна доцільність впровадження у виробництво апарату залежить від якості виробленої на ньому продукції і витрат на його обслуговування.

### **Класифікація основних процесів у фармацевтичній та біотехнологічній промисловості**

Процеси хіміко-фармацевтичної технології розділяють на п'ять основних груп у залежності від закономірностей, що характеризують їх проходження.

*Перша група* - гідромеханічні процеси, швидкість яких визначається тільки законами гідродинаміки. До них належать: осадження зважених частинок у рідкому або газоподібному середовищі під дією сили ваги, відцентрової сили або сил електричного поля; фільтрування рідин або газів через шар зернистого матеріалу, що відбувається під дією різниці тисків; перемішування в рідкому середовищі та ін.

*Друга група* - теплові процеси, швидкість яких визначається законами поширення тепла. У цю групу входять процеси нагрівання, охолодження і конденсації.

*Третя група* - масообмінні (дифузійні) процеси. Їх швидкість визначається швидкістю переходу речовин з однієї фази в іншу, тобто законами масопередачі. До дифузійних процесів належать абсорбція, екстракція, ректифікація, адсорбція, сушіння та ін.

*Четверта група* - хімічні процеси, пов'язані з перетворенням речовин і зміною їх властивостей. Швидкість цих процесів визначається закономірностями хімічної кінетики.

*П'ята група* - механічні процеси, що включають подрібнення твердих матеріалів, класифікацію сипучих матеріалів і їх змішування.

Вищевикладене дозволяє сказати, що в основі класифікації хіміко-технологічних процесів у фармацевтичному виробництві лежать кінетичні закономірності.

Відповідно до цього всю апаратуру доцільно класифікувати за наступними групами:

1. Гідромеханічні апарати.
2. Теплові апарати.
3. Масообмінні апарати.
4. Реактори - апарати для здійснення хімічних перетворень.
5. Механічні апарати.

До 5-ої групи належать апарати, основою яких є механічний вплив на матеріал (подрібнення, просівання, змішування, пресування та ін.).

Також залежно від характеру обробки та виду обладнання, яке використовують для виконання технологічних процесів фармацевтичних виробництв, розрізняють *машинні*, *апаратні* та *змішані* технологічні процеси. Для машинних технологічних процесів використовують таке обладнання, як дробарки, млини, гранулятори, преси, мішалки, машини для ампулювання, упакування наповнення туб, аерозольних балонів, тобто таке обладнання, яке обробляє вихідну сировину шляхом дії на неї робочими органами. До апаратних технологічних процесів відносять хімічні реакції, нагрівання, випаровування, тобто таке обладнання, в якому відбувається зміна хімічних, біохімічних властивостей об'єкту, масообмін, тощо. Найбільш часто використовуються змішані технологічні процеси, які включають в себе використання машинних та апаратних технологічних процесів.

У біотехнологічній промисловості ситуація щодо класифікації процесів дещо інша. Говорячи про процеси в біологічній технології, не можна плутати їх з процесами хіміко-фармацевтичної технології. Так, головним компонентом

перших є біооб'єкти (вірус, бактерія, гриб, рослинні або тваринні клітини, біомолекули). Такі об'єкти відсутні в хімічній технології. Іншим прикладом може служити застосування високих температур, які, як правило, неприйнятні в біотехнології, але часто використовуються в хімічній та фармацевтичній технології. Багатостадійність і високі тиски також є атрибутами фармацевтичної технології, а не біотехнології. Однак біохімічні і хімічні реакції йдуть принципом ле Шательє.

В основу поділу біотехнологічних процесів можуть бути покладені різні принципи, наприклад, оцінка: належність біооб'єктів до надцарства живих істот (процеси на основі використання акаріот, прокаріот, еукаріотів), функціональної активності біооб'єкту (біосинтез, біотрансформація), можливості виокремлення окремих етапів з біотехнологічних схем виробництва у вигляді самостійних процесів (підготовка поживних середовищ і обладнання; стерилізація поживних середовищ обладнання, повітря, ферментація (культивування) біооб'єкту; виділення, очищення та пакування готового продукту і т. д.

Біотехнологічні процеси умовно можна підрозділити на біологічні, біохімічні та біоаналогічні. До перших відносять ті з них, які ґрунтуються на використанні акаріотів, прокаріотів і еукаріотів, другі - на використанні ферментів, і треті (біоаналогічні) - на хімічному синтезі або напівсинтезі речовин, функціонально близьких або еквівалентних первинним або вторинним метаболітам живих організмів (одержання похідних пеніциліну і цефалоспору, тетрацикліну, нуклеїнових основ та ін.)

Крім того, біотехнологічні процеси можна класифікувати за:

- *характером біооб'єкту*: плазмід, фаги, віруси рослин і ссавців; клітини прокаріотів; клітини еукаріотів; біомолекули (ферменти, нуклеїнові кислоти або їх компоненти та ін.);
- *загальністю і специфічністю біотехнологічних процесів*: загальні; спеціальні - мікробна біотехнологія; фітобіотехнологія; зообіотехнологія;
- *числом біооб'єктів*: один (наприклад, іммобілізований фермент, одна чиста культура - продуцент глікана і т. д.); два і більше (наприклад, іммобілізована поліферментна система)
- *умовами проведення реакцій*: нестерильний, стерильний, аеробний, анаеробний, поверхневий, глибинний, періодичний, напівбезперервний, безперервний, твердофазний, газозфазний, одноступінчастий, двоступінчастий, багатоступінчастий;
- *стадіями реалізації технології виробництва*: підготовка обладнання та поживних середовищ, стерилізація обладнання, поживних середовищ, повітря,



посів і вирощування (культивування) біооб'єкту, виділення, очищення, сушіння, стерилізація (при необхідності) продукту, упакування продукту;

- *цільовими продуктами*: клітинна біомаса, первинні метаболіти, вторинні метаболіти;
- *механізмом утворення кінцевого продукту*: біосинтез, біотрансформація;
- *керуванням процесу*: керовані, некеровані;
- *типом біотехнологічного процесу*: простий, спільний, послідовний, ступеневий.

## Розділ 2. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Асортимент матеріалів апаратури є чималим, що пов'язано з великою кількістю (за властивостями) продуктів. Широко використовують сталь, чавун, мідь, бронзу, латунь, алюміній, олово та ін. Однак до всіх матеріалів, з яких виготовляють обладнання, як правило, висувають такі основні вимоги:

1. Корозійна стійкість (часто найголовніша). Використовують матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,01–0,05 мм/рік.

2. Висока механічна міцність.

3. Відповідна хімічна стійкість.

4. Матеріал не повинен мати властивостей каталізатора чи інгібітору процесу.

5. Необхідні для даного процесу фізико-хімічні властивості (висока чи низька теплопровідність, придатність до механічної обробки тощо).

За характером використання матеріали поділяються на:

– конструкційні (для виготовлення апаратури);

– матеріали для захисту (захисні покриття, найчастіше від корозії).

Серед конструкційних матеріалів найпоширенішими є сталі і чавуни.

### *Вуглецеві сталі і чавуни*

*Сталь* – це сплав заліза з карбоном (вміст карбону до 1,7%); крім того, як домішки, сталі містять: силіцій (0,1–0,35%), марганець (0,35–0,7%), сірку (0,03–0,05%), фосфор (0,03–0,05%) та ін. Сірка і фосфор, а також водень, нітроген і кисень є шкідливими домішками. Із збільшенням вмісту карбону зростає твердість сталі та зменшується її в'язкість. За невеликого вмісту карбону (0,2–0,3%) звичайна сталь є відносно м'якою й еластичною, легко кується і зварюється, однак погано гартується. Сталі з високим вмістом карбону характеризуються підвищеною твердістю і пружністю, добре гартуються, але погано зварюються. Сталі бувають вуглецеві і леговані (містять домішки різних металів для покращення властивостей).

Вуглецеві сталі (ГОСТ 380-71) залежно від призначення поділяються на групи:

А – з гарантованими механічними властивостями;

Б – з гарантованим хімічним складом;

В – відповідні і міцність, і хімічний склад.

Найчастіше використовують сталі групи А, які виготовляють наступних марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, Ст7. Марки між собою відрізняються за механічними властивостями. Звичайні сталі легко окислюються під впливом

кисню повітря і вологи, тому при зіткненні лікарської речовини (у виді розчину) з іржавою поверхнею відбувається і механічне забруднення, і перехід іонів заліза в готовий препарат, що обмежує використання цих сталей та потребує їхнього додаткового захисту від корозії. Часто допоміжне обладнання виготовляють із сталі Ст2, апарати – із Ст3, а коли потрібно досягнути високої міцності (особливо важливі вузли і деталі апаратів), використовують Ст5, Ст6 і Ст7. Ст3 найчастіше використовують тоді, коли реактори додатково захищають від корозії (наприклад, емалюють). Звичайна вуглецева сталь Ст2 застосовується за температур до  $+120^{\circ}\text{C}$  і тисках до 0,8 МПа, а Ст3 використовується в діапазоні температур  $-30$ – $+450^{\circ}\text{C}$  і тисках до 5 МПа. Міцність сталей суттєво підвищується при додаванні марганцю (до 2%) та інших металів (Ti, Cr, Ni...), робочий тиск марганцевих сталей може бути необмеженим.

Чавун – це сплав заліза з карбоном (вміст С 1,7–4,5%); крім цих елементів він містить: 0,5–4,5% Si, до 1,2% Mn і не більше 0,2% P та 0,1% S (шкідливі домішки). Чавуни характеризуються задовільною корозійною стійкістю, але на відміну від сталей є менш міцними і мають більшу крихкість, погано зварюються і погано піддаються механічній обробці, тому вироби з них виготовляють литвом. Литі вироби не повинні мати гострих кутів і різких змін товщини, оскільки в цих місцях при охолодженні з'являються тріщини. Товщина виробів не повинна перевищувати 50-60 мм, оскільки міцність виробу при збільшенні товщини падає. Чавунні апарати працюють в діапазоні температур  $-15$ – $+250^{\circ}\text{C}$  та тисках до 0,8 МПа і погано витримують різкі перепади температур. Чавун буває:

- сірий СЧ (СЧ 28-48);
- ковкий КЧ (КЧ 30-6);
- високоміцний ВЧ (ВЧ 50-1,5).

Перша цифра в позначеннях чавунів – це міцність на розрив ( $\text{кг}/\text{мм}^2$ ), а друга:

- для СЧ – міцність на згин ( $\text{кг}/\text{мм}^2$ );
- для КЧ і ВЧ – відсоток видовження (%).

З чавунів найчастіше виготовляють апарати нескладної конфігурації (мають товсту стінку і є важкими), опори апаратів, труби холодильників та деякі інші деталі.

### ***Леговані сталі і сплави, біметали***

Якщо до звичайної сталі додати Ni, Mn, Cr, Ti, Mo, V, W та інші метали, то сталь набуває підвищеної механічної міцності і корозійної стійкості (витримує дію кислот, лугів і розчинів солей, які роз'їдають звичайну вуглецеву сталь) та називається *легованою*. Залежно від властивостей (хімічного складу)

руйнівного середовища використовують різні марки легованої сталі. Для позначення марок легованих сплавів згідно ГОСТів використовують літерно-цифрову систему. Зокрема, літери відповідають легуючим елементам:

Елемент	Ni	Cr	Mo	W	V	Si	Mn	Cu	Ti	Al
Позначення	Н	Х	М	В	Ф	С	Г	Д	Т	Ю

Перші дві цифри, які стоять перед буквами, позначають вміст вуглецю в сотих частках відсотків, а цифри, які стоять після літер, – вміст даного елемента у відсотках. При цьому, якщо в сплаві є менше 2% легуючого елемента, то його вміст в сплаві цифрами не вказують.

Наприклад: сталь 12Х18Н10Т містить 0,12% карбону, 18% – хрому, 10% – нікелю та менше 2% титану.

До сталей відносять сплави, які містять не менше 45% заліза. Залежно від кількості легуючих додатків розрізняють низько-, середньо- і високолеговані сталі. Особливо ефективними щодо корозійної і кислотостійкості при дії високих температур є високолеговані сталі, які містять нікель та хром. Вони поділяються на:

1. Корозійностійкі (нержавіючі) – стійкі до електрохімічної і хімічної корозії (атмосферної, кислотної, лужної, ґрунтової тощо). Найпоширенішими є такі марки: Х17, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т та ін.

2. Жаростійкі – характеризуються стійкістю до хімічного руйнування поверхні в газових середовищах за температур 550°C і вище при навантаженому чи слабко навантаженому стані стінки апарата. Сюди відносять: Х17, Х28, Х18Н10Т, Х25Т, Х23Н18...

3. Жароміцні – працюють певний час за високих температур в навантаженому стані і є достатньо стійкими до утворення окалини. Це, зокрема, сталі марок: 1Х13, 2Х13, Х23Н18 та ін.

Леговані (нержавіючі) сталі є найпоширенішим матеріалом для виготовлення трубопроводів і робочих поверхонь устаткування хіміко-фармацевтичних підприємств. Відшліфована поверхня такої сталі має добрі антикорозійні властивості, не вимагає покриття спеціальними лаками і дозволяє здійснювати відповідну санітарну обробку. З них також виготовляють відповідальні деталі (вали, центрифуги, колінчаті вали, підшипники та ін.), що працюють у неагресивних середовищах, та прилади, апарати й установки, які використовуються для переробки агресивних середовищ (ін'єкційних розчинів, що містять кислоти і луги, лікарських фруктових соків тощо).

Леговані сталі є значно дорожчими, ніж звичайні вуглецеві. Тому з метою економії коштів для виготовлення апарату, коли потрібно забезпечити його

корозійну стійкість, використовують двошаровий листовий прокат – біметал, який складається з двох гомогенно з'єднаних шарів:

1) основного (товстого) – з вуглецевої сталі, товщина його визначається умовами міцності стінки апарата;

2) захисного (тонкого) – з легованої сталі завтовшки не менше 2 мм. Зазвичай, товщина цього шару становить 10% від товщини основного, але не перевищує 20 мм. Інколи захисний шар виготовляють з інших кольорових металів (Al, Ag, Au...).

Загальна товщина біметалічних стінок апаратів є в межах 4–160 мм, а максимальна робоча температура – до 450°C. Таке поєднання дає змогу отримати матеріал з високими механічними та антикорозійними властивостями і є особливо ефективним у виготовленні товстостінної апаратури високого тиску (економія до 4 разів).

*Феросимід* – сплав заліза з силіцієм. Випускається двох марок: С15 і С17 (С – силіцій). Цей матеріал характеризується підвищеною хімічною стійкістю і стійкістю до дії азотної, сірчаної і холодної соляної кислот та розчинів солей. Однак він не стійкий до дії розчинів  $H_2SO_3$  і розплавів солей, є дуже крихким і чутливим до різких змін температури. Феросимід використовують для виготовлення котлів, насосів, труб, арматури тощо.

*Антихлор* – цей сплав, окрім силіцію, містить молібден (вміст силіцію  $\approx$  15%, а Мо – 3,5%). Він більш стійкий до дії HCl (витримує її дію навіть за 90°C). Недоліки: важко обробляється і має високу вартість.

### ***Кольорові метали і сплави***

#### ***Мідь й її сплави***

*Мідь* – м'який метал з низькою механічною міцністю, стійкий до атмосферної корозії, але за температури вище ніж 180°C починає окислюватися. Корозія міді в морській воді незначна, однак при цьому мідь не має контактувати зі сталлю. Мідь стійка до сірчаної кислоти й лугів за відсутності повітря, але не виявляє корозійної стійкості до азотної кислоти, аміаку, вологого сірководню, хлористого водню, сухого хлору.

Мідні апарати можуть працювати за температури до 250°C; за вищих температур міцність міді значно зменшується. Зі зниженням температури механічні властивості міді навпаки поліпшуються, тому її застосовують для виготовлення апаратів, що працюють за температур до –254°C.

Для виготовлення апаратів мідь застосовують у вигляді листів і труб. Виготовляють теплообмінники, ємкості, ректифікаційні колони. Апарати з міді виготовляють зварюванням і пайкою, деякі деталі виконують із міді прокаткою або штампуванням.

У промисловості широко використовують сплави міді, вони мають кращу механічну міцність і підвищену корозійну стійкість.

Латуні – сплави міді із цинком – широко застосовують для виготовлення теплообмінних апаратів. Вони стійкі в середовищі чистого кисню, однак у розчинах кислот швидко руйнуються. Не можна застосовувати латуні для виготовлення апаратів, деталі яких контактують з аміачними розчинами, хлоридами заліза й міді. Механічні властивості латуней залежать від їхнього хімічного складу й структури. Більш високими механічними властивостями характеризуються леговані (спеціальні) латуні. Латуні, які леговані алюмінієм чи оловом, мають, до того ж, високу корозійну стійкість і жаростійкість. Стійкість латуні до корозії звичайно вища від стійкості чистої міді. На латунь сильно діють азотна й соляна кислоти, дещо слабше – сірчана кислота. Латуні зі збільшеним вмістом цинку мають високу стійкість у середовищі сірководню.

Устаткування, виготовлене з латуні, за певних умов піддається особливим видам корозії (обесцинковування, корозійне розтріскування тощо). Тому для кожного випадку застосування латуні потрібно за довідником визначити умови постачання (хімічний склад) й експлуатації.

Бронзи – це сплави міді з оловом. Олово забезпечує підвищену міцність і твердість сплаву, але різко знижує його пластичність. Часто олов'яні бронзи замінюють більше економічними й міцнішими алюмінієвими бонзами – сплавами міді з алюмінієм. Промисловість випускає також спеціальні бронзи, які не містять олова, але в них є добавки алюмінію, марганцю, кобальту, кремнію й ін. Всі бронзи мають низький коефіцієнт електроопору, високу механічну міцність, гарний вигляд, є хімічно стійкими до атмосферної корозії і розчинів кислот.

Мідно-нікелеві сплави – мають високий вміст нікелю та домішки інших металів (Zn, Mn...). Найпоширеніший із них – мельхіор (вміст Ni – 20–30%)

### **Алюміній і його сплави**

Алюміній вигідно відрізняється від інших конструкційних кольорових металів малою густиною ( $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ ), високою пластичністю, теплопровідністю і корозійною стійкістю в атмосферних умовах, але погано працює на розтяг. Механічні властивості алюмінію залежать від його хімічної чистоти. Наявність у технічному алюмінію заліза й кремнію знижує його пластичність, але підвищує міцність. Міцність алюмінію невисока, тому апарати, виготовлені з нього, не можуть працювати за високого тиску (за температури 70°C витримують до 0,6 МПа). Завдяки оксидній плівці алюміній дуже стійкий до дії кислот ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) і сухих газів ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ). Однак у

деяких середовищах, наприклад, у лугах, алюміній не має навіть найменшої стійкості до корозії.

Дедалі більше застосовують алюмінієві сплави, що перевершують алюміній й інші кольорові метали за багатьма властивостями, насамперед, за показниками міцності. Найпоширеніший з них – *силумін* – сплав алюмінію з кремнієм (9–13%). Силуміни особливо стійкі до дії  $\text{HNO}_3$  (марки СИЛ-1 і СИЛ-2, вміст Si 9–13%).

Алюміній і його сплави дуже чутливі до зміни температури. Особливо сильне зниження міцності спостерігається за температур вище  $200^\circ\text{C}$ , тому застосовують їх за температур до  $150^\circ\text{C}$ . Нижня межа температури, за якої застосовують алюмінієві сплави, –  $190^\circ\text{C}$ .

З алюмінію і його сплавів виготовляють теплообмінники, мірники, ємкості, апарати, трубопроводи. У конденсаційно-холодильній установці корозійна стійкість алюмінієвих сплавів у два з лишнім рази вища, ніж легованої сталі (1X18H9T).

### Сплави нікелю

Нікель має добрі механічні властивості і високу корозійну стійкість у багатьох агресивних середовищах за досить високих температур. Наприклад, він стійкий у розчинах лугів до  $400\text{--}450^\circ\text{C}$ , не руйнується в розчинах концентрованої сірчаної кислоти, у середовищі хлору, сірчистого газу. Однак нікель – дорогий матеріал, тому в апаратобудуванні його використовують дуже рідко. Широко застосовують сплави нікелю, перевагами яких є стійкість у багатьох агресивних середовищах і здатність зберігати міцність за високих температур. Їх застосовують у тих випадках, коли необхідна більша корозійна стійкість матеріалу в поєднанні з його добрими механічними властивостями за високої температури. В апаратобудуванні широко застосовують такі сплави нікелю, як монел-металом (67–69% нікелю, 28% міді, 1,5–2,5% заліза й 1–2% марганцю) і хастеллой (18–20% молібдену і 5–22% заліза). Нікельмолібденові і хромонікельмолібденові сплави мають високу стійкість до корозії в соляній і сірчаній кислотах, що в багато разів більша від стійкості нержавіючих сталей і в 10 разів – від стійкості латуней.

### Свинець

Свинець характеризується низькими температурою плавлення ( $327^\circ\text{C}$ ) і міцністю та високими пластичністю і густиною ( $\rho = 11000 \text{ кг/м}^3$ ), а тому як конструкційний матеріал є непридатний. Його застосовують для захисту поверхонь сталених апаратів, що стикаються з агресивними середовищами (слабкі водні розчини кислот, сірководню, солей), у холодильниках робочого

розчину сульфату алюмінію, у кислотних мішалках, сушарках тощо. Наносять свинець на поверхні у розплавленому вигляді та у вигляді плит завтовшки 2–5 мм: За кімнатних температур він стійкий до дії сірчаної (концентрацією до 80%) і соляної (концентрацією до 15%) кислот. Повністю свинцевими виготовляють труби для кислот, змійовики, гільзи для термометрів і т.д.

### **Рідкісні метали (Ti, Ta, Zr)**

Всі ці метали є дуже стійкими до дії кислот та інших хімічних реагентів, мають високу механічну міцність та витримують значні температури і тиски, однак є дорогими (особливо Ta і Zr).

Титан застосовують для виготовлення апаратів, які працюють у таких агресивних середовищах, як азотна кислота будь-якої концентрації, вологий хлор, розведена сірчана кислота, соляна кислота, суміш соляної і сірчаної кислот за кімнатних температур, органічні кислоти тощо. Маючи невелику густину, титан і його сплави за міцністю перевершують сталі найкращих марок, добре куються, штампуються, прокатуються, зварюються, задовільно обробляються на металорізальних верстатах. Ці властивості роблять титан найбільш перспективним конструкційним матеріалом для виготовлення устаткування, яке працює в дуже агресивних середовищах. Зараз промисловість випускає устаткування з титану (центрифуги, фільтри, ємкості, випарні апарати), однак вартість Ti поки що дуже велика, тому його застосовують лише для виготовлення невеликих апаратів, а також як захисний шар у сталевих апаратах.

Тантал у 14 разів має кращу теплопровідність, ніж сталь, він ще стійкіший до дії кислот, соляну кислоту витримує навіть за температури кипіння. З нього виготовляють теплообмінники та інші апарати.

Цирконій стійкий до дії мінеральних та органічних кислот в широкому діапазоні температур.

### **Неметалічні матеріали**

Для виготовлення устаткування фармацевтичних заводів дедалі частіше застосовують неметалічні матеріали. У багатьох випадках вони успішно замінюють дефіцитні високолеговані сталі й кольорові метали, що пов'язано з їхніми хорошими експлуатаційними властивостями, насамперед, високою корозійною стійкістю в сильноагресивних середовищах. Як самостійні конструкційні матеріали їх застосовують порівняно рідко, зазвичай ними покривають поверхні металевого устаткування. Широко застосовують неметалічні матеріали неорганічного й органічного походження, а також їхні комбінації.



## 1. Матеріали неорганічного походження

Ці матеріали використовують і як конструкційні, і для виготовлення захисних покриттів. Найпоширенішими є: кераміка, фарфор, скло, в'язучі матеріали, кислотостійкий бетон, азбест.

Вони мають високу кислотостійкість, механічну міцність, витримують дію високих температур. Однак ці матеріали погано піддаються механічній обробці, крихкі, погано переносять різкі перепади температур, мають малу теплопровідність. Часто їх використовують як ізоляційні матеріали та для футерівки апаратів, з них виготовляють труби, арматури, прокладки тощо.

Дуже поширеним є використання кислотостійких бетонів і замазок – композитів на основі рідкого скла ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2(\text{K}_2)\text{O}$ ) з силікатними наповнювачами (кварцовий пісок, кам'яне лиття) і  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (прискорювач твердіння). Такі бетони широко використовують у виготовленні сховищ для кислот.

Кислотостійка кераміка виготовляється з природної або збагаченої глини шляхом випалу в суміші з піском і польовим шпатом. З неї виготовляють вироби й деталі апаратів, які характеризуються газонепроникністю і стійкістю до дії сильних кислот за високих температур, однак до впливу їдких лугів кислотостійка кераміка є нестійка.

Кам'яне лиття (плавлений діабаз або базальт) одержують плавленням гірських порід і подальшою термічною обробкою відлитих виробів – футеровочних плит або фасонних деталей (труб, штуцерів, лотків тощо). Кам'яне лиття вирізняється високою хімічною стійкістю, механічною міцністю, газонепроникністю й зносостійкістю.

Емалі неорганічного походження мають досить високу корозійну стійкість і міцність, гарний декоративний вид. Склоподібні маси одержують сплавленням у відповідних співвідношеннях піску, польового шпату, різних глин з бурою, содою, селітрою та іншими матеріалами. Оксиди нікелю і кобальту, що входять до складу маси, забезпечують добре зчеплення її з металевою поверхнею та надають емалі потрібного забарвлення.

## 2. Матеріали органічного походження

До неметалічних матеріалів органічного походження відносять пластмаси, матеріали на основі каучуку, вуглеграфітові матеріали, лаки й фарби.

### *Пластмаси як конструкційні матеріали*

Пластичні маси є перспективними матеріалами в апаратобудуванні для хіміко-фармацевтичного виробництва. Нині знайшли своє застосування вініпласт, поліетилен, поліпропілен, фторопласт та ін. Пластмаси поділяються на термопластичні й термореактивні. Термопластичні пластмаси постійно

зберігають здатність до формування за певних температури й тиску, тобто можуть багаторазово розм'якшуватися при нагріванні й тверднути при подальшому охолодженні. Термореактивні пластмаси швидко втрачають здатність до формування в результаті термічного впливу, тобто тільки один раз розм'якшуються від нагрівання і плавляться в процесі виготовлення виробу. Нижче наведено коротку характеристику пластмас, що найчастіше використовуються у виготовленні устаткування ХФП.

Феоліт – кислотостійка термореактивна композиція на основі фенолформальдегідної смоли і наповнювача (азбест, каучук, іноді графіт), з якої формують різні вироби (колони, фільтри, теплообмінні апарати, сховища, труби, запірні арматури). Він легко піддається механічній обробці, пресуванню, добре склеюється має високу хімічну стійкість. Застосовується за температур від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+140^{\circ}\text{C}$ .

Текстоліт – багатошаровий матеріал на основі бавовняної тканини і формальдегідної смоли, що характеризується високою міцністю на стиск і стійкістю до багатьох агресивних середовищ. Його застосовують для виготовлення деталей устаткування (шестерень, муфт, підшипників), що працюють за температурах від  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Склотекстоліт (склопластик) – аналогічний текстоліту матеріал, але замість бавовняної тканини використовують склотканину або скловолокно. Він має вищу хімічну стійкість, легкий, міцний (за міцністю наближається до сталі), легко обробляється. Зі склопластику виготовляють труби, мішалки, вали, деталі насосів; він придатний для захисту поверхонь апаратів. При додаванні барвників отримують кольорові склопластики (виготовляють корпуси машин).

Вініпласт (полівінілхлорид або ПВХ) – термопластичний матеріал, стійкий до впливу майже всіх кислот, лугів і розчинів солей, за винятком сильних окисників. Легко піддається механічній обробці, зварюється й склеюється. З вініпласту виготовляють деталі устаткування, трубопроводи, запірні пристрої, що працюють за температури до  $50^{\circ}\text{C}$ . Для збільшення терміну служби він може містити добавки (сажа). Плівками з ПВХ можна легко покрити поверхні сталених апаратів чи бетонних ємкостей.

Поліетилен отримують полімеризацією етилену, він буває низького (крапий, має більшу молекулярну масу) і високого тиску. Цей полімер має гарну адгезію до металів, що дозволяє використовувати його як антикорозійний захисний матеріал для сталених апаратів, які працюють за температури до  $60^{\circ}\text{C}$ . Наноситься поліетилен на внутрішню поверхню апаратів методом полум'яного напилення. Його застосовують також для виготовлення трубопроводів. Легкий, добре склеюється і переробляється (у побуті виготовляють 1,5 літрові пляшки).

Поліпропілен значно твердіший та має вищу хімічну стійкість і меншу густину, ніж поліетилен. Він може застосовуватися для виготовлення деталей апаратів, футеровки і трубопроводів, що працюють за температури від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Швидше старіє, тому містить 1–2% сажі (для збільшення терміну служби) і використовується в меншій кількості. Порошкоподібний поліпропілен наносять газополум'яним і вихровим напилюванням на сталеві поверхні, які потрібно захистити від агресивного середовища.

Фторопласти – пластичні маси, які отримують шляхом полімеризації фтористих похідних етилену. Фторопласт винятково стійкий до агресивних середовищ.

Для виготовлення різних вузлів і деталей застосовують фторопласт-4 (тефлон) – полімер на основі тетрафторетилену ( $\text{C}_2\text{F}_4$ ) – матеріал білого кольору, слизький на дотик, за хімічною стійкістю наближається до платини. Методом пресування фторопласта-4 одержують листи завтовшки 1-5 мм, прути, тонкостінні труби, крани, вентиля, що працюють у найагресивніших середовищах в температурному інтервалі від  $-296^{\circ}\text{C}$  до  $+260^{\circ}\text{C}$ . Фторопласт-4 стійкий до дії жирів, олій, вологи, кислот, не має запаху, тому його можна застосовувати за будь-яких умов обробки лікарських засобів до  $200^{\circ}\text{C}$ . Тефлон має високу міцність і добре обробляється на механічних верстатах, однак не піддається зварюванню і переробці, погано склеюється та є дуже дорогий. Через те, що до фторопласта-4 не прилипає жоден з матеріалів, його використовують для покриття валів і транспортних стрічок. Завдяки низькому коефіцієнту тертя він успішно застосовується як набивний матеріал для сальникових ущільнень, а також для виготовлення втулок підшипників ковзання.

Фторопласт-3 – тонкий, сипучий матеріал із температурою плавлення  $210^{\circ}\text{C}$ , використовують для виготовлення захисних покриттів. У суміші з етиловим спиртом і ксилолом утворює суспензію, якою покривають метал для одержання захисної плівки, що стійка до вологи й агресивних середовищ. Покриття з фторопласта-3 витримує тривале нагрівання за температури  $100^{\circ}\text{C}$ , зберігаючи при цьому свої механічні властивості.

#### *Матеріали на основі каучуку*

На основі каучуку (натурального і штучного) та наповнювачів (сірки) і додатків отримують гуму й ебоніт, які застосовують в основному для гумування поверхонь апаратів. М'які гуми містять 2–4% сірки, а ебоніт – 30–60%. Ебоніт більш хімічно стійкий за гуму, твердий (можна обробляти на верстатах), але крихкий і може тріскати за різкої зміни температури. Ці матеріали не можна використовувати під вакуумом, вони не витримують дії сильних окисників і температур вище  $70\text{--}90^{\circ}\text{C}$ .

Марку гуми або ебоніту вибирають залежно від умов, у яких буде працювати гумований шар, і від виду поверхні, на яку він наноситься. Найчастіше застосовують гуми марок 4849, 4476, 829, ИРГП-1025, 8ЛТИ, ебоніти марок 1726, ИРГП-1213, 2109, 1814 і напівебоніт марки 1751.

### *Матеріали на основі графіту*

Їх застосовують у тих випадках, коли поряд із хімічною стійкістю матеріал устаткування повинен мати високу теплопровідність і термостійкість та малу вагу. З вуглеграфітових матеріалів, наприклад, виготовляють теплообмінники для агресивних середовищ, що працюють в інтервалі температур від  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Графіт добре обробляється і склеюється, але має високу пористість (до 35%) і сильно окислюється за температур вищих, ніж  $550^{\circ}\text{C}$ . Для отримання блоків і плит, зерна графіту склеюють формальдегідною (або іншою органічною смолою), що дозволяє знизити пористість.

Графітопласти (антегміти) – виготовляють пресуванням графіту з формальдегідною смолою з подальшою термообробкою (їх марки АТМ-1, АТМ-10, АТМ-1Г). Вони кислотостійкі за температур до  $110-130^{\circ}\text{C}$  (за винятком сильних окисників, таких як  $\text{HNO}_3$  і розчини лугів). З антегмітів виготовляють плити, труби та ін.

## ***Захисні покриття***

### **1. Плівкові покриття**

#### *Лакофарбові покриття*

Лакофарбові покриття широко застосовують для захисту апаратів, які зазнають впливу агресивних середовищ. Вони дешеві й легко наносяться на будь-які рівні гладкі поверхні, не мають дефектів, що виявляються візуально. Лакофарбові матеріали складаються із суміші основної плівкоутворювальної речовини з розчинниками, пластифікатором і пігментами. Для апаратів застосовують ґрунтовки, шпаклівки, лаки й емалі на конденсаційних і природних смолах (епоксидної, фенолформальдегідної), бітумах, рослинному маслі, на полімеризованих смолах (перхлорвінілова), на ефірах целюлози (нітроцелюлоза). Марки покриття вибирають залежно від його призначення й умов експлуатації. Найпоширенішими серед них є:

– олійні фарби – їх виготовляють на основі оліфи з додаванням мінеральних пігментів;

– етінолеві лаки – отримують на основі полімеру дивінілацетилену, вони витримують температури до  $200^{\circ}\text{C}$ , хімічно стійкі, але крихкі;

– бакелітові лаки – розчин фенолформальдегідної смоли в спирті (бензолевий спирт) з додатками мінеральних наповнювачів. Лаки наносять у 4-5 шарів, кожен з яких піддають термообробці. Вони хімічно стійкі в помірних агресивних середовищах, однак не витримують дії сильних окисників і лугів та погано зчіплюються з поверхнею металів;

– епоксидні лаки й емалі – добре зчіплюються з поверхнею металів, мають щільну структуру, з них виготовляють клеї;

– лаки на основі каучуку. Для їхнього виготовлення каучук розчиняють в органічних розчинниках, утворюється в'язка маса, що наноситься на ретельно очищену поверхню.

Процес фарбування складається з таких операцій: підготовка поверхні (очищення від забруднень і знежирення); ґрунтування (нанесення ґрунту рівним шаром із подальшим сушінням); шпаклювання (вирівнювання заґрунтованої поверхні); шліфування (зачищення шкуркою зашпакльованої поверхні); фарбування пензликом, фарборозпилювачем або в електричному полі; сушіння пофарбованої поверхні.

#### *Емалювання*

Емалі можуть бути органічного і неорганічного походження.

Неорганічні емалі – це сплав  $\text{SiO}_2$  (~60%) з оксидами деяких металів (Al, K, Na, B, Ti та ін.). Вони бувають у вигляді тонкого шару склоподібної маси, нанесеної на металеву поверхню й обпаленої за температури 800-900°C. Такі емалі стійкі до більшості агресивних середовищ в широких температурних межах (від -40°C до +300°C) і тисках до 5МПа. Емалюють, як правило, сталеві і чавунні поверхні, на чавунних поверхнях така емаль тримається значно краще, а тому має вищу механічну і термостійкість. Однак таке покриття є крихким (боїться ударів) та сильно руйнується під дією HF. При виникненні тріщин чи сколів в емалевому покритті, для запобігання корозії, їх слід негайно замастити спеціальними замазками. До складу замазки входить кварцовий пісок (до 95%), близько 3%  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  і рідке скло. Апарати, які піддають емалюванню, повинні мати тверду стінку простої конфігурації (не мати гострих кутів), що забезпечує вільний доступ до поверхні, яка емалюється.

Емалі органічного походження – як правило виготовляють на основі органічних лаків з додаванням пігментів. Органічні емалі не прозорі, а їхнє забарвлення залежить від пігменту (наповнювача). Як правило, такі емалі добре зчіплюються з поверхнею металів, мають щільну структуру, гладку поверхню з мінімальною пористістю і витримують температуру до 100°C.

## 2. Листові покриття

Ці покриття виконують з листових полімерних матеріалів і гуми (гумування). Для захисту апаратури від корозії методом гумування використовують гуму й ебоніт. Гума (полімер) кріпиться до поверхні апарату за допомогою клею чи спеціальних болтів. Товщина такого покриття 3–6 мм. Воно не складне за технологією виготовлення, але гума (полімер) має малу механічну міцність, до того ж цей метод не придатний для захисту деталей складної конфігурації.

## 3. Футерування

Футерування – це покриття внутрішньої поверхні апарату штучними кислотостійкими виробами (плитки, блоки, цегла), які кріпляться до поверхні спеціальними кислотостійкими замазками. Вироби для футерування за походженням бувають природними (діабаз, базальт), штучними (кераміка, скло, фарфор) чи з графіту, просоченого органічними розчинниками.

Футерування буває одно- і багатошаровим, його товщина змінюється від

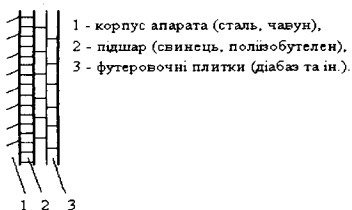


Рис. 2.1. Футерування

50 до 500 мм. Одношарове футерування використовують для захисту апаратів і газоходів, які працюють з парогазовими середовищами, а також для виготовлення підлог і фундаментів у хімічних цехах.

Багатошарове футерування використовують для захисту апаратів за високої агресивності середовища та високих температур (вони витримують до 400°C), а також за великих механічних навантажень.

Недоліком футерування є те, що його застосування приводить до суттєвого збільшення маси апарату та зменшення його внутрішнього об'єму. Крім того, якщо апарат має сорочку для обігріву, то значно погіршується теплообмін в апараті. Слід враховувати, що коли в реакційній масі є тверді частинки, то при перемішуванні вони стирають кераміку і забруднюють реакційну масу, тобто потрібно проводити додаткове її очищення.

### Розділ 3. ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОДУКТІВ

В технології хіміко-фармацевтичних препаратів застосовують різноманітне обладнання (апарати) в залежності від умов проведення процесу та властивостей сировини, що обробляється. Головними факторами, які визначають тип апаратури, є: хімічні властивості матеріалів, що приймають участь у процесах, їх агрегатний стан; температура; тепловий ефект реакції; тиск; тривалість процесу; інтенсивність теплообміну та ін.

Для створення промислових машин та апаратів необхідно мати відомості про технічні властивості вихідних матеріалів, напівпродуктів та готових лікарських засобів. Вказані властивості в більшій мірі визначають габарити апарату, його продуктивність, технічний режим роботи, конструкцію, матеріал для виготовлення.

#### *Фізико-механічні та структурні властивості*

Дані властивості оцінюють граничними напруженнями руйнування (для сіпучих та пружнов'язких матеріалів), внутрішнім тертям (для рідин, газів та пластичних матеріалів), структурним опором фільтрації (для осадів та пористих матеріалів).

#### *Теплофізичні властивості*

Вказані властивості матеріалів характеризуються теплопровідністю, теплоємністю, температуропровідністю, питомою теплотою фазового переходу, коефіцієнтом об'ємного розширення та ін.

#### *Фізико-хімічні властивості*

Ці властивості характеризуються густиною, в'язкістю, коефіцієнтом дифузії, поверхневим та міжфазним натягом, тиском насичених парів, молекулярною масою та ін.

Багато технічних властивостей речовин фармацевтичних виробництв добре вивчені та представлені в спеціальній літературі. Проте недостатня кількість відомостей ускладнює технічні розрахунки.

Властивості досліджуваних матеріалів залежать від їх будови, складу та кількісного вмісту в них окремих компонентів.

#### **Структурно-механічні властивості матеріалів**

Структурно-механічна будова матеріалів, які переробляються, має велике значення при їх подрібненні та переробці.

Технологічні властивості порошків залежать від їх фізико-хімічних характеристик.

Відносна густина порошків, насипна маса, пористість є взаємопов'язані та визначаються формою, розмірами, взаємним розташуванням частинок та їх питомою вагою.

Особливістю рослинних матеріалів є їх морфолого-анатомічна будова, яка зумовлює щільну оболонку та внутрішню структуру. Для подрібнення вказаних матеріалів необхідні значні механічні зусилля.

Матеріали тваринного походження не мають чітко вираженої оболонки. Вони містять як клітинні, так і неклітинні структури, які мають форму волокон або безструктурної маси.

### *Сипучі матеріали*

Сипучі та пористі лікарські матеріали характеризуються насипною масою та пористістю.

Насипна густина  $\rho_m$  має ту ж розмірність, що і густина  $\rho$  твердих частинок, але відноситься до всього об'єму вільно насипаної речовини (разом з порами).

$$\rho_m = (1 - \varepsilon) \rho, \text{ кг/м}^3$$

де  $\varepsilon$  – пористість, яка характеризує ступінь ущільнення сипучої та пористої речовини та представляє собою відношення об'єму пор до всього об'єму речовини.

Для ідеально сипучого матеріалу при вільному укладанні частинок  $\rho_m = 0,528\rho$ , при щільній укладці -  $\rho_m = 0,744\rho$ . Для більшості сипучих тіл  $\rho_m = 0,576\rho$ .

### *Емульсії, суспензії та розчини*

Емульсії, суспензії та розчини характеризуються концентрацією речовин, які в них містяться, в'язкістю та густиною.

Концентрація речовини виражається в масових та об'ємних процентах, а в розчинах ще і в молярних процентах.

Динамічна в'язкість  $\mu_0$  суспензій та емульсій вираховується в залежності від  $Q$  рідких середовищ та об'ємної концентрації  $q$  частинок, що містяться в них.

Об'ємний вміст твердої фази в суспензії:

$$q = \frac{X/\rho_T}{V/\rho_C} = \frac{X\rho_C}{\rho_T}$$



де  $X$  – масовий вміст твердої фази;  $\rho_c$  та  $\rho_T$  – густини суспензії та твердих частинок в суспензії.

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{1-X}{\rho_p} + \frac{X}{\rho_T}} \text{ кг/м}^3$$

$\rho_p$  – густина рідкої фази.

Відповідні залежності можна отримати і для емульсії.

В'язкість суспензій можна визначити за формулою:

$$\mu = \mu_0(1 + 4,5q), \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$$

Для лікарських соків, сиропів динамічну в'язкість при 20°C визначають орієнтовно за формулою:

$$\mu = 0,94e^{(0,05+0,08B)} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2,$$

де  $B$  – концентрація речовини у розчині, %.

При температурі, яка відрізняється від 20°C, в'язкість розраховують за рівнянням:

$$\mu_t = \frac{12,9\mu}{(T - 273)^{0,85}} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2,$$

де  $T$  – температура, К.

Різноманітні колоїдні розчини та густі суспензії, які часто зустрічаються у фармацевтичних виробництвах, відносять до пластичних матеріалів. Загальну характеристику механічних властивостей таких матеріалів дає поняття консистенції, під якою розуміють в'язкість, клейкість, пружність та інші властивості. Таким чином, консистенція є якісним показником, який визначається шляхом співставлення з консистенцією інших матеріалів.

### Теплофізичні та фізико-хімічні властивості матеріалів

Теплофізичні властивості досліджуваних речовин в основному характеризуються теплопровідністю, теплоємністю та температуропровідністю. Теплопровідність – процес поширення теплоти в тілі шляхом безпосереднього контакту між частинками з різною температурою.

#### *Коефіцієнт теплопровідності*

Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  визначає кількість теплоти, яка проходить за годину через 1 м<sup>2</sup> поверхні при зміні температури в 1°C на 1м шляху теплового потоку.

Для різних матеріалів  $\lambda$  різний і для кожного залежить від структури, густини, вологості, тиску та температури тіла.

## Теплоємність

Теплоємністю речовини називається відношення кількості теплоти, що надається речовині в якому-небудь процесі, до відповідної зміни температури.

Питома теплоємність називається теплоємність одиниці кількості речовини. Питома теплоємність матеріалів залежить в основному від кількісного складу в них сухих речовин, а питома теплоємність розчинів, що складаються з летких компонентів, - від їхньої концентрації і температури.

Питома теплоємність багатьох використовуваних у фармацевтичній технології матеріалів можна знайти в довідковій літературі. Питомі теплоємності, не описані в літературі, але необхідні для проведення технічних розрахунків, з достатньою точністю можуть бути визначені по одній з нижче приведених формул.

1. *Питома теплоємність неоднорідних систем* звичайно визначається за правилом адитивності (прямої пропорційності):

$$C = C_a \times X_a + C_b \times X_b + C_c \times X_c + \dots,$$

де  $C_a, C_b, C_c$  — масові питомі теплоємності компонентів  $a, b, c$ ;

$X_a, X_b, X_c$  — масові частки кількості речовин, до яких віднесені теплоємності  $C_a, C_b, C_c$ .

Звичайно найбільш надійні безпосередні виміри теплоємності таких систем.

2. *Питома теплоємність заморожених матеріалів:*

$$C = 2177 - 8,4V \text{ Дж/кг} \times \text{град}$$

де  $V$  — вміст сухих речовин в матеріалі, % мас.

3. *Питома теплоємність простого цукрового і лікарського сиропів:*

$$C = 41,87 - V(29,73 - 0,075 t + 0,046Дб) \text{ (Дж/кг} \times \text{град)}$$

де  $t$  — температура продукту, °С; Дб — доброякісність продукту, %.

4. *Питома теплоємність спиртових бражок:*

$$C = 42,66 - 39,8 V' \text{ Дж/кг} \times \text{град},$$

де  $V'$  - справжній вміст сухих речовин в бражці, % мас.

## Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ АПАРАТУРИ

### Стандартизація обладнання та чинники, які впливають на вибір типового обладнання

У технології хіміко-фармацевтичних препаратів застосовують різноманітне обладнання залежно від умов проведення процесу та властивостей сировини, що переробляється. Головними чинниками, які визначають тип апаратури, є: хімічні властивості матеріалів, що беруть участь у процесах, та їхній агрегатний стан; температура; тепловий ефект реакції; тиск; тривалість процесу; інтенсивність теплообміну та ін.

Все обладнання хіміко-фармацевтичних виробництв можна умовно поділити на три класи: апарати, машини і транспортні засоби.

В *апаратах* проводять тепло-, масообмінні, фізико-хімічні, біохімічні та інші процеси, що зумовлюють зміну хімічних чи фізико-хімічних властивостей речовин, які переробляються. Характерною ознакою апаратів є наявність в них реакційного простору або робочої камери.

У *машинах* здійснюється механічний вплив на продукт, основні фізико-хімічні властивості якого, як правило, при цьому не змінюються, а змінюється тільки форма, розміри та інші фізичні параметри. Особливістю машин є наявність робочих органів, які рухаються та безпосередньо впливають на продукт.

*Транспортні засоби* застосовують для передавання речовин з одного апарату (стадії) в інший.

Залежно від призначення устаткування поділяється на універсальне, спеціалізоване і спеціальне.

*Універсальним* називають обладнання загального призначення (загальнозаводське), яке може використовуватись без змін у різних хімічних виробництвах (процесах). Сюди належать: насоси, компресори, вентилятори, центрифуги, сушарки, екстрактори, транспортні засоби тощо.

До *спеціалізованого* належить обладнання, яке використовують у різних модифікаціях одного процесу, це: теплообмінники, ректифікаційні колони, абсорбери та ін.

*Спеціальним* є обладнання для проведення одного конкретного процесу: гранулятори, хлоратори, сублиматори тощо.

Технологічно устаткування поділяється на *основне* і *допоміжне*.

До *основного* технологічного обладнання відносять апарати і машини, в яких проводять різні технологічні процеси (хімічні, фізико-хімічні та інші), у результаті яких отримують потрібні (бажані) продукти.

Основне обладнання можна поділити на:

– реакційну апаратуру: контактні апарати, реактори, конвертори, колони синтезу та інші апарати, у яких протікають хімічні перетворення речовин;

– обладнання для фізико-хімічних процесів: абсорбери, екстрактори, ректифікаційні колони, сушарки, преси, випарні і теплообмінні апарати.

Продукти зазвичай отримують на цілій низці установок, пов'язаних між собою одним технологічним процесом; при цьому фізичний стан чи хімічний

склад продукту, що переробляється в кожній з цих установок, змінюватиметься і відповідно апарати чи машини, які входять до складу кожної установки, працюватимуть у різних виробничих умовах. Тому апарати за своєю конструкцією, а саме формою, розмірами і внутрішньою будовою, мають відповідати властивостям речовин, що обробляються, та умовам і вимогам щодо процесів, які проводяться.

Форма апарату визначається його технологічним призначенням і конструкцією робочих елементів. Хімічні апарати виготовляють, як правило, циліндричної форми, так як вона зручна у роботі під тиском і краще забезпечує його герметичність. Найпоширенішим є вертикальне розташування реакторів, хоча інколи використовують і горизонтально

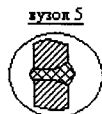
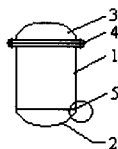


Рис. 4.1.1. Вертикальний стальний котел (чан)

- 1 – циліндрична частина (царга), 2 – днище,
- 3 – накривка (кришка),
- 4 – фланцеве з'єднання,
- 5 – V-подібний зварний шов.

розташовані апарати.

Хімічне устаткування є дуже різноманітним за конструкцією, однак на цей час проведено дуже велику роботу з його уніфікації і стандартизації. Так, наприклад, стандартизовано теплообмінну апаратуру, горизонтальні резервуари, центрифуги, багато типів сушарок та ін. Утім, багато хімічних машин і апаратів, у зв'язку із специфічними умовами роботи, є нестандартними. Як правило, не зважаючи на різноманітність конструкцій, всі вони складаються з типових деталей і пристроїв: царг (обичайок), днищ, кришок, фланців, штуцерів, перемішувючих пристроїв та приводів до них, тощо (рис. 4.1.1). Це дає можливість конструювати апарати із стандартних і нормалізованих елементів. Тобто для цілої низки деталей і їх з'єднань існують державні (часто ще використовують ГОСТи колишнього СРСР) і галузеві стандарти та нормалі, якими користуються під час проектування. Зокрема слід відзначити ГОСТи, які визначають основні розміри апаратів і машин: наприклад: ГОСТ 14249–73 “Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность”; ГОСТ 9493–80 “Расчетные (условные) давления”, в якому

встановлюється низка надлишкових тисків; ГОСТ 13372–78, у якому встановлено низку смностей.

Стандартні величини смностей відповідають двом рядам преференційних чисел R–10 (більше  $1 \text{ м}^3$ ) та R–5 (менше  $1 \text{ м}^3$ ).

Ряд R–10 визначений геометричною прогресією з коефіцієнтом  $\sqrt[3]{10}$  (об'єми,  $\text{м}^3$ , 1, 1,25, 1,6, 2,0, 2,5, 3,2, 4,0, 5,0, 6,3, 8,0, 10, 12,5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 тощо).

Ряд R–5 визначений геометричною прогресією з коефіцієнтом  $\sqrt[3]{10}$  (об'єми,  $\text{м}^3$ , 1, 0,63, 0,4, 0,25, 0,16, 0,1, 0,063, 0,04, 0,025, 0,016, 0,01).

Найпоширенішим класом реакторів є *апарати ємкісного типу з електроперемішувальними пристроями*. Це – вертикальні ємкості, усередині яких є вал, що обертається, з механічною мішалкою. Для підведення (відведення) тепла реактори споряджають сорочкою або змійовиком. До того ж, вони мають патрубки для уведення та виведення рідких або газоподібних речовин, а також можуть бути споряджені барботерами або іншими аеруючими пристроями. До конструкцій апаратів висуваються суворі вимоги щодо забезпечення герметичності.

Розміри апарату визначають за допомогою масообмінних, технологічних і теплових розрахунків, які дають основні робочі параметри: робочий об'єм, розміри окремих елементів апарата та поверхні теплообміну тощо.

### **Конструктивні елементи апаратів**

#### **Царги (обичайки)**

Зазвичай, корпуса ємкостей і апаратів виготовляють циліндричними із листового прокату чи труб. Діаметр циліндричних царг для апаратів, які виготовляються із сталі, кольорових металів чи сплавів, вибирають за стандартами (наприклад, ГОСТ 9617–67).

Зварні циліндричні обичайки діаметром до 600 мм виготовляють з одним меридіональним швом, а більшого діаметру – з кількома швами.

Значно рідше застосовують корпуси апаратів з плоскими стінками; такі апарати використовують за невеликих перепадів тисків і найчастіше як кожухи сушарок, холодильників, конденсаторів, корпусів фільтрів і тому подібних апаратів.

#### **Днища і кришки апаратів**

Днища і кришки апаратів виготовляють різної форми – сферичні, еліптичні (рис. 4.2.1, а), півкульові, конічні (рис. 4.2.1, б), плоскі – залежно від призначення, навантаження (тиску), а також способу виготовлення.

апаратах, які працюють під тиском, використовують сферичні, конічні й еліптичні відбортовані днища і кришки. Завдяки відбортовці (циліндрична

ділянка довжиною  $h_1 = 25, 40$  і  $50$  мм) зварний шов при приєднанні днища до царги виноситься за межі небезпечної зони і тим самим не навантажується додатково на згин.

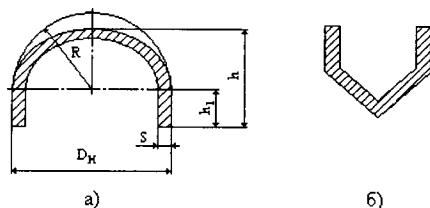


Рис. 4.2.1. Еліптичне (а) і конічне (б) відбортовані днища

Днища невідбортовані сферичні (кульовий сегмент) використовують тільки для апаратів під налив, а також як елементи з'єднаних фланцевих кришок діаметром до 800 мм.

Конічні днища використовують у випадку, коли потрібно перейти від циліндричної частини одного діаметру до циліндричної частини іншого діаметру та у вертикальних апаратах під час їхньої роботи з в'язкими і сипучими матеріалами, конічна форма полегшує їх видалення.

Плоскі днища (кришки) використовують у вертикальних ємкісних апаратах під налив, вони дешеві і прості у виготовленні, але для апаратів, які працюють під тиском, вони не придатні. Часто їх застосовують для виготовлення люків і заглушок.

### Фланцеві з'єднання

Фланці – це найпоширеніші роз'ємні з'єднання апаратів і трубопроводів. Вони також широко використовуються для з'єднання окремих частин апаратів (люки, з'ємні кришки та ін.).

Конструкції та розміри фланцевих з'єднань сталевих апаратів і ємкостей є різноманітними та приймаються за галузевими стандартами ОСТ 26–425 – 72 ÷ ОСТ 26–433–72. Типи сталевих і чавунних фланців для штуцерів машин, апаратів, ємностей, в залежності від величини умовного проходу і умовного тиску, встановлює ГОСТ 1233–67. Він поширюється на умовний прохід від 10 мм ( $D_y10$ ) до 3000 мм ( $D_y3000$ ) і на умовний тиск від 0,1 МПа ( $p_y1,0$ ) до 20 МПа ( $p_y200$ ).

Як правило, фланець – це кільце з легованої сталі, яке приварене до верхніх частин апарата і кришки (найпростіший фланець зображений на рис. 4.2.2, а). Фланці можуть бути виготовлені з одного металу або мати наплавлення із захисного металу. Вони мають отвори під болти, які затискаються гайками. Між фланцями ставлять прокладку плоского, лінзового

чи овального перерізу. Для того, щоб збільшити зусилля на стиск, фланці виготовляють фігурними (рис. 4.2.2, б).

Для найнадійнішого з'єднання використовують фланці, які мають виступи і канавки, наприклад „шип-паз” (рис. 4.2.2, в). Це з'єднання використовують за високих тисків, у вакуумі, під час роботи з отруйними речовинами та ін. Його суттєвим недоліком є важкість у разі заміни прокладки.

За дуже високого тиску використовують з'єднання „в замок” (рис. 4.2.2, г), яке є одним з варіантів з'єднання „шип-паз”. Перевага цього з'єднання полягає в зручності заміни прокладки. Матеріал і форму прокладки вибирають залежно від тиску, температури та властивостей середовища в апараті. Вони повинні мати достатню пластичність при ущільненні фланцевого з'єднання.

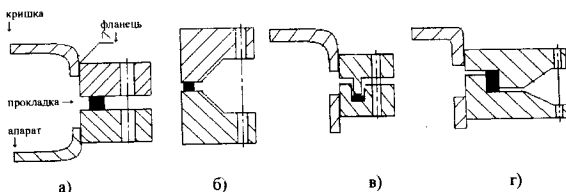


Рис. 4.2.2. Типи ущільнюючих поверхонь фланцевих з'єднань

- а – простий фланець з плоскою поверхнею,  
б – фігурний фланець з плоскою поверхнею, в – з'єднання „шип-паз”,  
г – з'єднання „в замок”.

Чавунні апарати виготовляють методом литва, окремо відливають увесь котел з днищем і фланцями та окремо - кришку з фланцями, як одне ціле. Між ними ставлять прокладки. Чавун є більш корозійностійкий, але має меншу механічну міцність, ніж сталь; витримує тиски до 0,7 МПа (сталь у 10 разів більше). Чавунні апарати мають більшу товщину стінки, а тому важчі.

### Прокладки у фланцевих з'єднаннях

Залежно від матеріалу прокладки бувають: неметалеві, металеві і комбіновані.

#### Неметалеві прокладки:

- 1) гумові – використовуються рідко (за невисокого тиску і температури до 50-60°C та за відсутності пари органічних розчинників);
- 2) паронітові – це комбіновані прокладки з азбесту, каучуку і різних наповнювачів. Використовуються за температури до 450°C і тиску до 6 МПа. Вони стійкі до дії кислот і розчинників;
- 3) азбестові – використовуються за температури до 500°C, кислотостійкі (бувають у вигляді шнура і листового матеріалу);
- 4) полівінілхлоридні – кислотостійкі, добре витримують тиск, але не стійкі до дії температури (витримують до 50-60°C);

5) тефлонові – мають абсолютну хімічну стійкість, але малопластичні, не використовуються за дуже високого тиску та у вакуумі;

б) шкіряні – використовуються дуже рідко (нестійкі).

#### Металеві прокладки:

Використовуються за високого тиску, виготовляються з металів, які мають високу пластичність (мідь, алюміній, залізо з низьким вмістом вуглецю, інколи свинець і нікель), при цьому сила затискання має бути така, щоб метал не витікав.

#### Комбіновані прокладки:

Виготовляють з металічних і неметалічних матеріалів, яким метал надає жорсткості (арматура), а неметал – герметичності. Наприклад, азбесто-металеві прокладки: сталевий дріт з азбестовим наповнювачем. Для дуже агресивного середовища використовують метали в тонкому фторопластовому чохлі.

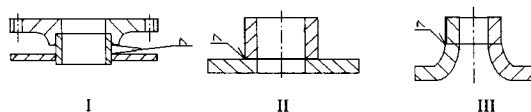
### **Елементи гарнітури апаратів**

#### *Штуцери*

Речовини вносяться в апарат через штуцери, розміри яких є значно меншими за діаметр апарата, але не повинні бути дуже малими. Бажано, щоб штуцери на одному апараті мали по змозі однаковий діаметр і були розміщені не дуже тісно, щоб гарантувати зручність та безпеку їхнього обслуговування.

Штуцер складається з короткого відрізка труби, до якого приварений фланець. Мінімальна довжина має бути такою, щоб було зручно встановлювати болти при фланцевому з'єднанні. Приварюють штуцер до апарата за одним з таких варіантів (рис. 4.2.3):

Найпоширенішим є варіант I (найміцніше з'єднання). Варіант II



**Рис. 4.2.3.** Конструкції фланцевих штуцерів

використовують, коли всередині апарата не має бути жодних виступаючих частин. У випадку емальованої або гумованої апаратури інколи використовують варіант III. У цьому випадку штуцер приварюють в стик до відбортованого краю отвору. Цей метод є складним, але забезпечує плавний перехід, який легко емальюється.

Штуцери литих (чавунних) апаратів виливають разом із корпусом. Часто, щоб укріпити слабке місце, на отвір ставлять кільце і приварюють його до поверхні апарата. Штуцери для зливу рідини розміщують в найнижчій точці для забезпечення повного видалення рідини. Коли штуцер направлений вбік, то



для забезпечення повного опорожнення апарата використовують один із трьох варіантів (рис. 4.2.4):

Приварений до днища (рис. 4.2.4, I) штуцер потребує значного підняття

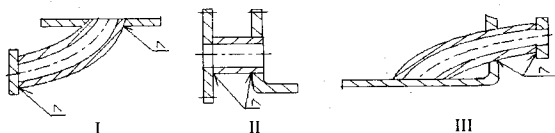
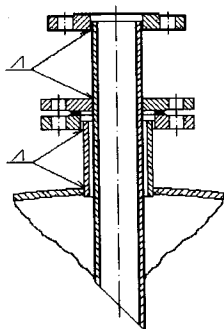


Рис. 4.2.4. Способи приварювання зливних штуцерів

апарата. У випадку б, II, коли штуцер розміщений на одному рівні з днищем забезпечується повний злив, але фланець опущений нижче днища апарата, що потребує підняття апарата вище від рівня підлоги. Вигнутий штуцер (рис. 4.2.4, III) встановлюють тоді, коли неможливо вісь штуцера опустити нижче. Однак у цьому випадку в апараті залишається незначна кількість рідини після зливу.

### Труби наповнення

Іноді в штуцер, для запобігання стікання і розбризкування рідини по стінках апарата, вставляють труби (патрубки) наповнення (рис. 4.2.5). Вони не повинні бути занурені в рідину і є захищені від корозії (емальовані, покриті свинцем тощо). Час завантаження рідин становить близько 15 хвилин. Діаметр труб наповнення і штуцерів має відповідати швидкості рідини  $V$  (м/с) [1 – 1,5 м/с] і



об'єму апарату  $W$  (м<sup>3</sup>), тобто

Рис. 4.2.5. Штуцер з патрубком наповнення

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot V = \frac{W}{3600},$$

тоді

$$D = \sqrt{\frac{W}{900\pi V}},$$

де  $D$  – діаметр штуцера труби.

## Люки

Люки слугують для ремонту, огляду й очищення апарата, монтажу і демонтажу його внутрішніх частин, а також завантаження сировини. Згідно з чинними нормами виготовляють люки наступних діаметрів: 150, 250, 400, 500, 600 і 800 мм. Їхня конструкція різноманітна і залежить від умов роботи і тиску в апараті. Найчастіше люки виготовляють круглими та еліптичними. На вигляд це кусок труби, який зварений в корпус апарата, аналогічний до штуцера, але більшого діаметра і меншої висоти. Вони мають фланець і кришку, яка щільно притягується. Форма кришки і кріплення залежить від кількості відкриттів і може бути у вигляді заглушки (рідко відкривається) або монтуватись на відкидних болтах (часто відкривається) чи ін. Люки переважно монтують на горизонтальній, але вони можуть бути розміщені і на вертикальній чи нахиленій площині корпусу апарата. При цьому вони можуть розміщуватись по дотичній до корпусу або вертикально.

### Гільзи для термометрів і термопар

Гільзи для термометрів і термопар бувають сталеві або чавунні. Сталеві гільзи є з одного кінця зварені, а з другого – мають фланець, з'єднаний із фланцем штуцера (рис. 4.2.6, а). Чавунні гільзи відливають повністю разом із фланцем (Рис. 4.2.6, б).

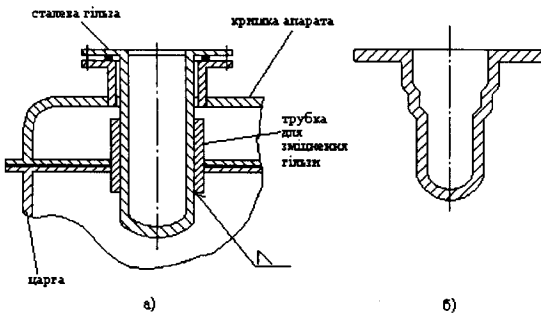


Рис. 4.2.6. Гільзи для термометрів і термопар  
а – сталеві гільзи, б – чавунні гільзи.

Гільзи занурюють в реакційну масу. У середину гільз заливають рідину з високою температурою кипіння (наприклад, гліцерин), в яку занурюють термометр або термопару, що під'єднані до приладу для вимірювання температур. Якщо апарат має великий об'єм та мішалку, то сталеві гільзи додатково зміцнюють, тобто вставляють в іншу трубу і краї зварюють. З

метою захисту від корозії гільзи для термометрів і термодатчиків емалюють чи покривають свинцем.

### Труби для перетискання

Методи завантаження (вивантаження) рідини:

1. Перетискання (подача під тиском).
2. Засмоктування (в іншому апараті створюють вакуум).
3. Перепомпування (використання насоса).
4. Методи самопливу (один апарат розміщений вище, ніж інший).

У випадку перетискання: зверху в апарат по лінії газу (з повітряною) подають стиснутий газ, який тисне на рідку реакційну масу (рис. 4.2.7). Рідина, в свою чергу, потрапляє в трубу перетискання (або через нижній спуск, якщо труби перетискання немає) і передається в інший апарат (збірник).

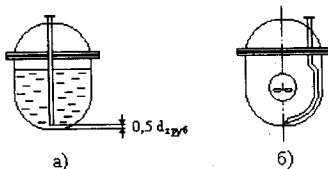


Рис. 4.2.7. Схема перетискання рідини з апарату

Якщо апарат має великі розміри, то труба (без скоосу) закріплюється в центрі апарата на незначній відстані від дна (рис. 4.2.8, а).

В апаратах із мішалкою (лопатева, пропелерна) трубу перетискання кріплять біля стінок апарата. У цьому випадку закінчення труби має косий зріз (рис. 4.2.8, б).

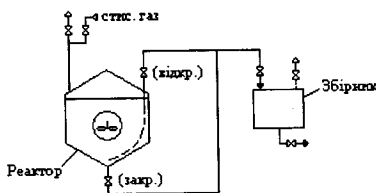


Рис. 4.2.8. Методи закріплення труб перетискання  
а – в центрі апарата, б – біля стінок апарата.

Якщо в апараті використовують якірну мішалку, то застосовують труби, які не є стаціонарними. Їх вставляють у реактор після зупинення мішалки і виймають перед її запуском.

### Оформлення нижнього спуску апаратів

У випадку апаратів без сорочки, нижній спуск – це звичайний штуцер, зварений у днище сталюого апарату, або відлитий разом із чавунним апаратом.

Якщо сталюий апарат має сорочку, то в днище апарату вварюють штуцер, а в сорочці роблять отвір, краї якого загинають до середини і приварюють до днища апарату, як це зображено на рис. 4.2.9.

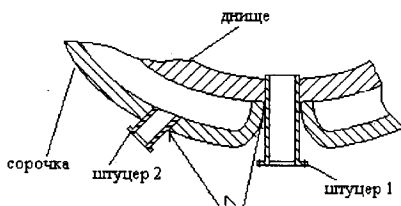


Рис. 4.2.9. Конструкція нижнього спуску апаратів з сорочкою

Штуцер 1 використовують для виведення реакційної маси з апарату. Для подачі чи виведення теплоносіїв або холодоагентів у сорочку вварюють штуцер 2.

Деколи в днище апарату вварюють штуцер, на який попередньо надягають кільце і приварюють його до днища, а тоді до кільця приварюють сорочку.

### Елементи обігріву та охолодження реакторів

#### 1. Застосування оболонки (сорочки)

Оболонки для обігріву та охолодження в сталюих апаратах можуть бути постійно закріпленими (привареними) або зніматись. Їх кріплять до циліндричної частини апарату. Як видно з рис. 4.2.10 діаметр апарату є меншим за діаметр оболонки (приблизно на 50-200 мм).

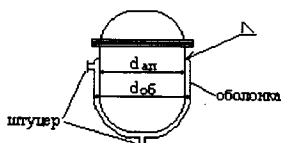


Рис. 4.2.10. Схема апарату з оболонкою

Зазор роблять якнайменшою, щоб збільшити швидкість руху теплоносія.

Оболонка (сорочка) може бути приварена до царги апарату методом відбортування та приварного кільця (рис. 4.2.11).

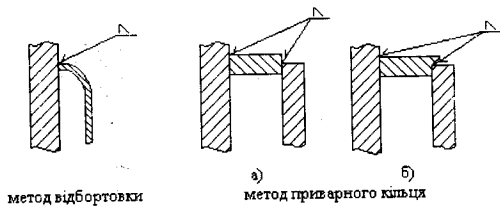


Рис. 4.2.11. Методи приварювання сорочки до царги апарата

Найбільш надійним в експлуатації є метод приварного кільця, зображений на рис. 4.2.11, б.

Часто теплоносій може містити домішки і забруднювати стінку реактора і сорочки, тому оболонки переважно роблять з'ємними, як це показано на рис. 4.2.12.

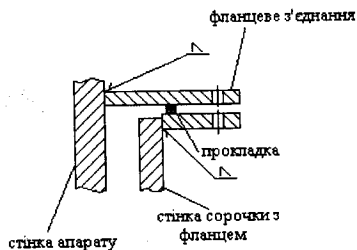


Рис. 4.2.12. З'ємні оболонки сталевих апаратів

Для процесів теплообміну в сталевих апаратах деколи використовують сорочки з „вмятинами” (рис. 4.2.13). Тобто на сорочці роблять круглі отвори (їх діаметр 40–60 мм) з кроком 120–250 мм, краї яких відгинають і приварюють до корпусу апарата. Це приводить до утворення жорсткої просторової конструкції, яка при порівняно малій товщині стінки може сприймати значні тиски теплоносія.

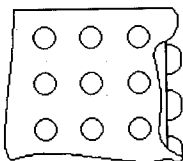


Рис 4.2.13. Сорочка сталевих апаратів з „вмятинами”

У чавунних апаратах оболонку або фланець неможливо приварити до царги. Тому коли виготовляють такий апарат, то відливають його разом із проміжним фланцем (кільцем) для кріплення сорочки (рис. 4.2.14). При цьому сорочка є сталеною.

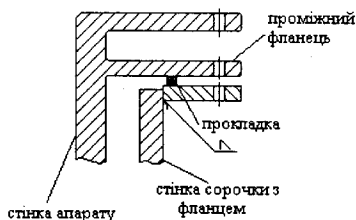


Рис. 4.2.14. Сорочки чавунних апаратів

## 2. Використання змійовиків

Змійовики можуть розташовуватись в середині апарата і занурюватись безпосередньо в реакційну масу чи розміщуватися ззовні і не зустрічатись з реакційною масою (рис. 4.2.15).

Коли змійовик є *всередині апарата*, він має бути закріплений, оскільки, він може відламитись, якщо є велика швидкість руху рідини в середині апарата. Для цього до дна апарату приварюють сталевий прут (стояк), до якого за допомогою хомута кріплять змійовик (рис. 4.2.15). Введення і виведення змійовика відбувається через накривку апарату.

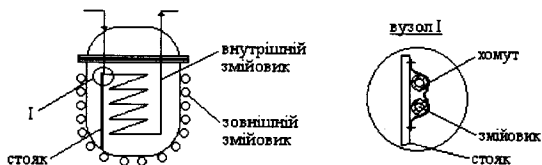


Рис. 4.2.15. Методи розміщення змійовиків

Коли змійовик розміщений *ззовні апарата*, його приварюють до корпусу. У цьому випадку змійовики виготовляють із труб (рис. 4.2.16, 1), напітруб (рис. 4.2.16, 2), швелера (рис. 4.2.16, 3) чи кутника (рис. 4.2.16, 4).

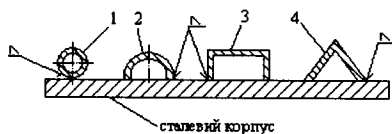


Рис. 4.2.16. Конструкції зовнішніх змійовиків  
1 – труба, 2 – напітруба, 3 – швелер, 4 – кутник.

Іноколи в чавунних апаратах змійовик розміщують всередині стінки апарата. Тобто коли відливають чавунний апарат, змійовик розташовують в середині форми і заливають чавуном. Приклад перерізу стінки такого апарату зображено на рис. 4.2.17. Цей метод дозволяє використовувати в таких чавунних апаратах теплоносії (водяну пару) високого тиску.



Рис. 4.2.17. Переріз стінки чавунного апарата з розміщеним всередині змійовиком

### 3. Використання трубчатих теплообмінників

У цьому випадку поверхню теплообміну виготовляють із труб (рис. 4.1.18, 1). Цей метод теплообміну є найпростішим і найнадійнішим, але апарати при цьому стають великими і важкими. Труби кріплять до трубних ґраток. Найпростішим (найстарішим) методом кріплення труб є розвальцовка (рис. 4.2.18, 2). Метод розвальцовки останнім часом замінюють зварюванням (рис. 4.2.18, 3).

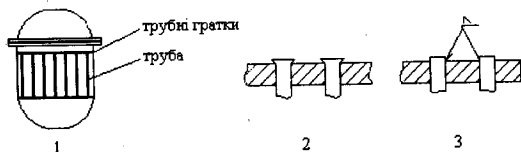


Рис. 4.2.18. Трубчатий теплообмінник  
1 – загальний вигляд, 2 – кріплення труб методом розвальцовки,  
3 – кріплення труб методом зварювання.

Трубні ґратки кріплять до корпусу апарата за допомогою болтів чи зварюванням.

### Введення і виведення теплоносіїв і холодоагентів

Як правило, *охолоджувачі* (такі рідини, як холодна вода і розсіл) – подаються в сорочку апарата знизу, а відводяться зверху (рис. 4.2.19). Розсіл потім знову повертається в цикл (поступає на охолодження).

*Нагрівачі* (пара) – подають зверху і виводять знизу сорочки. При цьому лінія виведення обладнана конденсаційним горщиком для пропускання конденсату і не пропускання пари (рис. 4.2.19).

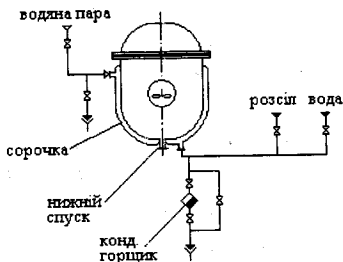


Рис. 4.2.19. Схема введення і виведення теплоносіїв і холодоагентів

## Пристрої для перемішування

Більшість апаратів (рис. 4.2.20) обладнані перемішувачами, які використовують для покращення тепло- і масообміну та отримання рівномірних сумішей (емульсій, суспензій). Найчастіше рідини в апараті перемішують мішалкою, яка обертається, рідше для перемішування використовують барботування газом чи парою.

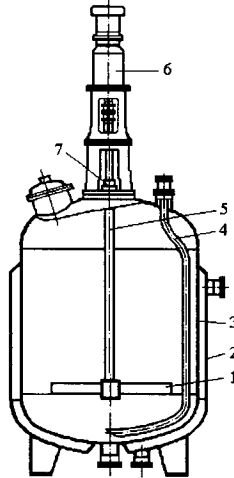


Рис. 4.2.20. Типовий апарат з мішалкою

1 – лопатева мішалка, 2 – сорочка, 3 – корпус апарата, 4 – труба перетискання,  
5 – вал, 6 – привід мішалки, 7 – ущільнювач.

Механічні перемішувальні пристрої складаються з трьох основних частин:

1. *Привід*, за його допомогою вал мішалки приводиться в рух завдяки механічній енергії.

2. *Вал мішалки*, вертикальний, горизонтальний чи нахилений стрижень, на якому закріплена мішалка.

3. *Мішалка*, робочий елемент перемішувального пристрою.

*Привід мішалки* – це електродвигун із передачею, який встановлений на вертикальній опорі. Швидкохідні мішалки (пропелерні, турбінні) при значній частоті обертання ( $30-50 \text{ с}^{-1}$  і вище) з'єднуються з електродвигуном клинопасовою передачею, а інколи можуть бути встановлені на одному валу з електродвигуном. Однак в більшості випадків привід від електродвигуна до мішалки здійснюється через редуктор (для пониження числа обертів), як правило, з циліндричною чи планетарною передачею.

Вал редуктора з'єднаний з валом мішалки за допомогою муфти. У накривці апарата роблять отвір, через який вал мішалки входить в апарат. Для ущільнення обертальної частини валів мішалок, з метою запобігання виділення



парів чи газів та для роботи апарата під тиском чи вакуумом, використовують сальникові або торцеві ущільнення. Найпростіший сальниковий ущільник зображено на рис. 4.2.21.

Товщина сальникової набивки ( $S$ , мм) визначається за рівнянням:

$$S = (1,5 + 2,5)\sqrt{d}$$

де  $d$  – діаметр валу.

Що більшим є тиск, то більшим є значення  $S$ .

Найчастіше сальникову набивку виготовляють з азбестового шнура, який просочений машинним маслом із графітовим порошком. Поверхні втулки і прижимної кришки, які повернуті до набивки, роблять конічними, щоб при натисканні на кришку набивка притискалась до валу. В складніших ущільниках сальники додатково змащують і охолоджують (при потребі через спеціальні отвори), деколи сальник може бути занурений всередину апарату і т.д.

Під сальникове ущільнення вал мішалки повинен мати достатньо високу чистоту обробки поверхні, щоб зменшити тертя.

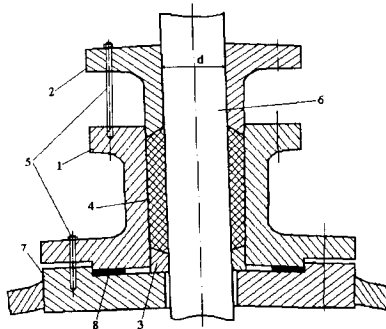


Рис. 4.2.21. Найпростіший сальниковий ущільник  
 1 – корпус, 2 – прижимна кришка (може бути кругла або овальна),  
 3 – втулка, що виготовляється з м'якого металу (наприклад бронзи),  
 щоб менше зношувався вал. 4 – сальникова набивка, 5 – натяжні шпильки,  
 6 – вал, 7 – сталеве потовщення на накривці апарату,  
 8 – ущільнювач (пароніт, тефлон, гума і т.д.)

Механічне перемішування в рідинах здійснюється за допомогою *мішалок*, які за конструктивною формою лопастей поділяються на: лопатеві, рамні, листові, якірні, турбінні і пропелерні.

Залежно від числа обертів мішалки умовно поділяють на *тихохідні* (лопатеві, рамні, листові і якірні), з частотою обертання до  $1 \text{ с}^{-1}$  і *швидкохідні* (турбінні і пропелерні мішалки), які мають частоту обертання  $8-10 \text{ с}^{-1}$  і більше.

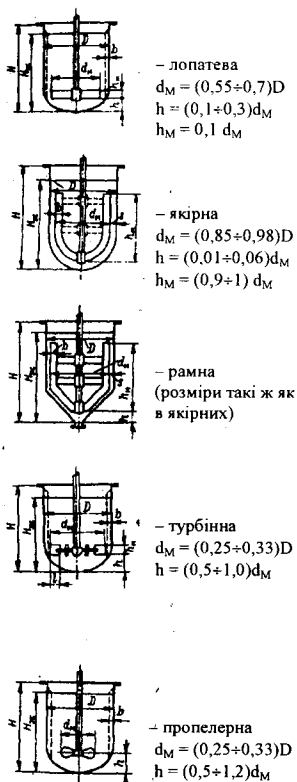


Рис. 4.2.22. Основні типи мішалок

При роботі в агресивних середовищах мішалки захищають кислотостійким покриттям (гума, лак, тефлон) чи виготовляють із спеціальних корозійностійких сталей.

Вибираючи тип і матеріал мішалки та її параметри, враховують такі вимоги процесу, як інтенсивність перемішування, властивості речовин (в'язкість середовища, здатність налипати, розчинність, наявність осаду та ін.), агресивність середовища, форму апарата та деякі інші чинники.

Отже, розглянемо найпоширеніші типи мішалок і сфери їх використання (рис. 4.2.22).

### 1. Тихохідні мішалки

Найпростішими є *лопатеві мішалки*. Вони дешеві у виготовленні. Як правило, це смуга сталі або дерев'яна дошка певних розмірів. Їх використовують для перемішування взаєморозчинних рідин малої в'язкості (в'язкість середовища 1–3000 мПа·с), завислих твердих і волокнистих частинок у рідині, вкаламучування рідких осадів, повільне розчинення кристалічних і волокнистих речовин, вирівнювання температури середовища. Швидкість руху до 80 об/хв, розчинення відбувається повільно, і тонке диспергування не досягається. Рідина рухається по горизонтальному колу і перемішування відбувається тільки в певній частині об'єму, тому часто закріплюють декілька лопастей, а щоб покращити перемішування, до стінок апарата додатково приварюють стрижні (зуби).

*Рамні мішалки* задовільно перемішують в'язкі і важкі рідини ( $\mu \leq 10$  Па·с), їх використовують для інтенсифікації теплообмінних процесів, запобігання випаданню осаду на стінках і днищі, суспендування у в'язких середовищах ( $\omega = 0,5 \div 4$  м/с). Їх розглядають як різновид лопатевих і використовують для апаратів великого об'єму (до  $100 \text{ м}^3$ ). Виготовляють у вигляді рами зі смуг сталі чи дерева.

*Якірні мішалки* використовують для перемішування в'язких, забруднених і застигаючих рідин, вони добре запобігають випаданню осаду і налипанню речовин на стінках і днищі апарата. Для цього профіль мішалки повторює

обриси апарата, а зазор між стінками апарата і мішалкою роблять мінімальною, що приводить до інтенсивного перемішування біля стінок.

Для особливо в'язких рідин використовують якірні мішалки з додатковими чи нахиленими планками. Часто ці мішалки відливають із чавуну.

Загальним недоліком всіх тихохідних мішалок є їхні великі розміри, значні пускові перенавантаження, необхідність використання редукторів із великим передаточним числом.

Часто, щоб вал мішалок не вібурав, внизу апарату ставлять нижню опору валу з підшипником.

## 2. Швидкохідні мішалки

*Турбінні* – ці мішалки працюють за принципом відцентрового насоса, тобто втягують рідину всередину і за рахунок відцентрової сили відкидають її до периферії, надаючи рідині не кругового, як попередні, а радіального руху. Використовують їх для перемішування і розчинення в'язких рідин ( $\mu = 0,1 \div 4$  Па·с); диспергування газу в рідині; утворення суспензій і розчинення твердих і кристалічних (з масовим вмістом до 50%) та волокнистих частинок (з масовим вмістом до 5%); емульгування рідин із великою різницею густин; інтенсифікації теплообміну ( $\omega = 2,5 \div 10$  м/с або 100–400 об/хв). Турбінні мішалки виготовляють відкритими і закритими. Відкриті турбінні мішалки простіші і використовуються частіше – це диск з радіально розміщеними лопастями. Закриті мішалки за своєю будовою схожі на колесо відцентрового насоса.

Турбінні мішалки забезпечують дуже інтенсивне перемішування але є складними і дорогими, їх не рекомендується використовувати в апаратах з великим об'ємом. Крім того, обов'язковим є встановлення відбиваючих перегородок (радіальні планки біля стінок апарата), якщо їх нема, то утворюється глибока воронка, яка може доходити до дна апарата. Найчастіше встановлюють 4 таких перегородки, завширшки 0,1D.

*Пропелерні мішалки* – особливість їхньої роботи – утворення значних осьових потоків рідини. Швидкість обертання 160–1000 об/хв ( $\omega = 3,8 \div 16$  м/с). Їх використовують для процесів розчинення; утворення суспензій з твердих (з масовим вмістом до 10%) і волокнистих частинок; взкаламучування шламів; емульгування рідин; інтенсифікації теплообміну і т.д.

Під час роботи цих мішалок потік рідини засмоктується пропелером і направляється вниз, створюючи при цьому значні осьові потоки. Часто, для впорядкування потоків рідини в апараті та збільшення насосної дії пропелерної мішалки, її встановлюють всередині дифузора (направляючої труби). До недоліків пропелерних мішалок можна віднести те, що: вони не придатні для перемішування дуже в'язких рідин; різною є інтенсивність перемішування

шарів рідини (поблизу мішалки і далі від неї); вони не придатні для розчинення твердих речовин з великою густиною; є складними у виготовленні та дорогі.

### **Опори хімічних апаратів**

Як правило, хімічні апарати встановлюють на фундаменти чи на спеціальні несучі конструкції (етажерки, перекриття тощо) за допомогою опор. Вибір типу опори залежить від положення апарата в просторі та умов встановлення його на місці експлуатації. При встановленні реактора безпосередньо на підлозі всередині цеху слід використовувати стійки, а у випадку провисання між перекриттями – лапи.

Лапи для апаратів, що підвішуються між поверхами та стійки, нормовані галузевим стандартом ОСТ 26–665–72, а циліндричні опори – стандартом ОСТ 26–467–72.

### **Особливості будови апаратів для біотехнологічних виробництв**

Промислове виробництво біопрепаратів є складним комплексом взаємопов'язаних фізичних, хімічних, біофізичних, біохімічних, фізико-хімічних процесів і передбачає використання великої кількості різнотипного устаткування, яке зв'язане між собою матеріальними, енергетичними потоками, створюючими технологічні лінії.

Особливості біооб'єктів обумовлюють наступні принципи технічного устаткування біотехнологічних виробництв:

- *конструкційну досконалість і відносну універсальність біореакторів.* Під досконалістю і відсносною універсальністю слід розуміти можливість створення оптимальних умов культивування різних біооб'єктів в одному і тому ж біореакторі з автоматичним регулюванням заданих параметрів. Багатоцільові реактори високих стандартів випускає нідерландська фірма ADI. Вони придатні для флокулюючих організмів, імобілізованих клітин (мікробних, рослинних, тваринних) з метою підвищення виходу біомаси і досягнення високої продуктивності. Щоб забезпечити біореактори комп'ютерним контролем, фірма ADI випускає біопродесор, за допомогою якого забезпечується повне регулювання заданих параметрів протягом росту біооб'єкту.

- *інертність, або корозійна стійкість матеріалів біореакторів і іншого технологічного устаткування, що містять біооб'єкт або контактують з ним або продуктами його метаболізму.* Це означає, що в процесі культивування біооб'єкту не повинно відбуватися його взаємодії (так само як і продуктів метаболізму) з металевими і неметалічними конструкціями, які постійно або тимчасово знаходяться у контакті з ним.

- *експлуатаційна надійність технологічного устаткування;*

- *доступність, естетичність і легкість обслуговування, заміни, мастила, очистки, обробки антисептиками або дезинфектантами вузлів і відповідних частин устаткування.*

Існує 5 стадій біотехнологічного виробництва. Дві початкові стадії включають підготовку сировини і біологічно об'єкта. У процесах інженерної ензимології вони зазвичай складаються з приготування розчину субстрата із заданими властивостями (рН, температура, концентрація) і підготовки партії ферментного препарату даного типу, ферментного або імобілізованного. При здійсненні мікробіологічного синтезу необхідні стадії приготування поживного середовища і підтримання чистої культури, яка могла б постійно, або по мірі необхідності, використовуватися в процесі. Підтримання чистої культури штаму-продуцента – головне завдання будь-якого мікробіологічного виробництва, оскільки високоактивний, такий, що не зазнав небажаних змін штам може служити гарантією отримання цільового продукту із заданими властивостями.

Третя стадія – стадія ферментації, на якій відбувається утворення цільового продукту. На цій стадії відбувається мікробіологічне перетворення компонентів поживного середовища спочатку на біомасу, потім, якщо це необхідно, в цільовий метаболіт.

На четвертому етапі з культуральної рідини виділяють і очищають цільові продукти. Для промислових мікробіологічних процесів характерне, як правило, утворення дуже розбавлених розчинів і суспензій, що містять, окрім цільового, велику кількість інших речовин. При цьому доводиться розділяти суміші речовин дуже близької природи, що знаходяться в розчині в концентраціях одного порядку, лабільних, таких, що легко піддаються термічній деструкції.

Заклучна стадія біотехнологічного виробництва - приготування товарних форм продуктів. Загальною властивістю більшості продуктів мікробіологічного синтезу є їх недостатня стійкість до зберігання, оскільки вони схильні до розкладання і у такому вигляді є прекрасним середовищем для розвитку сторонньої мікрофлори. Це примушує технологів приймати спеціальні заходи для підвищення збереження препаратів промислової біотехнології. Крім того, препарати для медичних цілей вимагають спеціальних рішень на стадії розфасовування і закупорювання та мають бути стерильними. Далі приводяться характеристики кожної з стадій промислового мікробіологічного синтезу.

Основним апаратним елементом біотехнологічного процесу є біореактор – ферментер. Біореактори призначені для культивування мікроорганізмів, накопичення біомаси, синтезу цільового продукту. Біореактори виготовляють з марок високолегованих сталей, іноді з титану.

## Класифікація реакторів за конструктивними ознаками і організацією перемішування

Апарати для аеробної глибинної ферментації найбільш складні як конструкційно, так і з погляду їх експлуатації. Головне завдання, що виникає при їх конструюванні, – забезпечення високої інтенсивності масо- і енергообміну клітин з середовищем. Масообмін визначається транспортом (перенесенням) кисню і інших біогенних елементів з середовища в мікробну клітину і відведенням з неї продуктів обміну. Головним показником масообмінних характеристик ферментеру служить коефіцієнт масопередачі кисню, оскільки кисень є основним лімітуючим чинником аеробних процесів ферментацій. Витрата кисню на утворення 1 кг біомаси залежно від типу карбонвмісної сировини і ступеню його відновленості може складати від 0.75 до 5.00 кг. Клітини здатні утилізувати кисень тільки в розчиненому вигляді, тому необхідно постійно підтримувати його концентрацію в культурі на рівні, оптимальному для конкретного продуцента. При цьому швидкість надходження кисню до клітин повинна перевищувати швидкість його включення в клітини, і в біяклітинному просторі не повинно виникати так званих «концентраційних ям». Окрім цього, концентрація клітин і розчиненого субстрата мають бути рівномірними в усьому об'ємі ферментера. Тому перемішування є також одним з основних чинників, що забезпечують необхідний гідродинамічний стан в апараті. При інтенсивному перемішуванні бульбашки повітря дробляться в апараті і, диспергуючись, збільшують площу контакту фаз «середовище-клітина». Проте надмірне перемішування може викликати механічне пошкодження біологічних об'єктів.

До теперішнього часу розроблено і застосовується величезна кількість різноманітних перемішувачів і аеруючих пристроїв, і класифікувати їх практично неможливо.

Останніми роками апробовані мембранні біореактори, біореактори з порожнистими волокнами і деякі інші.

Розміри ферментерів визначаються співвідношенням зовнішнього діаметру до висоти, яке змінюється зазвичай в межах від 1:2 до 1:6. Майже універсальними є ферментери для анаеробних і аеробних процесів.

Також ферментери можна умовно поділити на два типи: без підведення стерильного повітря (для анаеробів) і з підведенням його (для аеробів). Біореактори, що аеруються, можуть бути з мішалками і без них.

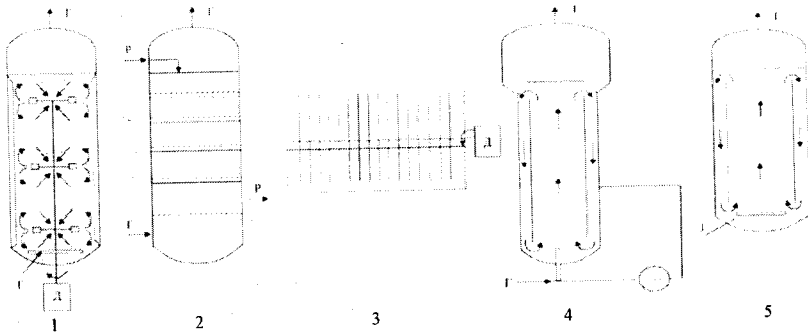


Рис. 4.3.1. Біореактори для аеробних процесів: з витратою енергії на механічний рух внутрішніх пристроїв: а — 1, 2, 3; з витратою енергії на роботу насосу, що забезпечує рециркуляцію культуральної рідини, б — 4; з витратою енергії на стискування і подачу газової фази, в — 5 (г — газ, ж — рідка фаза, д — двигун)

### Класифікація ферментерів за способом підведення енергії

Ферментери	Характеристика конструкції апарату	Тип апарату
ФГ з підведенням енергії газової фази	Простота конструктивного оформлення і висока надійність у зв'язку з відсутністю рухомих вузлів і деталей	Барботажний, барботажно-ерліфтний, колонковий (колонний), форсунка
ФР з підведенням енергії рідкої фази	Зазвичай енергія передається рідкій фазі самовсмоктуючою мішалкою або насосом	Ежекційний, з циркуляційним контуром, з всмоктуючою мішалкою
ФРГ (комбіновані)	Основним конструктивним елементом є перемішувачий пристрій, що забезпечує високу інтенсивність розчинення кисню і високий ступінь диспергування газу. В той же час енергія газової фази виводиться звичайним способом	Барботажний з механічним перемішуванням

### Характеристика апаратів з підведенням енергії через газову фазу

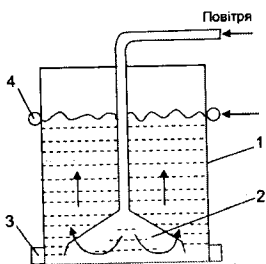


Рис. 4.3.2. Схема ферментера з підведенням енергії до газової фази: 1 — корпус, 2 — повітря-розподільник, 3 — карман, 4 — колектор

**Ферментери з підведенням енергії до газової фази.** Їх загальна ознака — підведення енергії в апарат через газову фазу, яка є її носієм. Ферментери характеризуються достатньо простою конструкцією (відсутні вузли, що труться і рухаються), високою експлуатаційною надійністю, але мають не дуже високі масообмінні характеристики (коефіцієнт масопередачі кисню менше  $4 \text{ кг/м}^3$ ) (рис. 4.3.2). Дані апарати є вертикальною ємністю, забезпеченою газорозподільним пристроєм одного з відомих

типів. Барботажні газорозподільні пристрої зазвичай встановлюються в нижній частині апарату. Повітря, що подається зверху через розподільчу трубу, пройшовши через барботер, насичує киснем товщу середовища. Коефіцієнт масопередачі кисню невисокий -  $1-2 \text{ кг/м}^3 \text{ год}$ .

Прикладом конструктивного оформлення ферментатора групи ФГ може бути *апарат з ерліфтом* об'ємом  $63 \text{ м}^3$  (рис. 4.3.3). В апараті відсутнє механічне перемішування, тому простіше підтримувати асептичні умови. Повітря для аерації

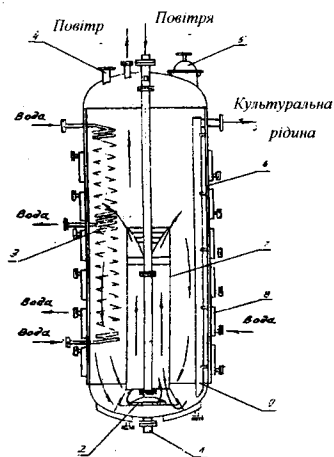


Рис. 4.3.3. Ферментер з ерліфтом:  
 1 - штуцер для зливу, 2 - аератор,  
 3 - змійовик, 4 - штуцер для  
 завантаження, 5 - люк, 6 - корпус  
 апарату, 7 - дифузор, 8 - сорочка,  
 9 - труба передавлювання

середовища подається по трубі, розташованій вертикально у ферментаторі. Аератор, конструкція якого забезпечує вихровий рух повітря, яке виходить через розташований в нижній частині дифузора отвір і насичує поживне середовище повітрям. Газорідинна суміш піднімається по дифузору і переміщається через його верхні краї. У цій же зоні частина повітря виходить з апарату, і щільніше середовище опускається вниз в кільцевому просторі між корпусом ферментера і дифузором. Так відбувається багатократна циркуляція середовища у ферментері. Для відведення біологічного тепла усередині ферментера встановлений змійовик, а також апарат забезпечений секційною сорочкою. Недоліком цих апаратів є низька інтенсивність масообміну по кисню. Відомі ферментатори цього типу об'ємом  $25, 49, 63$  і  $200 \text{ м}^3$ .

Ерліфтні біореактори ефективніші, ніж барботажні колони, особливо в суспензіях мікроорганізмів з високою щільністю або в'язкістю. Перемішування в ерліфтних ферментерах інтенсивніше і вірогідність злипання бульбашок мінімальна.

### Загальна характеристика реакторів з підведенням енергії через рідину Ферментери з введенням енергії рідкою фазою

Вони найбільш складні за конструкцією і енергоємні, але забезпечують вищі, в порівнянні з групою ферментерів ФГ, значення коефіцієнта масопередачі кисню, більше  $6 \text{ кг/м}^3 \text{ год}$ . У даних апаратах введення енергії здійснюється рідкою фазою, зазвичай самовсмоктуючими мішалками або насосами; в останньому варіанті рідина вводиться в апарат через спеціальний пристрій (сопло, ежектор,



диспергатор). Ці апарати також можна поділити на ряд типів (рис. 4.3.4): ферментери з самовсмоктуючими мішалками, що не вимагають спеціальних повітродуйних машин, оскільки подача в них повітря відбувається в результаті розрідження в повітряній камері мішалки, з'єднаної з повітрепроводом і рідиною, яка відкидається лопатями мішалки; в ежекційних ферментерах можлива рециркуляція газової фази, яка економить субстрат, проте потрібна наявність спеціальних насосів для перекачування газовмісного культурального середовища. Застосування ежекційного введення газових субстратів у ферментер може інтенсифікувати масообмін на порядок; струменеві ферментери (із зануреним або падаючим струменем) обладнані потужними насосами, які забирають культуральну рідину з нижньої частини апарату і через напірний трубопровід підводять потік до аеруючого пристрою (за типом шахтного перепаду або напірно-струменеві). Струмінь рідини під тиском вільно падає зверху і проходить крізь рідину, яка аерується, до днища апарату. Відбуваються інтенсивна турбулізація і перемішування рідини. Внизу рідина знов засмоктується насосом і знову подається вгору апарату, тобто виникає замкнений контур циркуляції. Недоліком даних апаратів є втрати енергії при перекачуванні рідини та труднощі проектування у зв'язку з відсутністю надійних методик розрахунку конструкцій і режимів роботи струменевих і ежекційних пристроїв.

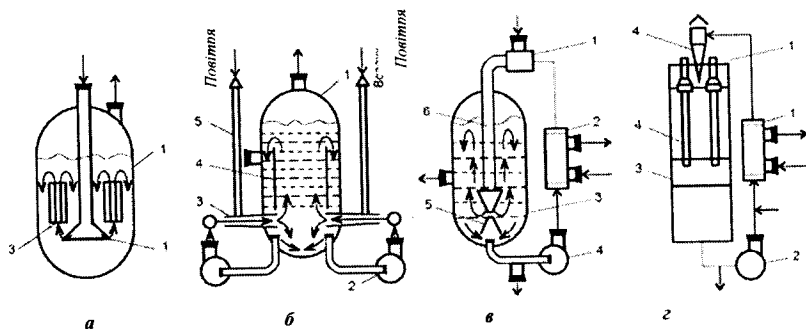


Рис. 4.3.4. Ферментери з введенням енергії рідкою фазою: а – з самовсмоктувальною мішалкою (1 – корпус, 2 – мішалка, 3 – циркуляційний контур-теплообмінник); б – ежекційний (1 – корпус, 2 – насос, 3 – ежектор, в – струменевий з зануреним струменем (1 – ежектор, 2 – теплообмінник, 3 – корпус, 4 – насос, 5 – розсікач, 6 – труба з насадкою); г – струменевий з плаваючим струменем (1 – теплообмінник, 2 – насос, 3 – корпус 4 – ежектор)

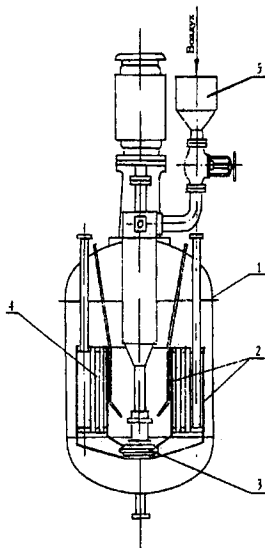


Рис. 4.3.5. Ферментер з самовсмоктувальною мішалкою безперервної дії:  
1-корпус, 2 – дифузор,  
3 – самовсмоктувальна мішалка, 4 - теплообмінник,  
5 - фільтр

Ферментером з групи ФР є ферментер з самовсмоктувальною мішалкою безперервної дії. Для вирощування чистої культури дріжджів створені ферментери місткістю 0,32, 3,2 і 50 м<sup>3</sup>. Ферментатор є вертикальний циліндричний апарат, забезпечений циркуляційними, теплообмінними і аеруючими пристроями. В якості циркуляючих пристроїв використовуються системи направляючих дифузорів, що розмежують висхідні та низхідні потоки. Теплообмінні пристрої виконані у вигляді трубок, встановлених у трубних ґратках дифузорів. На підприємствах мікробіологічної промисловості при вирощуванні дріжджів в середовищах з рідкими парафінами також застосовують ферментери з самовсмоктувальними мішалками безперервної дії. Апарат такого типу представлений на рис. 4.3.5. Об'єм його 800 м<sup>3</sup> (робочий об'єм 320 м<sup>3</sup>) розділений на 12 секцій. Ферментаційне середовище послідовно проходить всі секції, і з останньої виходить культуральна рідина з мінімальною вмістом *n*-парафінів і максимальною концентрацією біомаси. У кожній секції встановлено перемішуючий і аеруючий пристрій та змійовики для відводу тепла.

### Загальна характеристика реакторів з комбінованим підведенням енергії

Основними їх конструкційними елементами є перемішуючі пристрої всіх відомих типів, а також наявність у сукупності насосів і перемішуючих пристроїв. Це можуть бути апарати з групою самовсмоктувальних мішалок і насосом для перекачування культуральної рідини та інші поєднання перемішуючих і аеруючих пристроїв.

Вирощування дріжджів здійснюють в апаратах ерліфтного типу об'ємом від 300 до 600 м<sup>3</sup> з підведенням повітря в нижню зону апарату при надлишковому тиску 40-60 кПа. У процесі насичення поживного середовища повітрям утворюється газо-рідинна емульсія, що циркулює по всьому об'єму апарату, що забезпечує ефективне перемішування середовища. Для боротьби з піною, що утворюється при аерації, використовують механічне піногасіння. Робочий об'єм апарату становить близько 70% від загального об'єму. На окремих підприємствах застосовують також барботажно-ерліфтні ферментери більшого об'єму, до 1300 м<sup>3</sup> з повітрярозподілом в кількох, звичайно 4-5 зонах. Для отримання антибіотиків, вітамінів та інших біологічно активних речовин використовують ферментер періодичної дії (рис. 4.3.6). Його конструкція забезпечує стерильність ферментації протягом тривалого часу (кількох діб) при оптимальних умовах для росту і життєдіяльності продуцента. Ферментери такої конструкції виготовляють на 1,25; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 10,0; 16,0; 20,0; 32,0; 50,0; 63,0; 100,0 і 160,0 м<sup>3</sup>. Як видно з рис. 4.3.6, це

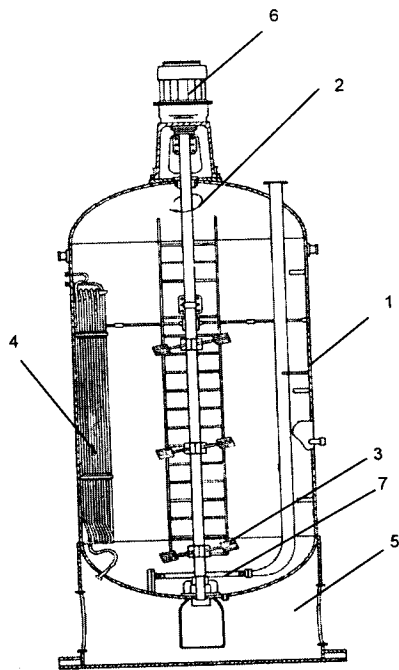


Рис. 4.3.6. Ферментер періодичної дії

1 - корпус, 2 - вал мішалки, 3 - лопать мішалки, 4 - охолоджувальний змійовик, 5 - опірня царга, 6 - привід мішалки, 7 - барботер

циліндричний вертикальний апарат зі сферичним днищем, забезпечений аеруючими, перемішуючими і

теплопередаючими пристроями. Повітря для аерації надходить в ферментер через барботер, встановлений під нижнім ярусом мішалки. З точки зору ефективності диспергування повітря конструкція барботера принципової ролі не грає за наявності мішалки, однак, з точки зору експлуатації, найбільш зручним є квадратний барботер, який набув найбільшого поширення. Отвори в барботері спрямовані вниз, щоб уникнути засмічення біооб'єктами. Загальна площа отворів повинна бути на 25% більше площі поперечного перерізу трубопроводу, який підводить повітря. Барботер за своїми розмірами може відповідати діаметру мішалки, щоб що виходить з нього повітря потрапляв в зону її дії.

## Можливості апаратів колонного типу з вибору та оптимізації режимів ферментації

В барботажно-колонному ферментері у нижній частині корпусу встановлюється перфорована пластина з діаметром отворів 0.0005 м або сопловий ежектор з діаметром сопла 0.004 м; барботажно-ерліфтний апарат характеризується наявністю всередині одного або декількох диффузорів або декількох перегородок для примусового поділу висхідних і нисхідних потоків циркулюючої рідини; ці елементи розташовані рівномірно по перетину апарату або концентрично (рис. 4.3.7).

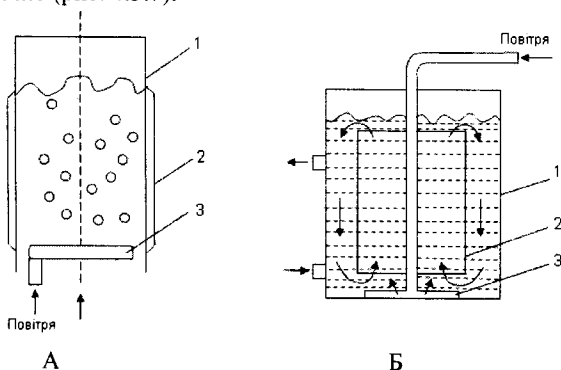


Рис. 4.3.7. Барботажні ферментери: А - колонний (1 - корпус, 2 - сорочка, 3 - повітродіподільник), Б - барботажно-ерліфтний (1 - корпус, 2 - диффузор-теплообмінник, 3 - повітродіподільник)

### Характеристика секційних колонних апаратів

Якщо в апарат введені секційні елементи у вигляді ґраток, обладнаних лопатевою насадкою, в центрі апарату знаходиться труба, через яку вводиться повітря, а рідка фаза надходить протічечією зверху. Газ, потрапляючи на лопатеву насадку, зазвичай з поліетилену, обертає її, що істотно збільшує поверхню контакту газової і рідкої фаз.

**Газліфтний реактор трубчастого типу.** Газліфтний колонний ферментер складається з двох колон різного діаметру, з'єднаних між собою; одна представляє собою барботажну колону з висхідним потоком повітря (рис.4.3.8), інша - циркуляційну, з нисхідним потоком (рис.4.3.9). Повітря вводиться в нижню зону апарату в барботажну колону; камера, що з'єднує колони у верхній частині апарату утворює велику поверхню контакту фаз; трубчастий апарат сконструйований за типом теплообмінних труб; взаємодія газу в трубі при високих швидкостях продування більш інтенсивніша, ніж у великому об'ємі, тому масообмін інтенсивніший; апарат з плаваючою насадкою

дозволяє інтенсифікувати масообмін за рахунок збільшення поверхні контакту фаз і турбулізації рідини при роботі з великими швидкостями подачі газової і рідкої фаз.

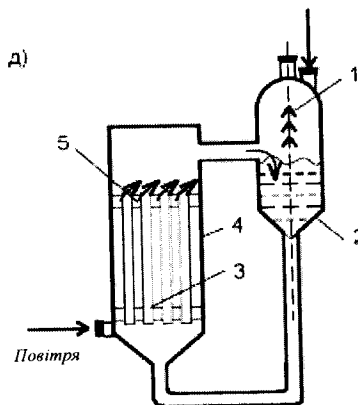


Рис. 4.3.8. Газліфтний колоній ферментер з висхідним потоком повітря:

- 1 – піногасник, 2 – ємність,
- 3 – диспергатор, 4 – корпус,
- 5 – розподільна перегородка

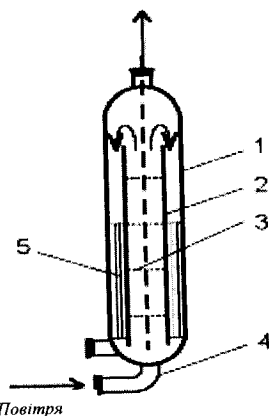
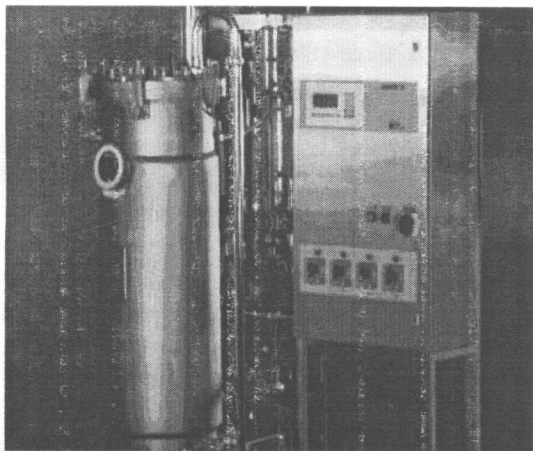


Рис. 4.3.9. Газліфтний колоній ферментер з низхідним потоком повітря: 1 – корпус, 2 – дифузор, 3 – диспергатор, 4 – повітродозподільник, 5 – теплообмінник

Розробники апаратури в нашій країні і за кордоном постійно вдосконалюють конструкції біореакторів. Так, наприклад, фірма New Brunswick Scientific Co., Inc. (США) запропонувала наступні типи ферментаторів: Біо-Фло III - для періодичного і безперервного культивування мікробних, тваринних і рослинних клітин, сумішений з мікропроцесором і персональним комп'ютером; Мікрос I - для культивування мікроорганізмів (сумішений з мікропроцесором) та промислові ферментатори об'ємом від 40 до 4000 літрів і більше (сумішені з мікропроцесорами). В Датській мультинаціональній компанії Gist-Brocades був сконструйований і виготовлений найбільший промисловий ферментатор для виробництва пеніциліну (200 м<sup>3</sup>).

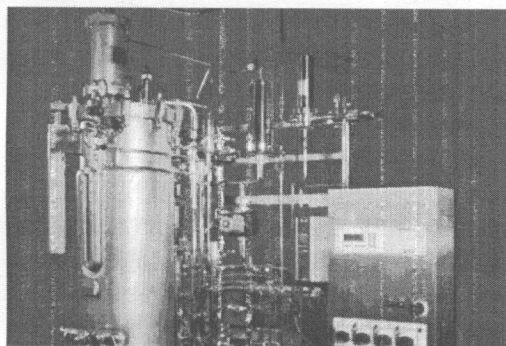
Фірма Sartorius розробляє комплексні рішення для всього циклу виробництва у фармацевції і біотехнології, серед яких різноманітні біореактори, ферментаційні системи, тощо.



*Ферментаційна система Biostat D 50/D 100*

*Ферментаційна система Biostat D50/D100 з реакторами об'ємом 50 або 100 л використовується для виробництва пілотних партій продукту з реакторами. Вона виготовлена за модульною технологією і складається з монтажного блоку, реакторів і блоку управління. "Відкрита" конструкція виконавчого блоку забезпечує швидкий доступ, легке обслуговування та зручну роботу з ферментером.*

Реактори з кожухом виготовлені з нержавіючої сталі і мають спіральний нагрівальний елемент, призначений для ефективного і однорідного нагріву. Відношення висоти ємності до її діаметра становить 3:1. Система Biostat D50/D100 поставляється з цифровою системою вимірювання і управління параметрами процесу, датчиками температури, рН, O<sub>2</sub>, піни і чотирма вбудованими перистальтичними насосами. За допомогою такої ферментаційної системи можна проводити як безперервні, так і періодичні процеси з подачею поживного середовища. Потужний двигун у комбінації з трьома турбінами забезпечує ефективне змішування і дисперсію газових бульбашок з високим ступенем аерації.

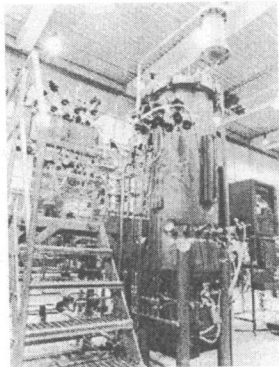


*Ферментаційна система Biostat D 300/D 500*

*Блок управління промислової ферментаційної системи Biostat D300/D500 з реакторами об'ємом 300 або 500 л, виготовлений з нержавіючої сталі, і містить всі необхідні компоненти, перетворювач частоти, клапани і потужну цифрову систему вимірювання та управління.*

*Апаратні засоби управління засновані на DFC (цифрове управління)*

ферментерів) системі, яка спеціально розроблена для автоматизації біопроцесів (ферментація / культивування клітин). Система DFC включає підсилювачі сигналів з вимірювальних датчиків і перетворювачі вихідних сигналів. Використання цієї системи дозволяє досягти більш високої надійності роботи системи. Функціональні можливості програмного забезпечення ферментера дозволяють проводити вимірювання параметрів процесу, автоматичне калібрування і управляти замкнутими робочими циклами. У стандартне оснащення входить система стерилізації реактора, що включає в себе впускні і випускні повітряні фільтри. Система Biostat D300/D500 так само, як і система Biostat D50/D100 поставляється з цифровою системою вимірювання і управління параметрами процесу, датчиками температури, рН, O<sub>2</sub>, піни і чотири вбудованими перистальтичними насосами. Система містить мультіфазний ступінчастий контролер розчиненого кисню, контролер субстрату з кількох опорних точок і температурне блокування з вимиканням.



*Промислова лінія перенесення матеріалу з апарату в апарат*

Фірмою Sartorius також розроблена *промислова лінія*, яка складається з 300 літрового основного ферментера і 20 літрового посівного апарату забезпечує автоматичний процес перенесення матеріалу з апарату в апарат і потім у «врожайний» танк об'ємом 400 літрів. Для очистки ферментерів, ємностей для середовищ, реакторів, ємностей для зберігання, трубопроводів цією ж фірмою розроблена *мобільна система СІР* (очистка на місці). При використанні даної системи обладнання, яке очищується, залишається на місці, час розбирання і повторного складання механізмів суттєво зменшується, скорочуються ручні операції.

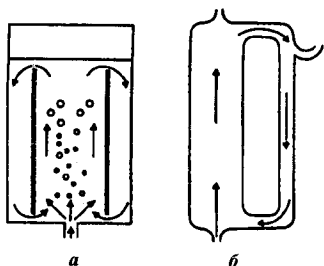
Модулі очищення розроблені для проведення надійної очищення "на місці" танків, ферментерів і периферійних ємностей. Стандартні моделі модулів СІР дозволяють проводити очищення ємностей об'ємом до 1000 л. Вибір СІР модулів обумовлений обладнанням, яке повинно бути очищено. Оскільки устаткування СІР модуля встановлено на мобільному, зробленому з нержавіючої сталі, візку, його можна легко перемістити до очищуваного обладнання. Всі компоненти в СІР модулі зроблені з нержавіючої сталі.

Потужні відцентрові насоси, виготовлені з нержавіючої сталі, обладнані системою зміни потужності. Для виконання будь-яких вимог з продуктивності очищення потужність потоку може бути налаштована вручну. Для отримання максимального ефекту від процедури очищення, насос може також працювати в

імпульсному режимі розпилення миючого складу і ополіскування поверхонь. Другий відцентровий насос забезпечує швидкий дренаж, необхідний у процесі ополіскування.

На модулі встановлено дві системи дозування, одна для лугів та інша для кислотних або нейтральних концентратів миючого засобу. Вони дозволяють застосовувати системи СІР відповідно до вимог процедури очищення. Ці системи дозування включають мембрану, дозуючі насоси з налаштованою витратою рідини, дозуючі трубопроводи з клапанами і 50 л контейнери для концентратів миючого засобу. Пристрій вимірювання провідності дозволяє контролювати фінальний процес ополіскування і завершувати процес очищення, після виконання вимог по очищенню. Модуль СІР пов'язаний з каналами постачання і дренажу стандартними промисловими затискачами через гнучкий шланг. Переключення між етапами процесу очищення (передополіскування, очищення і фінальне ополіскування) відбувається за допомогою дросельних клапанів, вбудованих в трубопровід.

#### *Апаратурне оснащення фітобіотехнологічних виробництв*



*Рис 4.3.10. Біореактори для вирощування рослинних клітин: а - ферментер з подачею стерильного повітря знизу, б - ферментер з продуванням стерильним повітрям і відповідною трубою*

Залежно від виду і потреб клітин їх культивують в різних біореакторах (з механічним переміщенням, колонного типу з перемішуванням (рис. 4.3.10)). Фірма "Sigma" (США) випускає мембранні набори (Rafts) для рослинних культур тканин, що допомагає виключити інгібітори, нерідко присутні в агар-агарі та інших гелеутворюючих агентах. Мембранні набори (Rafts) призначені для вирощування культур, які можуть підтримуватися тривалий час без зміни культурального контейнера. Мембранні набори (Rafts)

мають квадратну (60x60 мм і ін.) або круглу (73 мм в діаметрі і ін.) форму. Їх виготовляють з поліпропілену з розміром пор, в середньому 0,075x0,25 мкм (площа всіх пор займає близько 45% мембрани) та товщиною 25 мкм; вони придатні для потоку води 288 л/м<sup>3</sup>/год. Мембрани стійкі до дії сильних кислот, основ і до органічних розчинників (за винятком галогенованих вуглеводнів).

#### *Деякі особливості культивування біооб'єктів*

З усього розмаїття способів проведення процесів біотехнології найбільш складними є регульовані ферментації з дотриманням умов асептики. Реалізація



таких процесів розрахована на використання автоматизованого забезпечення. Крім того, для проведення процесу в асептичних умовах необхідно введення додаткових стадій, що забезпечують стерилізацію поживних середовищ і повітря, що подається в ферментери.

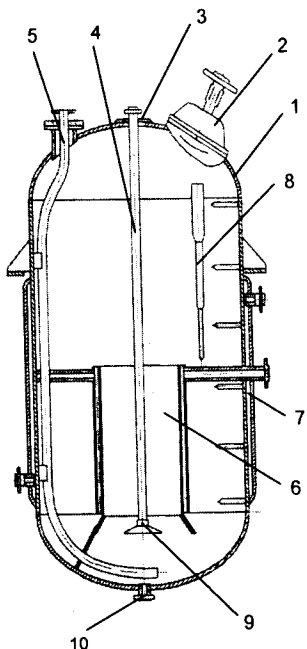


Рис. 4.3.11. Інокулятор:

- 1 - корпус, 2 - лаз, 3 - оглядове вікно,
- 4 - аератор, 5 - труба для перетуску
- посівної культури у ферментер,
- 6 - дифузор, 7 - сорочка, 8 - гільза для
- термометра, 9 - розетка аератора,
- 10 - штуцер для пуску рідини

Стерильне поживне середовище в інокуляторі - посівному апараті першого ступеню (рис. 4.3.11) засівають з дотриманням правил асептики через спеціальний пристрій посівним матеріалом, який попередньо був вирощений в колбах (в лабораторії). Технологи створюють і підтримують необхідні режими в апараті для розмноження клітин продуцента (температуру, аерацію і перемішування), а мікробіологи контролюють і оцінюють розвиток культури. При досягненні необхідних стадій розвитку і кількості біомаси посівний матеріал передавлюють стерильним стисненим повітрям по посівного колектору у посівний апарат більшого об'єму. На другому ступені вирощування посівного матеріалу прагнуть отримати більше біомаси клітин, щоб у ферментері можна було створити необхідну для даного штаму продуцента вихідну щільність популяції.

Біосинтез цільового продукту в ферментері відбувається при заданому температурному режимі, аерації, перемішуванні і рН культуральної рідини. У

разі піноутворення подають стерильний піногасник із спеціального апарату за сигналом датчика рівня піни. Для підтримки сталості концентрацій окремих компонентів поживного середовища їх подають у вигляді стерильних розчинів за командою керуючого приладу з певною швидкістю і періодичністю в ферментер зі спеціальних апаратів.

**Апарати для приготування та стерилізації поживних середовищ**  
**Апарати автоматичного приготування та стерилізації середовищ Agarster**

Досить складний процес підготовки агару і бульйону для приготування середовища в даний час може проводитися автоматично, легко і безпечно за допомогою апаратів серії AGARSTER. Апарати для автоматичного приготування середовища реалізують повний автоматичний цикл при підготовці поживного середовища: безпосередньо підготовка (змішування і нагрівання), стерилізація, охолодження і зберігання середовища при постійній температурі для дозування.

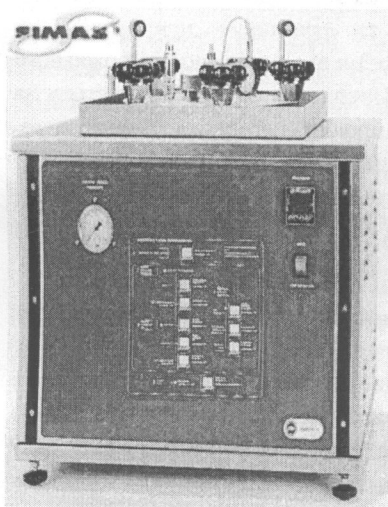


Рис. 4.3.12. Апарати для автоматичного приготування середовища AGASTER

*Переваги* апаратів для автоматичного приготування середовища: висока якість одержуваного середовища (відповідає GLP), відсутність термального шоку у чутливих до нагріву складових середовищ, відсутність конденсату на внутрішній стороні кришки чашки Петрі при її наповненні, високий ступінь безпеки при роботі.

*Принцип роботи апаратів* для автоматичного приготування середовища: протягом всього циклу підготовки середовище перемішується, щоб уникнути локального перегріву і щоб досягти рівномірного нагрівання у всьому об'ємі. Додавання термочутливих субстанцій (кров, антибіотики, вітаміни, тощо) у середовище після стерилізації проводиться через спеціальний отвір у кришці.

Дозування готового стерильного середовища відбувається також стерильно за допомогою силіконової автоклавної трубки. Дана трубка підключається до апарату для автоматичного приготування середовища і потім до перистальтичного насоса або автоматичного наповнювача чашок Петрі.

*Робочі характеристики:* максимальна температура стерилізації - 125 ° С; максимальний час стерилізації - 99 хвилин; виготовлені з полірованої нержавіючої сталі (легко мити і дезінфікувати); високоякісна електроніка (ЕСО порт легко обслуговується); програмується: температура стерилізації, час стерилізації, температура зберігання середовища під час дозування; цифровий дисплей і кнопки управління; магнітна мішалка; манометр; запобіжний клапан тиску; клапан для випуску повітря з камери в процесі нагріву; отвір для додавання в готову середу термочутливих добавок; необхідно підключення холодної проточної води (проточна вода автоматично подається в апарат для



Рис. 4.3.13. Апарати для автоматичного приготування середовища AGASTER ECO-MINI

автоматичного приготування середовища після завершення циклу стерилізації - для більш швидкого охолодження робочої ємності). В кінці циклу стерилізації подається звуковий сигнал.

Апарат для автоматичного приготування середовища "Agarster ECO Mini" використовується для приготування, стерилізації та розливу при постійній температурі до 3 л агару або іншого поживного середовища. Цикл процесу програмується за допомогою мікропроцесорного контролера. Максимальна температура при стерилізації 125 °С. На контрольній панелі розташований цифровий дисплей, на якому демонструються час стерилізації, задана і поточна температури.

#### *Апарати для автоматичного приготування та стерилізації середовищ MediaPrep (Systec)*

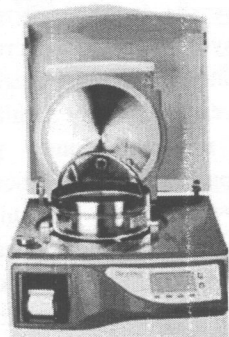


Рис. 4.3.14. Апарат для автоматичного приготування середовища MediaPrep

Автоматизоване приготування і стерилізація мікробіологічних поживних середовищ з допомогою апаратів Systec MediaPrep повністю виключають ручну роботу, дозволяючи швидко приготувати необхідну кількість стерильного мікробіологічного середовища. Мікропроцесорне управління підтримує задані параметри (температуру приготування, стерилізації та розливу середовища, швидкість перемішування), що гарантує відтворюваність і високу якість приготовленого середовища. Повний цикл приготування та стерилізації середовища займає від 60 до 120 хвилин в залежності від розміру бака і об'єму середовища. Апарат для автоматичного приготування середовища MediaPrep оснащений спеціальним портом для внесення добавок (вітамінів, антибіотиків,

крові) в готове середовище до розливу. Апарат для автоматичного приготування середовища MediaPrep забезпечує автоматичну стерилізацію середовища, при цьому приготоване середовище автоклавується безпосередньо в апараті. Тривалість стерилізації регулюється від 1 до 99 хвилин. Температура автоклавування регулюється в діапазоні від 60 °С до 138 °С. Ідеальна

однорідність середовища приготованого в такому апараті забезпечує вбудована магнітна мішалка. Швидкість мішалки регулюється в діапазоні від 0 до 260 об/хв., що забезпечує високу однорідність навіть густих середовищ і дозволяє підібрати оптимальну швидкість перемішування під час усіх стадій приготування, стерилізації та розливу середовища.

Ефективне охолодження забезпечується циркулюючою холодною водою до обраної температури розливу готового середовища, при цьому запобігається закипання і піноутворення середовища, завдяки підтримці надлишкового тиску в робочій камері на стадії охолодження. Розлив стерильною середовища відбувається через гнучку трубку з клапаном за допомогою створення додаткового тиску всередині камери, через гнучку трубку з клапаном за допомогою електронного перистальтичного насоса, приєднання до автоматичних розливних систем для чашок Петрі.

#### *Апарати для автоматичного приготування та стерилізації середовищ Masterclave*

Продуктивність апаратів для автоматичного приготування середовища Masterclave становить до 60 літрів культурального середовища за 90 хвилин. Прилад відповідає стандартам GLP, FDA і ISO. Контроль операції приготування культурального середовища здійснюється мікропроцесором. Для простого програмування передбачена літеро-цифрова клавіатура. Для можливості додаткового програмування (на вимогу) поставляється програмне забезпечення Labmaster. За допомогою додаткового принтера можливе здійснення повної реєстрації результатів: друк етикеток з параметрами заданої програми; друк температурної кривої і температурних даних протягом процесу стерилізації та тривалості потенційного періоду переривання циклу стерилізації.



*Рис. 4.3.15. Апарат для автоматичного приготування середовища Masterclave*

Можлива реєстрація процесу за допомогою ПК. Мікропроцесор дає можливість ввести в пам'ять до 40 програм. Всі параметри циклу зберігаються в пам'яті приладу. Апарати для автоматичного приготування середовища Masterclave мають функцію фіксації кришки замикаючим пристроєм, який спрацьовує при температурі понад 80 °С. Зовнішня захисна кришка відкривається без зусиль при температурі нижче 80 °С. Сталева кришка має вікно для спостереження за процесом. Прилад простий при транспортуванні та в сервісному обслуговуванні, Внутрішня частина камери апаратів для автоматичного

приготування середовища Masterclave не має мертвого об'єму. Нагрівання води відбувається з мікропроцесорним управлінням і з точністю  $\pm 1$  °C, виключаючи будь-яку небезпеку перегріву. У процесі приготування середовище безперервно помішується великою магнітною мішалкою. Прилад забезпечує стерильність процесу. Відповідно до міжнародних стандартів мікропроцесор проводить безперервний контроль температури стерилізації. Всі ці характеристики є необхідними для якісної роботи апаратів для автоматичного приготування середовища, що використовуються для приготування середовищ (у тому числі чутливих до температурного режиму). Температура стерилізації встановлюється в межах від 90 до 125°C, а температура розливу - від 30 до 80°C. Ідеально поєднується з автоматичним розливним модулем APS 320 і розріджувачем Dilumat. Контроль операції приготування культурального середовища здійснюється мікропроцесором.

*Апарати для автоматичного приготування та стерилізації середовищ Steragar*

В автоматичній системі приготування середовища температурний датчик безпосередньо занурюється в середовище, дозволяючи дуже точно контролювати температуру і час. Сорочка і спеціальна мішалка сприяють ефективному розподілу тепла та рівномірному охолодженню всього об'єму середовища. Короткий час дії високої температури на термочутливі компоненти гарантує високу якість агаризованих середовищ.

Вимоги до всіх систем для приготування середовищ: стерильність, здатність середовища підтримувати ріст, відтворюваність від серії до серії. Автоматичні системи приготування середовища виключають ряд недоліки середовищ, що були приготовлені вручну та недоліки стандартного автоклава.

Мета автоматичного приготування середовищ у мікробіологічній лабораторії - підвищення якості середовищ, покращення умов роботи, відповідність правилам GLP, безпека оператора.

Підвищення якості середовищ забезпечується автоматизацією контролю температури і тривалості приготування середовища відповідно до міжнародних стандартів; обмеження надмірного термічного впливу при автоматичному приготуванні підвищує якість середовища в порівнянні з ручним; свіжоприготовані середовища забезпечують кращу селективність, ріст, морфологічні характеристики колоній; різні температурно-часові режимні умови для приготування різних середовищ, еритроцити у складі кров'яного агару не руйнуються через надмірний температурний вплив; можливість ідентифікації кожного циклу приготування середовища; правильний і постійний обсяг середовища в кожній чашці Петрі для стандартизації методу.



Рис.4.3.16. Апарат для автоматичного приготування середовища Steragar

*Характеристики* апаратів для автоматичного приготування середовищ Steragar: об'єм приготованого середовища від 1 до 10 літрів та від 1 до 16 літрів; максимальна температура 125 °С; програмований мікропроцесор дозволяє управляти процесом стерилізації та дозування; цифровий дисплей для контролю температури і робочого циклу; фронтальна панель з принтером та інструкцією; оболонка для швидкого лінійного охолодження; вбудована магнітна мішалка забезпечує рівномірну температуру середовища,

Апарат для автоматичного приготування середовища Steragar дуже компактний, має корпус з нержавіючої сталі AISI 304, мікропроцесорна карта програмує і контролює процеси стерилізації та дозування. Тепло генерується посиленням елементом.

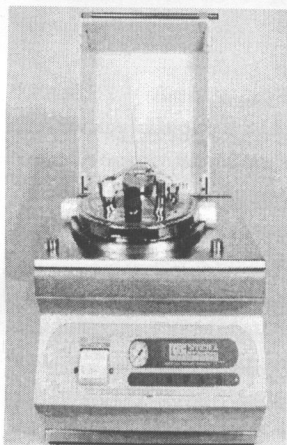


Рис.4.3.17. Апарати для автоматичного приготування середовища MediaClave

*Багатофункціональні апарати для автоматичного приготування та стерилізації середовищ*

Багатофункціональні апарати для автоматичного приготування середовища MediaClave випускається в комплекті з кюветою з нержавіючої сталі, магнітною мішалкою та стерилізуючим фільтром. У будову багатофункціональних апаратів MediaClave входить термопринтер, що дозволяє встановлювати інтервали друку фізико-хімічних параметрів показів і дає можливість отримувати протоколи наступної інформації: дата, час, температура, об'єм, дані оператора, номер завантаження, графічний цикл приготування середовища. Мікропроцесорний контроль забезпечує доступний процес програмування, дисплей показує: кожен введений крок, графік стерилізації, повідомлення про помилки, наявна пам'ять для

зберігання протоколів, можливість зберігання назви середовища, яке готується, а також час і температуру. Максимальний об'єм середовища є 12 л. Багатофункціональні апарати для автоматичного приготування середовища можуть використовуватися в якості автоклава і водяної бані.

### *Станції автоматичного приготування і дозування середовищ в чашки Петрі GEMELLI та ANTARES*

До складу станції GEMELLI входять: апарат для автоматичного приготування середовища ECO - MINI, автоматичний дозатор ADD-Mini-SS та спеціальний стіл з підставкою для підготовлених чашок Петрі із середовищем.

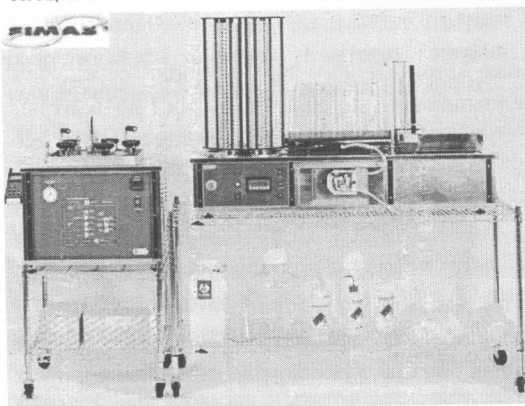


Рис. 4.3.18. Автоматична станція GEMELLI

Існує дві комплектації автоматичної станції GEMELLI. Стандартний комплект містить апарат для автоматичного приготування середовища ECO-Mini, автоматичний дозатор ADD-Mini SS та пересувний стіл-підставку Alp.

Розширений комплект GEMELLI включає апарат для автоматичного приготування середовища ECO-Mini, автоматичний дозатор ADD-

Mini SS, пересувний стіл-підставку Alp, дозатор агару Blood-O-Mat.

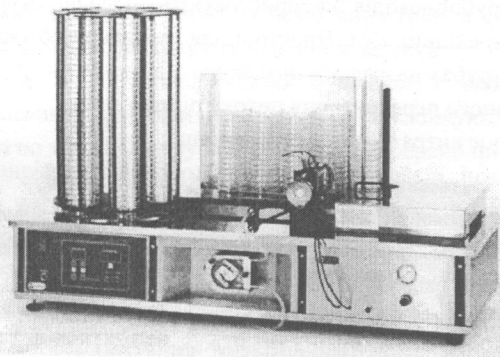
Автоматична станція ANTARES існує у двох комплектаціях. Стандартний комплект: апарат для автоматичного приготування середовища Agarster IV, автоматичний дозатор ADD-SS, пересувний стіл-підставка ABC для апарату для автоматичного приготування середовища, пересувний стіл-підставка NEO для дозатора. Автоматична станція ANTARES розширеної комплектації: апарат для автоматичного приготування середовища Agarster IV, автоматичний дозатор ADD-SS, пересувний стіл-підставка ABC для апарату для автоматичного приготування середовища, пересувний стіл-підставка NEO для дозатора, дозатор агару Blood-O-Mat.

### *Станції автоматичного приготування і дозування середовищ ADD - Mini-SS та ADD - SS.*

Автоматичні станції для приготування та розливу середовищ включають апарати для автоматичного приготування середовища і спеціальні блоки

автоматичного розливу середовищ "ADD-Mini-SS" для 3-літрового апарату для автоматичного приготування середовища "Agarster-ECO-Mini" або "ADD-SS" для апаратів для автоматичного приготування середовища більшого об'єму.

Автоматичні станції для приготування та розливу середовищ призначені для автоматичного наповнення чашок Петрі готовим поживним середовищем. Готове середовище з апарату для автоматичного приготування середовища можна перекачати не тільки в чашки Петрі, але і в будь-яку стерильну ємність, будь-яку стерильну рідину можна перекачати з однієї ємності в іншу. Механічний пристрій для відкривання кришки чашки Петрі перед заповненням



*Рис.4.3.19. Станції автоматичного приготування і дозування середовищ ADD - Mini-SS*

середовищем і для закривання після наповнення виготовлений з нержавіючої сталі AISI 304. На передній панелі є мережевий вимикач, роз'єм для підключення нижньої педалі, вимикач перистальтичного насоса, ручка регулювання кількості дози середовища, всередині дозуючої камери бактерицидна лампа.

Робочі характеристики наповнювача ADD - Mini - SS: Швидкість наповнення чашок Петрі до 500 шт/год. Обсяг каруселі: 20 чашок Петрі. Максимальний обсяг дози середовища 100 мл. Продуктивність насоса: до 400 мл/хв. Вага 30 кг. Додатково необхідний спеціальний стіл для розміщення готових чашок Петрі із середовищем.

Робочі характеристики наповнювача ADD - SS: швидкість наповнення чашок Петрі до 700 шт/год, об'єм каруселі - 240 чашок Петрі, максимальний об'єм дози середовища - 100 мл, продуктивність насоса - до 400 мл/хв, вага 120 кг, цифровий екран, індикаторні лампочки, звуковий сигнал тривоги, автоматичне складання заповнених чашок Петрі. Даний наповнювач може бути укомплектований спеціальним принтером для маркування чашок Петрі.

### **Особливості трубопровідних систем фармацевтичних та біотехнологічних**

#### *Технологічні трубопроводи*

У будь-якому фармацевтичному чи біотехнологічному виробництві використовується велика кількість трубопроводів. Їх можна розділити на трубопроводи для господарсько-побутових потреб (вода технічна, вода питна,



каналізація); та технологічні трубопроводи (вода очищена, вода для ін'єкцій, стиснуте повітря, стиснутий інертний газ, вакуум, пара для обігріву).

*Трубопровідна система* складається із труб, деталей для з'єднання і кріплення трубопроводів та трубопровідної арматури. *Труби* виготовляють з металів (чавун, сталь, титан, мідь, алюміній та їх сплави) та неметалів (кераміка, скло, полімери). З'єднання труб буває роз'ємним і нероз'ємним. Нероз'ємні з'єднання виготовляють за допомогою зварювання, пайки чи клеєння (для деяких видів неметалічних труб). До роз'ємних з'єднань відносять фланцеві, різьбові, раструбні та деякі інші спеціальні види. Для зміни діаметру, напрямку чи розгалуження трубопроводів використовують *фасонні деталі*: коліно, трійник, хрестовина, перехідник і т.і. Пристрої для керування потоками рідин і газів, які рухаються по трубах називають *арматурою*. Вона буває:

- закривальною – для повного перекривання потоку рідин і газів;
- регулювальною – регулює витрату і тиск середовища;
- спеціальною – запобіжні і зворотні клапани, конденсатовідвідники,

показники рівня, тощо.

Розглянемо детальніше особливості технологічних трубопроводів, оскільки на фармацевтичному та біотехнологічному виробництві до них висуваються особливі вимоги.

1. Трубопровід *стислого повітря* виготовляють з нержавіючої сталі. Стиснутий газ застосовують для перетискання рідин, перемішування (шляхом барботування), фільтрування та продування трубопроводів і апаратів. У правилах GMP є пряма вказівка на використання у фармацевтичних виробництвах безмасляних компресорів. На вході в технологічне устаткування часто встановлюють фільтри фінішної фільтрації повітря.

2. У виробництвах часто використовується *стиснутий інертний газ* (азот, деколи аргон та ін.), наприклад, для продування емностей у разі використання легкозаймистих рідин, зокрема, спиртових розчинів лікарських препаратів або у випадку, коли лікарський препарат окиснюється киснем повітря і тоді операції з ним також проводять в середовищі інертного газу.

Як правило, стиснений азот до точок споживання – апаратів для приготування розчинів лікарських речовин, поступає по трубопроводу з нержавіючої сталі. Перед входом в апарат на азотній лінії зазвичай встановлюють закривний кран, вологовідділювач - редуктор і стерилізуючий фільтр (0,22 мкм), для того, щоб азот, поступаючи до реактору, не викликав мікробну контамінацію лікарського препарату.

3. В технології лікарських препаратів *вакуум* використовують для: видалення рідин з апаратів; проведення процесів сушіння та випарювання; фільтрування. Вакуумні лінії монтують, як можна простішими і коротшими,

щоб зменшити кількість нещільностей. Не слід приєднувати до одного вакуумного насосу великої кількості апаратів. Щоб зменшити гідравлічний опір для вакуум-проводів підбирають безшовні труби великого діаметру з нержавіючої сталі з шорсткістю внутрішньої поверхні 0,8 мкм. В якості замочно-регулювальної арматури використовують крани чи засувки, але не вентиля. Перед вакуум-насосом ставлять фільтрувальну ємність (наприклад з розчином соди) для усушки повітря, що засмоктується.

4. *Водяна пара* використовується для нагрівання реакційних апаратів, проведення процесів сушки та ректифікації. Паропроводи виготовляють з стійких до корозії сталних безшовних труб, а в якості замково-регулювальної арматури використовують вентиля і засувки.

5. Трубопроводи *води очищеної і води для ін'єкцій* називаються кільцевими, оскільки починаються і закінчуються у відповідних збірниках. Вода по кільцевих трубопроводах безперервно циркулює за допомогою насосів.

Однією з основних вимог, що висуваються до систем розподілу води для фармацевтичних цілей, є забезпечення належної мікробіологічної чистоти води, яка вирішується різними способами і прийомами:

- забезпечення температурного режиму (80-95 °C або 5-10 °C);
- забезпечення необхідної швидкості потоку води в системі розподілу;
- використання ультрафіолетового опромінення, систем озонування, обробки парою, періодичної санітаризації;

- використання трубопроводів з високою гладкістю внутрішньої поверхні (шорсткість менше 0,8 мкм);

- використання санітарних з'єднань, безшовного орбітального зварювання, зварювання «встик» (для полімерних матеріалів);

- забезпечення відсутності застійних зон та ін.

Кільцевий трубопровід *води очищеної* може бути зварений з поліпропіленових труб.

У кільцевому трубопроводі *води для ін'єкцій* циркулює вода, яка йде на приготування ін'єкційних розчинів і фінішного ополіскування матеріалів первинної упаковки: флаконів, пробок і ковпачків, тому до нього висуваються найвищі вимоги. Як матеріал використовуються безшовні труби і фітінг (рис. 4.4.1) з нержавіючої сталі з молибденом (висока стійкість до корозії) з шорсткістю внутрішньої поверхні до 0,8 мкм.

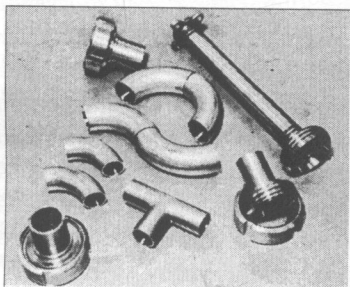


Рис.4.4.1. Труби і фітінг з нержавіючої сталі, виробництва "Sudmo" Німеччина.

Система розподілу води повинна забезпечувати однонаправлений рух потоку і можливість повного видалення води з трубопроводу. При цьому жодна частина трубопроводу не повинна знаходитися в горизонтальному положенні, а точки відбору води мають бути обладнані мембранними вентилями санітарного виконання і спроектовані з урахуванням правила шестикратного діаметру. Для унеможливлення мікробної контамінації не допускається використання різьбових з'єднань і кулових вентилів.

### Закривально-регулювальна арматура та її особливості при проектуванні трубопроводів води для фармацевтичних виробництв

Закривально-регулювальна арматура за конструкцією закривного засобу поділяється на крани, вентилялі і засувки.

*Кранами* (рис. 4.4.2, а) називають арматуру, яка відкриває-закриває прохідний канал поворотом притертої до гнізда пробки (найчастіше конічної форми), що має наскрізний отвір. Їх перевагою є малий гідравлічний опір і можливість прочистки трубопроводу через відкритий кран. Недоліки – погана герметичність при високих тисках та важкість точного регулювання витрати рідини. Зазвичай їх використовують на лініях газів, вакууму та в'язких і забруднених рідин.

У *вентиллях* (рис. 4.4.2, б) відкривання і закривання отвору для проходу газів та рідин здійснюється за допомогою клапана, що розміщений на шпindelі, який у свою чергу здійснює зворотно-поступальний рух. Нижня поверхня золотника пришліфована (притерта) до країв отвору. Вентилі характеризуються значним гідравлічним опором і не застосовуються для роботи з забрудненими середовищами.

*Засувками* (рис. 4.4.2, в) називають арматуру, в якій прохід для руху середовища відкривається шляхом підйому шибера чи диска, розташованого в корпусі

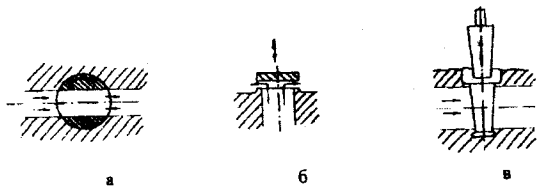


Рис. 4.4.2. Схема закривальної арматури  
а) кран, б) вентиль, в) засувка

засувки. Їх найчастіше застосовують для трубопроводів з діаметром труб 50–200 мм. Перевагою засувок є невисокий гідравлічний опір, а недоліками: громіздкість, складність при виготовленні ущільнюючих поверхонь та захисту від корозії.

Однією з головних причин, які приводять до контамінації води для фармацевтичних цілей мікроорганізмами, є наявність, так званих, застійних зон

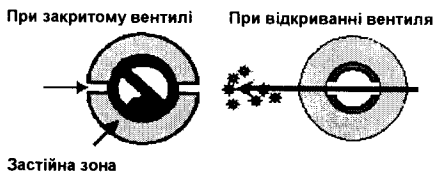


Рис. 4.4.3. Схема утворення застійних зон і забруднення води при роботі вентиля.

в системі розподілу. Причиною часто є неправильне проектування усєї системи, у тому числі використання замочно-регулювальної арматури, в конструкції якої є застійні зони.

Тому однією з вимог, що висувається до замочно-

регулювальної арматури, згідно з вітчизняними і міжнародними стандартами і рекомендаціями «Baseline Pharmaceutical Engineering Guide. A Guide for New Facilities, Vol.4: Water and Steam Guide», ISPE; «Guide to Good Manufacturing Practice for Medicinal Products» (GMP EC), WHO-EDM «Water purification engineering», ОСТУ 42-510-98 "Правила організації і контролю якості лікарських засобів (GMP)", ТУ 78-113 "Приготування, зберігання і розподіл води очищеної і води для ін'єкцій" та ін.) є використання мембранних вентилів (diaphragm valve) – вентилів "санітарного" типу.

Не можна на підприємствах використовувати кульові вентиля, що пов'язано з конструктивними особливостями цього типу замочно-регулювальної арматури. При закритті кульового вентиля (рис. 4.4.3) частина води залишається всередині порожнини кулі, таким чином, створюючи застійну зону. У разі, якщо цей ventиль залишається в закритому положенні впродовж тривалого часу, всередині (у порожнині кулі) відбувається ріст і розмноження мікроорганізмів. Після відкриття цього вентиля, увесь вміст потрапляє в потік води і поширюється по всій системі розподілу і зберігання води. Часто, це призводить до утворення біоплівки на стінках трубопроводів і, відповідно, до серйозних проблем для виробника лікарських препаратів.

Конструкція мембранних вентилів забезпечує відсутність застійних зон у внутрішній області. Кожен ventиль складається з трьох основних складових: приводу, мембрани (діафрагми) і корпусу вентиля.

Для управління роботою мембранних вентилів зазвичай використовуються ручний привід (manual operated valve), пневмопривід (pneumatic valve), електропривід (motorized valve). В якості матеріалів для виготовлення приводів використовують нержавіючу сталь і різні полімерні матеріали. За видами матеріалів конструкції приводи можуть бути розділені на ті що піддаються і, які не піддаються термічній стерилізації автоклавуванням.

Мембрани, які використовуються в конструкції санітарних вентилів можуть бути виконані з різних матеріалів:

- EPDM (Ethylene Propylene rubber). Матеріал має високу стійкість до різних агресивних хімічних речовин і температур до 90°C (короткочасно до 120°C). Не використовується для олій і жирів;

- NBR (Nitrile rubber). Матеріал має хорошу стійкість до олій і бензину, температур до 90°C (короткочасно до 120°C). Не застосовується для окисників;

- FPM (Viton TM). Матеріал має високу стійкість до усіх розчинників полімерних матеріалів і температур до 200°C;

- Silicone (Silicone rubber). Матеріал має високу стійкість до агресивних середовищ і температур до 130°C (короткочасно до 220°C).

- PTFE (Teflon TM). Матеріал має найвищу хімічну і термічну стійкість серед перерахованих видів матеріалів. Його використання можливе при температурах до 250°C (короткочасно до 300°C);

- Комбінації PTFE/EPDM, PTFE/FPM, PTFE/Silicon та ін.

У більшості випадків застосування мембранних вентилів саме мембрана є лімітуючим чинником, що визначає діапазон робочих тисків.

Мембрани, що використовують у фармацевтичній практиці витримують тиск до 10 бар. Є вентиля, застосування яких обмежене 6-ма барами.

Як матеріал корпусу мембранних вентилів використовуються різні види полімерних матеріалів: поліпропілен (PP), полівінілхлорид (PVC), поліетилен (PE), PVDF (полівініліденфторид), а також нержавіюча сталь ASTM тип 316 L (марка по ГОСТу - 03X17H14M3).

Одним з критичних параметрів якості мембранних вентилів, що випускаються, є міра шорсткості внутрішньої поверхні. Для систем розподілу води очищеної і води для ін'єкцій шорсткість внутрішньої поверхні з нержавіючої сталі повинна складати менше 0,8 мкм (у критичних точках - до 0,4-0,6 мкм). Для забезпечення такої якості поверхні застосовується механічне або електрополірування.

Для кріплення мембранних вентилів до системи трубопроводів застосовується:

- орбітальне безшовне аргонове зварювання (для нержавіючої сталі), зварювання встик (для полімерних матеріалів); а також використовуються санітарні з'єднання;

- затиски/фіксатори санітарного типу (Tri - Clamp);

- муфти санітарного типу (Aseptic unions);

- фланці санітарного типу (Aseptic flanges).

За сферою застосування розрізняють замочні (закривання/відкривання), регулювальні мембранні вентиля (регулювання потоку та ін.), багатоканальні (від 3 і більше місць під'єднання трубопроводів), донні (прикріплюються до

ємності для зберігання води для фармацевтичних цілей), мембранні вентиля з пробовідбірником і багато інших.

Виробниками мембранних вентилів є всесвітньо відомі компанії, такі як: Georg Fisher, Швейцарія; Gemu, Burkert, Німеччина; (мембранні вентиля з полімерних матеріалів і нержавіючої сталі); AGRU, Австрія, IBG, Голландія; FIP, Італія (мембранні вентиля з полімерних матеріалів).

Мембранні вентиля вище перелічених виробників мають багато спільного у своїх конструкційних особливостях (рис. 4.4.4).



Рис. 4.4.4. Вид та конструкція мембранних вентилів провідних європейських виробників

Дещо іншу, запатентовану конструкцію мають мембранні вентиля шведської компанії NovAseptic AB, що мають поліпшені гідродинамічні характеристики і забезпечують максимальну герметичність та відсутність застійних зон. На відміну від інших фірм-виробників мембрана вентиля безпосередньо покриває шток приводу. Для забезпечення герметичності і відсутності застійних зон використовуються додаткові конструкційні особливості (рис.4.4.5).

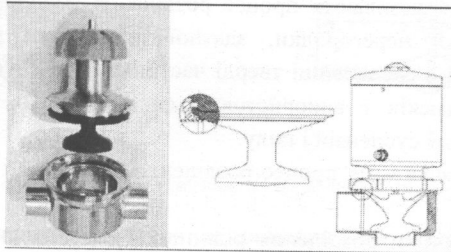


Рис.4.4.5. Вид та конструкція мембранних вентилів шведської компанії NovAseptic AB

## Розділ 5. ГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ

На хіміко-фармацевтичних та біотехнологічних виробництвах зустрічається чимало процесів, що приводять до утворення неоднорідних сумішей, які потім потребують розділення.

Неоднорідними називаються суміші, компоненти яких знаходяться в різних агрегатних станах, причому один із них знаходиться у вигляді дрібних частинок, а другий – середовище, в якому ці частинки розподілені.

Розділення має різну мету, а саме: очищення газової або рідкої фази від завислих у ній забруднених частинок, або виділення цінних продуктів, завислих у газовій чи рідкій фазах.

Методи розділення неоднорідних систем вибирають залежно від розмірів частинок дисперсної фази, різниці густин дисперсної фази і дисперсійного середовища, а також в'язкості та ін. Розділення неоднорідних систем може відбуватися під дією різних сил: тяжіння, відцентрових, електричних та тиску.

Використовують такі основні методи розділення: осадження, фільтрування, центрифугування та мембранні методи.

*Осадження* – це процес розділення, при якому завислі в рідині або газі тверді або рідинні частинки дисперсної фази відділяють від суцільної (дисперсійне середовище) фази під дією сили тяжіння, відцентрової або електростатичної сили. Осадження під дією сили тяжіння називають відстоюванням. Відстоювання, як правило, застосовується для попереднього грубого розділення неоднорідних систем.

*Фільтруванням* називають процес розділення неоднорідних сумішей за допомогою пористої перегородки, здатної пропускати рідину або газ і затримувати завислі в середовищі тверді частинки. Фільтрування відбувається під дією різниці тисків і використовується для більш тонкого, ніж при осадженні, розділення суспензій і пилу.

*Центрифугування* – це процес розділення суспензій і емульсій під дією відцентрової сили.

Мембранні методи розділення рідинних і газових систем полягають у фільтруванні розчинів під тиском через напівпроникну мембрану, яка пропускає розчинник і затримує молекули розчинених речовин.

Незважаючи на те, що методи розділення рідинних і газових неоднорідних систем ґрунтуються на однакових принципах, обладнання, яке для цього використовують, має ряд особливостей. Тому процеси розділення рідинних і газових систем розглядаються відокремлено.

## Осадження

У процесах осадження зависла частинка переміщується в рідині (газі, парі) під дією сили тяжіння, рідше – відцентрових сил. Необхідною умовою процесу осадження в полі цих сил є різниця густин дисперсної фази і дисперсійного середовища. Відокремлення частинок (дисперсної фази) від дисперсійного середовища, в якому вони перебувають у завислому стані, під дією сили тяжіння називають відстоюванням, або осіданням. Якщо густина дисперсної фази більша від густини дисперсійного середовища, то завислі частинки осідають на дно посудини, і, навпаки, якщо густина дисперсійного середовища більша від густини завислих частинок, останні спливають на поверхню.

Швидкість осідання (чи відстоювання) завислих частинок залежить від густини і розміру частинок (ступеня дисперсності), причому вона буде тим меншою, чим меншого розміру частинки дисперсної фази і чим менша різниця між густинами обох фаз. Невелика швидкість осадження частинок під час відстоювання не забезпечує виділення із суміші тонкодисперсних частинок, тому відстоювання використовується для грубого розділення неоднорідних систем, – в основному, грубих суспензій.

Розділення суспензій, емульсій та газових дисперсних систем під дією гравітаційного поля проводять в апаратах, які називаються відстійниками. Розрізняють відстійники періодичної, напівбезперервної та безперервної дії.

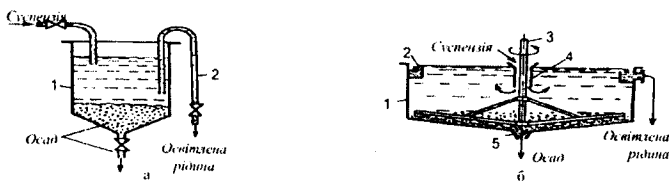


Рис. 5.1. Схеми апаратів для осадження: а - періодичної дії; б - безперервної дії.

Відстійник періодичної дії – це циліндричний резервуар 1 з конічним дном (рис. 5.1, а). Суміш, яку мають розділяти, заливають в апарат і залишають відстоюватись. Якщо густина частинок  $\rho_ч$  більша від густини середовища  $\rho_с$ , то частинки цілком або частково встигають осісти в нижній частині апарата, утворюючи концентрований осад, а у верхній частині апарата утворюється прояснений шар. Якщо ж  $\rho_ч < \rho_с$ , то частинки дисперсної фази спливають угору, утворюючи концентрований продукт на поверхні освітленого шару. У першому випадку через сифонну трубу 2 зливають освітлений шар, а потім вивантажують осад через нижній штуцер. У другому – спочатку знімають



верхню частину, а потім зливають освітлену рідину. Після промивання відстійника процес знову повторюється.

На рис. 5.1, б зображено схему одноярусного відстійника безперервної дії з механізованим виділенням осаду. В його основі є циліндричний резервуар 1 з конічним дном і кільцевим лотком-водозливом 2 для відведення освітленої рідини. У центрі апарата встановлено вал 3 з гребками, який повільно обертається (близько 10 обертів за 1 год). Гребки призначені для просування осаду по днищу від периферії до вихідного патрубку 5 у центрі апарата. Суспензія підводиться в апарат по центральній трубі 4.

Для збільшення поверхні осадження та економії площі приміщень відстійники роблять багатоярусними. Вони складаються з декількох (4-5) одноярусних відстійників, що розташовані один над іншим і працюють, як правило, паралельно.

### *Фільтрування*

*Фільтрування* – це процес розділення неоднорідних систем (суспензій або аерозолів) за допомогою пористих перегородок, які здатні пропускати рідину або газ і затримувати завислі в них частинки (дисперсну фазу). Фільтрування забезпечує майже повне очищення рідин та газів від завислих частинок і в цьому відношенні має значні переваги перед осадженням.

За цільовим призначенням процес фільтрування може бути очисним або продуктовим. У першому випадку цільовим продуктом є фільтрат, а в другому – осад.

Найважливішою частиною будь-якого фільтра є фільтрувальна перегородка, яка повинна затримувати тверді частинки і легко відокремлюватися від них, мати достатню механічну міцність, низький гідравлічний опір і хімічну стійкість. У якості фільтрувальних перегородок використовують картон, тканини бавовняні (бельтинг, міткаль та ін.), синтетичні (капрон, нейлон, лавсан) і вовняні, а також сітки з металевих ниток, пісок, дрібне вугілля, гравій і пористу кераміку. Роль фільтрувальної перегородки виконує й шар осаду, який при фільтруванні утворюється на перегородці, при чому його фільтрувальні властивості часто досить вищі, ніж фільтрувальні властивості перегородки. У якості допоміжних матеріалів при фільтруванні використовують кісткове і деревне вугілля, діатоміт, перліт, кізельгур, тощо. Їх використовують при безпосередньому введенні в суспензію або попередньо наминають шар на робочу поверхню фільтра. Вони значно збільшують поруватість осаду і понижують його гідравлічний опір, що сприяє збільшенню швидкості фільтрування. Крім цього, ці матеріали мають адсорбційні властивості, що широко використовується, наприклад, при освітленні рідин

(докладніше про адсорбційні властивості цих матеріалів - у розділі "Адсорбція").

Рушійною силою процесу фільтрування є різниця тисків, яка створюється по обидва боки фільтрувальної перегородки, за рахунок:

- гідростатичного тиску стовпа суспензії над фільтрувальною перегородкою;
- надлишкового тиску, створюваного насосом або стисненим повітрям;
- вакууму під фільтрувальною перегородкою;
- відцентрових сил, що виникають у суспензії, яка знаходиться в обертовій посудині.

На рис. 5.3 показано принципові схеми цих способів фільтрування.

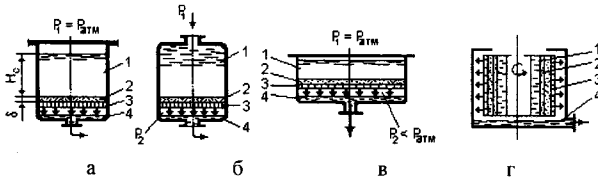


Рис. 5.3. Принципові схеми фільтрів за способом створення рушійної сили:

1 - суспензія; 2 - осад; 3 - фільтрувальна перегородка; 4 - фільтрат

У процесі фільтрування завислих у рідині чи газі твердих частинок можливі кілька випадків:

- фільтрування з утворенням осаду на фільтрувальній перегородці;
- фільтрування без утворення осаду із закупорюванням пор (закупорювальне фільтрування);
- фільтрування з утворенням осаду і закупорюванням пор.

Процес фільтрування може відбуватися в різних варіантах змін тиску і швидкості. Найбільше поширене фільтрування з утворенням шару осаду, яке здійснюється при постійному перепаді тисків.

*Теорія фільтрування.* Основним завданням теорії фільтрування є визначення швидкості цього процесу. У процесі фільтрування суспензії рідинна фаза проходить через шар осаду і фільтрувальну перегородку, які можна розглядати як шар зернистого матеріалу. Експериментально встановлено, що об'єм фільтрату  $V$ , який пройшов через цей шар, прямо пропорційний перепаду тисків  $\Delta p$ , площі фільтрувальної перегородки  $S$ , часу фільтрування  $\tau$  та обернено пропорційний опору фільтрування  $R$ :

$$V = \Delta p S \tau / R.$$

З даного рівняння випливає, що якщо процес відбувається при постійному перепаді тисків  $\Delta p$ , то в міру накопичення осаду на фільтрувальній перегородці росте опір фільтрування  $R$ , а швидкість його зменшується. У цьому

виразі величина  $R$  складається з опору фільтрувальної перегородки  $R_n$  і опору осаду  $R_o$  тобто:

$$R = R_n + R_o$$

Швидкість фільтрування  $V_\phi$  визначається об'ємом фільтрату  $V$ , який одержують за одиницю часу  $\tau$  з одного квадратного метра фільтрувальної перегородки  $S$ . При постійному перепаді тисків  $\Delta p$ :

$$\tau = aV^2 + bV$$

де  $\tau$  – час фільтрування;  $V$  – об'єм фільтрату, віднесений до  $1 \text{ м}^2$  площі поверхні фільтрувальної перегородки;  $a$  – стала, що враховує опір осаду  $R_o$ ;  $b$  – стала, що враховує опір фільтрувальної перегородки  $R_n$ . Постійні  $a$  і  $b$ , як правило, визначають експериментальним шляхом.

Після диференціювання одержимо:

$$dt/dV = 2a + b$$

Таким чином, час фільтрування залежить від об'єму фільтрату  $V$  та констант  $a$  і  $b$ .

Апарати для фільтрування дисперсних систем називаються *фільтрами* і поділяють на *фільтри періодичної та безперервної дії*. Процес фільтрування в фільтрах періодичної дії проводять до тих пір, поки не буде заповнена осадом робоча камера фільтра або непомірно виросте його опір. У фільтрах безперервної дії осад безперервно видаляється з фільтрувальної перегородки.

Із фільтрів періодичної дії широко використовуються фільтри, що регулюються, і можуть працювати, як під вакуумом, так і під тиском. Вакуум-фільтри виготовляють, як відкритими (рис. 5.4) так і закритими. Але в обох випадках ємність апарата під фільтрувальною перегородкою  $1$  сполучена зі збірником фільтрату  $2$ , а останній – з вакуум-лінією. Таким чином під фільтрувальною перегородкою створюється необхідне для проведення процесу розрідження.

При фільтруванні фільтрат проходить крізь фільтрувальну перегородку поступає у збірник  $2$ ; осад, що збирається на фільтрувальній перегородці, вивантажують вручну. Фільтри з плоскою фільтруючою перегородкою, що працюють під вакуумом, називають *нутч-фільтрами*.

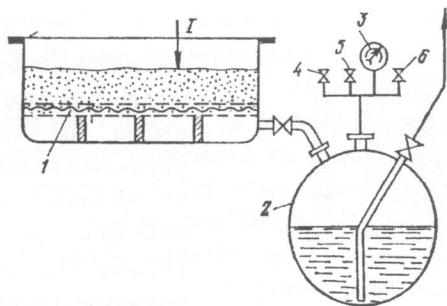


Рис. 5.4. Схема фільтрувальної установки з нутч-фільтром:  
 1 – фільтрувальна перегородка; 2 – збірник фільтрату; 3 – вакуумметр;  
 4-6 – патрубки; (4 – для стисненого повітря; 5 – для сполучення з атмосферою;  
 6 – для сполучення з вакуум-лінією);  
 I – суспензія; II – фільтрат

При фільтруванні суспензій, які утворюють осад з великим питомим опором, фільтри працюють не під вакуумом, а під тиском (0,2-0,6 МПа). Їх виготовляють у вигляді циліндричної ємкості з еліптичною кришкою та дном рис 5.5.

Після завантаження в апарат суспензії над нею створюють тиск, подаючи в апарат стиснуте повітря, або стиснутий інертний газ, і проводять фільтрування під тиском цього газу. По закінченні фільтрування апарат з'єднують з атмосферою за допомогою крану, кришку знімають і отриманий осад вивантажують вручну. На циліндричній частині деяких фільтрів є спеціальні ямки для вивантаження осаду.

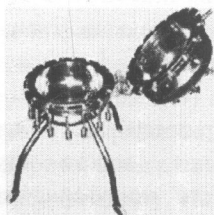


Рис. 5.5. Друк-фільтр для маслянистих розчинів об'ємом від 15 л до 10 м<sup>3</sup>, заводу «Красный Октябрь»

Перевага друк- і нутч-фільтрів – простота конструкції, висока якість фільтрування; недолік – мала продуктивність (мала поверхня фільтрування – 1-2 м<sup>2</sup>), ручне вивантаження осаду.

Значно більшу продуктивність (завдяки значно більшій площі поверхні фільтрування, до 100 м<sup>2</sup>) має рамний фільтр-прес (рис. 5.6 і 5.7), який працює під надлишковим тиском 0,3-0,8 МПа, що створюється насосом. Він складається з плит 1 і рам 2 квадратної, прямокутної або круглої форми, які стискаються між собою спеціальним пристроєм – затискувачем (ручним, електричним чи гідравлічним). Плити фільтра виготовляють із сталі, чавуну чи полімерних матеріалів Вони мають з обох боків рифлену поверхню, на яку вкладають фільтрувальну тканину 3. У зібраному вигляді між двома сусідніми плитами утворюються камери, в яких

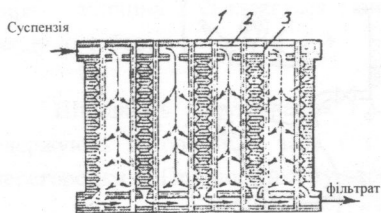


Рис. 5.6. Схема фільтрпреса

плитами. Через тканину, вкладену на плитах, проходить фільтрат, який потім стікає по рифленій поверхні плит до вивідного каналу і виводиться з фільтра. Промисловість України виготовляє фільтри з європейськими типорозмірами плит 1200x1200 та 1500x1500 мм, які можуть мати глибину камер в плитах від 7,5 до 20 і більше мм, що відповідає товщині вивантажуваного осаду 15 – 40 і більше мм, наприклад рамний фільтр-прес РЗМ (рис. 5.7.).

Зменшення швидкості витікання фільтрату є ознакою заповнення рам осадом. Після закінчення процесу фільтрування осад часто промивають. При цьому через канал фільтрату можна подавати промивну рідину. Вона потрапляє в простір між плитою і фільтрувальною тканиною, проходить крізь шар осаду і виливається через верхній канал.

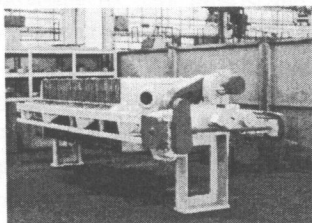


Рис. 5.7. Рамний фільтр-прес РЗМ

Перевага фільтр-пресів це: розвинута поверхня фільтрування, висока ступінь зневоднення, швидкість скидання коржа осаду, простота і надійність конструкції, широке використання (кислі, лужні і нейтральні суспензії).

Фільтрування за допомогою фільтрів періодичної дії пов'язане зі значними витратами праці та часу (до 30%) на допоміжні операції – промивання осаду на фільтрі та його вивантаження.

Із фільтрів *безперервної дії* найбільше поширені барабанні, дискові та стрічкові вакуум-фільтри. Як приклад, на рис. 5.8 схематично зображено стрічковий вакуум-фільтр.

Фільтрувальна поверхня в ньому – це безперервна перфорована гумова стрічка з бортами 1, надіта на два барабани 2, які обертаються. Поверх стрічки знаходиться фільтрувальна тканина 6, для натягування якої слугують барабани 8. Суспензія через лоток 3 і промивна рідина через форсунки (розпилювачі) 5 надходять на верхню частину стрічки фільтра. Завдяки цьому фільтрат і

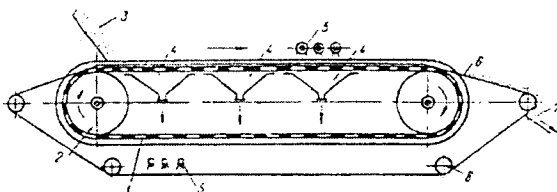


Рис. 5.8. Стрічковий вакуум-фільтр

промивна вода відсмоктуються знизу гумової стрічки у вакуум-камери 4, а осад надходить у лоток 7.

Вологість осаду після фільтрування складає 20-70 %, в розрахунках зазвичай приймають 30 %.

Зараз розроблений реактор-фільтр (Росія), який може застосовуватися в медичній, фармацевтичній, хімічній промисловості та інших виробництвах, де необхідне проведення різноманітних реакцій, фільтрація, промивання осаду. Реактор-фільтр (рис.5.9) складається з корпусу 1 з сорочкою 8, перемішуючого пристрою 7 з приводом 2 у вибухобезпечному виконанні. Плоске днище 6 має концентричні канавки, з'єднані між собою радіальними пазами, 4 отвори в центрі для зливу фільтрату. На днище встановлюється сітка 5, поверх якої кріпиться фільтрувальний матеріал 4. Днище забезпечено підйомно-поворотним пристроєм 3.

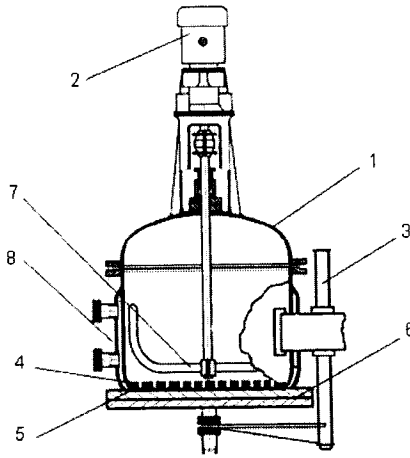


Рис. 5.9. Загальний вигляд реактора-фільтра

Реакційна маса завантажується в реактор-фільтр. Включається перемішувач, що обертається з інтенсивністю, необхідною для даного середовища. Для більш ефективного проведення реакції передбачений нагрів і охолодження реакційної маси. Отримана в результаті реакції суспензія фільтрується, осад промивається і потім вивантажується з апарату.

Даний апарат призначений для послідовного проведення в одному апараті реакційних процесів, що супроводжуються виділенням твердої фази, фільтрацією отриманої суспензії і промиванням осаду.

### Центрифугування

Центрифугування – це процес розділення неоднорідних систем під дією поля відцентрових сил. Для створення поля відцентрових сил у техніці використовують два прийоми:

- забезпечують обертальний рух потоку рідини (газу) в нерухомому робочому органі апарату;
- потік неоднорідної системи спрямовують у робочий орган, що обертається, і в якому відбувається їх спільне обертання.

У першому випадку процес називається циклонним, а апарат – циклоном; у другому – відцентровим осадженням, або відцентровим фільтруванням, а апарат – центрифугою (або сепаратором).

Основна перевага центрифугування порівняно з іншими методами розділення неоднорідних систем, наприклад осадженням і фільтруванням, полягає в значному збільшенні продуктивності та ефективності розділення.

У відцентровому полі можна здійснювати обидва найважливіші процеси розділення неоднорідних систем – осадження та фільтрування.

*Класифікація промислових центрифуг:*

- за принципом роботи – відстійні (осаджувальні) центрифуги, фільтруючі центрифуги, сепаратори;
- за характером роботи – центрифуги періодичної та безперервної дії;
- за розміщенням валу – горизонтальні, похилі та вертикальні;
- за вивантаженням осаду – з ручним і механізованим вивантаженням;
- за інтенсивністю відцентрового поля (фактором розділення або критерієм Фруда  $Fr$ ) – нормальні ( $Fr < 3500$ ) і надцентрифуги ( $Fr > 3500$ );

$$Fr = \omega^2 r / g = (2\pi n)^2 r / g \approx 4n^2 r$$

З даного рівняння випливає, що ефективність розділення у відцентрових пристроях можна підвищити за рахунок збільшення кутової швидкості обертання  $\omega$  або радіуса обертання  $r$ . Враховуючи, що у даному рівнянні швидкість обертання має другий ступінь, то при розрахунках барабанів центрифуг і сепараторів з високою ефективністю розділення збільшують їх частоту обертання  $n$ , зменшуючи радіус  $r$ , що робить апарат більш компактним і надійним.

Принцип дії центрифуг у загальному вигляді полягає в тому, що рідинна неоднорідна система подається в барабан (ротор), який обертається в горизонтальній чи вертикальній площині. У барабані рідина утворює кільце, в якому й відбувається розділення. У полі відцентрових сил дисперсна (внутрішня) фаза залежно від її густини або осідає на стінки барабана центрифуги, або переміщується до її центру.



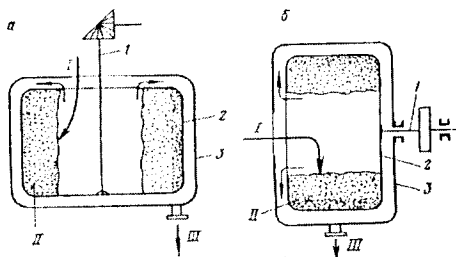


Рис. 5.10. Схема відстійної центрифуги періодичної дії з ручним вивантаженням осаду: а – вертикальний; б – горизонтальний; 1 – вал; 2 – барабан; 3 – кожух; 1 – суспензія; II – осад; III – фугат

Схеми найпростіших відстійних центрифуг періодичної дії наведені на рис. 5.10. Обидві центрифуги розраховані на ручне вивантаження осаду, але відрізняються за розміщенням валу (горизонтальне чи вертикальне). Основною частиною цих центрифуг є сушільний барабан, що розташовується в корпусі 3 і кріпиться до валу 1, який обертається.

Суспензія подається в центрифугу біля осі обертання і, під дією відцентрової сили, тверді частки (з більшою густиною) відкидаються до периферії і осаджуються та накопичуються у вигляді сушільного осаду на стінці барабана; а освітлена рідина (фугат) переливається у кожух і відводиться з апарату через нижній патрубок. Після закінченні процесу центрифугу зупиняють і осад вивантажують вручну (як правило лопатами).

Для розділення суспензій з об'ємною концентрацією твердої фази  $\omega = 5-30\%$  і розміром частинок 5–40 мкм також застосовують осаджувальні центрифуги періодичної та безперервної дії з механічним очищенням, при цьому шар осаду зрізується ножом.

Фільтрувальні центрифуги використовують у тих випадках, коли потрібно отримати осад з найменшою вологістю та необхідна його промивка. Суспензія подається у перфорований ротор. Осад накопичується на внутрішній стіні барабана, який обтягнутий сіткою або фільтрувальною тканиною. Фільтрувальні центрифуги періодичної дії типу отримали широке поширення в хімічній промисловості, їх застосовують у діапазоні масових концентрацій суспензій від 1 до 60 % для відділення часток розміром  $> 10$  мкм.

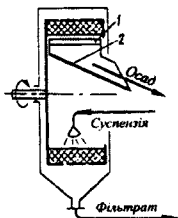


Рис. 5.11. Схема фільтрувальної центрифуги з ножовим зніманням осаду

На рис. 5.11 зображено схему безперервно діючої фільтрувальної центрифуги, в якій осад на ходу зрізується ножом 1, падає на похилу площину 2 і вивантажується з центрифуги. Очищена рідина через пори перегородки відкидається в збірник фільтрату. Ці центрифуги бувають вертикальні та горизонтальні.

До відстійних надцентрифуг безперервної дії відносяться сепаратори, які призначені для розділення емульсій та тонкодисперсних малоконцентрованих суспензій. У промисловості використовують два типи сепараторів: камерні та тарілчасті.

Основною перевагою центрифуг перед фільтрами є те, що вологість осаду після центрифугування є значно меншою – 10-20 %.

#### *Мембранні методи розділення рідинних і газових систем*

Методи розділення рідких і газоподібних сумішей за допомогою напівпроникних мембран відіграють важливу роль у багатьох галузях народного господарства – хімічній, фармацевтичній, мікробіологічній, целюлозно-паперовій, атомній та ін. Їх широко застосовують під час концентрування сиропів, екстрактів, очищення розчинів (наприклад від солей, спиртів) та стічних вод, опріснення солоних вод, розділення газів і т.і. Головна перевага мембранних процесів по відношенню до інших – їх висока енергоекономічність.

До основних мембранних методів розділення відносяться зворотний осмос, ультрафільтрація, мікрофільтрація, діаліз, електродіаліз, випаровування крізь мембрану. Рушійна сила мембранних процесів може бути представлена різницею тисків, концентрацій, температур, хімічного чи електричного потенціалів. У деяких мембранних процесах можливе поєднання двох або навіть трьох рушійних сил.

Рушійною силою мембранних процесів, що включають зворотний осмос, ультрафільтрацію і мікрофільтрацію, є градієнт тиску. Тому ці процеси називають ще баромембранними, а процес розділення за допомогою напівпроникної мембрани дещо схожий до процесу простого фільтрування, тому його ще називають мембранним фільтруванням. Принципова різниця між цими процесами полягає у тому, що при простому фільтруванні на фільтрувальній перегородці утворюється шар осаду, який забиває її пори; при цьому продуктивність фільтрування з часом зменшується.

При мембранному процесі шар осаду, тобто частинок, які за своїм розміром більші за розмір пор мембрани, не затримується на перегородці, а виноситься з апарата у вигляді концентрату. Процес мембранного розділення може проходити настільки повно, що фільтрат практично не містить домішок тих компонентів суміші, які затримуються мембраною. Таким чином, головна особливість мембранного розділення полягає в створенні процесу, який ефективно працює теоретично необмежений час, тобто у створенні "вічного фільтра" на молекулярному рівні.

*Теоретичні основи мембранних процесів.* Процес зворотного осмосу полягає в фільтруванні розчинів під тиском, який перевищує осмотичний, через

напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник і повністю (або частково) затримують молекули або іони розчинених речовин. У його основі лежить явище осмосу – самодовільного переходу розчинника (найчастіше - води) через напівпроникну мембрану в розчин і розбавлення останнього до досягнення рівноваги.

Для кращого розуміння явища осмосу відзначимо, що воно лежить в основі багатьох життєвих процесів. Осмос сприяє обміну речовин у живих організмах, широко використовується в багатьох галузях хімічної промисловості. Так, на явищі осмосу ґрунтується зберігання продуктів шляхом їх соління чи насичення цукром. У цьому випадку вода з мікроорганізмів, які є причиною псування продуктів, проходить через їх оболонку в розчин солі або цукру, внаслідок чого бактерії через зневоднення не можуть розвиватись і гинуть. Оболонка бактерії як оболонка клітин живого організму являє собою напівпроникну мембрану. Перші промислові мембрани виготовляли з матеріалів тваринного походження – бичачих пухирів, тощо.

Тиск  $\pi$  в розчині, що змушує розчинник переходити через мембрану, називають осмотичним. Величина осмотичного тиску (в Па) ідеального розчину, може бути визначена рівнянням Вант-Гоффа

$$\pi = cRT,$$

де  $c$  – молярна концентрація розчиненої речовини;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – температура розчину, К.

Відзначимо, що осмотичний тиск для різних розчинених речовин відрізняється в широкому діапазоні й залежить головним чином від їх концентрації. Так, для неконцентрованого фруктового соку і молока він становить 0,6-1 МПа, для концентрованого фруктового соку - 8 МПа, для морської води з концентрацією солей 35 % - 2,45 МПа.

Створивши над розчином тиск, що дорівнює осмотичному, осмос припиняється і настає стан рівноваги ( $p = \pi$ ). При цьому величину осмотичного тиску можна визначити за формулою

$$\pi = P/S,$$

де  $P$  – сила гідростатичного тиску, який створюється стовпом рідини висотою  $H$ , Па;  $S$  – площа перерізу стовпа рідини, м<sup>2</sup>.

Якщо тепер збоку розчину прикласти тиск  $p$ , який перебільшує осмотичний ( $p > \pi$ ), то можна спостерігати перенесення розчинника через мембрану в зворотному напрямку, тобто зворотний осмос.

Рушійна сила зворотного осмосу для ідеально напівпроникної мембрани становить:

$$\Delta p = p - \pi,$$

де  $p$  - робочий тиск над розчином, Па.

При зворотному осмосі робочий тиск має в 2-3 рази перевищувати осмотичний. При цьому, чим цей тиск є більший, тим вища концентрація розчину.

Як уже було сказано розрізняють три види баромембранних гідропроесів: зворотний осмос, ультрафільтрацію та мікрофільтрацію.

Процеси на напівпроникних перегородках з діаметром пор від 0,1 до декількох мікрометрів прийнято відносити до мікрофільтрації. У цих процесах можуть відокремлюватись як дрібні частинки механічних домішок, так і окремі клітинні організми й частини клітин (наприклад, дріжджові клітини продуктів бродіння). Мікрофільтрацію проводять при дуже малих робочих тисках (близько десятих і навіть сотих часток МПа).

Процеси ультрафільтрації виконують на мембранах із середнім діаметром пор 0,01-0,1 мкм. При ультрафільтрації розділяють розчини, які містять великі молекули (наприклад молекули білків), а молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша від молекулярної маси розчинника. Ультрафільтрацію проводять при порівняно невеликих тисках (0,2-1 МПа).

При зворотному осмосі через мембрану проходять частинки розчинника, а затримуються частини низько- та високомолекулярних речовин із розмірами, меншими за 0,01 мкм. Тиск при зворотному осмосі становить 1-10 МПа.

*Мембрани.* У перекладі з латини слово "мембрана" означає "тонка плівка", "шкірочка", "перегородка". Мембранами можуть бути полімерні плівки (поліетиленові, целофанові, фторопластові, поліпропіленові та ін.), тонкі металеві пластини (фольга), керамічні пластини, пористе скло (натрійборосилікатне та ін.) і навіть шар рідини, пари або газу. Напівпроникні мембрани, що застосовуються на практиці характеризуються двома основними показниками: проникністю та селективністю. Проникність, або питома продуктивність (швидкість процесу), виражається об'ємом (або масою) фільтрату, який одержується при даній рушійній силі за одиницю часу з одиниці робочої поверхні мембрани:

$$G = V / (S \cdot \tau),$$

де  $V$  - об'єм фільтрату, м<sup>3</sup>;  $S$  - робоча площа поверхні мембрани, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - тривалість процесу, с.

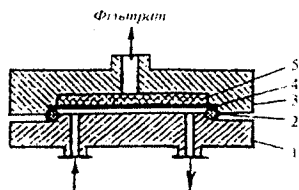
Селективність мембран (роздільна здатність) – це їхня вибіркова здатність пропускати ті чи інші речовини; чим вона вища, тим ефективніший процес розділення. Селективність мембран визначається за формулою ( $\varphi$  %):

$$\varphi = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100 = 1 - \frac{C_2}{C_1} \cdot 100$$

де  $C_1$  і  $C_2$  - концентрації речовини у вихідній суміші та фільтраті відповідно,  $\text{кг/м}^3$  або  $\text{моль/м}^3$ .

Селективність залежить від ряду факторів: характеру взаємодії речовин, які розділяються з матеріалом мембрани, розміру мембранных пор, способів проведення процесу, тощо.

Для всіх мембранных процесів характерне накопичування біля поверхні мембрани частинок (молекул) речовин, які не проходять через мембрану і не вносяться з потоком концентрату. Це явище одержало назву концентраційної поляризації. Воно призводить до зниження селективності мембран, їх проникності та до значного зменшення строку їх експлуатації. Для зменшення впливу концентраційної поляризації використовують різноманітні мішалки, турбулізатори потоку, збільшують швидкість течії рідини.



Вихідний розчин Концентрат

Рис. 5.12. Схема мембранного апарата типу фільтрпрес

Апарати для проведення процесів зворотного осмосу і ультрафільтрації аналогічні, в них використовуються мембрани з одного й того самого матеріалу, але з різними розмірами пор. Апарати бувають періодичної та безперервної дії, але в промисловості використовуються переважно проточні апарати безперервної дії. Промислові апарати для мембранных процесів мають відповідати таким вимогам: мати велику робочу поверхню мембран в одиниці об'єму апарата; бути доступними для збирання і монтажу; рідина під час руху по секціях або елементах повинна рівномірно розподілятися над мембраною і мати достатньо високу швидкість течії для зменшення шкідливого впливу концентраційної поляризації; при цьому перепад тиску в апараті повинен бути невеликим.

Залежно від форми мембрани й типу її укладання мембранны апарати поділяються на чотири групи: апарати з плоскими мембранными елементами, з трубчастими мембранными елементами, з мембранными елементами рулонного типу і з мембранами у вигляді порожнистих волокон. У зв'язку з обмеженим строком служби мембран, апарати в основному виготовляються у вигляді окремих елементів або модулів. Це дозволяє при необхідності швидко замінити елемент при виході його із ладу без зупинки всієї установки.

Найпростіші схеми мембранных установок. У модулі з плоским розташуванням мембрани (рис. 5.12) вихідний розчин надходить у внутрішню порожнину установки, яка утворена нижньою плитою 1, верхньою плитою 3 та герметичною прокладкою 2. В порожнині розміщена напівпроникна мембрана 4

на підкладці 5. Підкладку виготовляють із міцного пористого матеріалу – кераміки, пористої (або перфорованої) нержавіючої сталі тощо. На мембрані затримуються частинки або молекули, які необхідно виділити з вихідної суміші, а фільтрат проходить через мембрану і підкладку. Із модулів такого типу збираються апарати типу фільтрпрес. Такі апарати прості у виготовленні, зручні в монтажі та експлуатації. Головний недолік – невисока питома поверхня мембран – 60-300 м<sup>2</sup>/м.

Серед апаратів з трубчастими фільтрувальними елементами найпоширеніші апарати, у яких мембрани знаходяться на внутрішній (рис. 5.13, а) і зовнішній (рис. 5.13, б) поверхнях дренажного каркасу. Дренажний каркас виготовляють з трубки 1, що є опорою для мембранного елемента, і мікропористої підкладки 3, яка запобігає вдавлюванню мембрани 2 в дренажні канали трубки. Конструктивно апарати з трубчастими мембранними елементами нагадують кожухотрубні теплообмінники.

Розроблено конструкції апаратів з мембранами у вигляді порожнистих волокон. Вони мають дуже високу питому поверхню, рівну (20000-30000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>). Порожністі волокна витримують робочий тиск 10 МПа і більше. Всі розглянуті типи мембранних апаратів можуть експлуатуватися як апарати періодичної дії, так і безперервної.

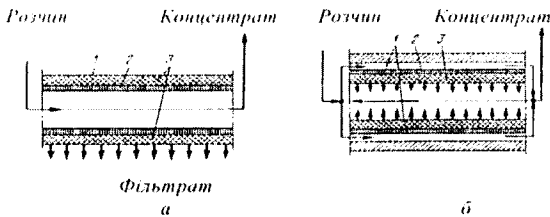


Рис. 5.13. Схеми трубчастих мембранних елементів

Мембранні процеси фільтрації і, зокрема, ультрафільтрація та мікрофільтрація є процесами сепарації, які протікають під тиском з використанням пористих полімерних або неорганічних матеріалів. Ці процеси за останні 30 років знайшли широке застосування в різних галузях промисловості для очищення або концентрації рідких середовищ, замінюючи традиційну техніку - фільтр-преси, відцентрові сепаратори і вакуум-випарні установки.

Метод мембранної фільтрації ефективний за якістю і енергетично вигідний, оскільки немає фазового переходу вода-пара-вода.

У виробництві можна зустріти два види однотипних виробів - фільтраційні апарати і фільтраційні модулі, що відрізняються, головним чином, своїми масштабними показниками (продуктивністю, розмірами і вагою),

наприклад мембранні системи виготовлені ЗАТ "Біокон" (Москва, Росія). В них, як матеріал фільтраційного елементу, використовуються полімерні мембрани у вигляді рулонних мембранних елементів (тип ЕРУ-100-1016, ЗАТ "Владипор", Владимир, Росія) або керамічні мембрани у вигляді одноканальних трубчастих керамічних елементів (типу КМФЭ, ТОВ "НВО "Керамикфільтр", Москва, Росія). Розмір пор або поріг затримки фільтрувального матеріалу, складає: для керамічних мембран - 0,03 мкм, 0,2 мкм, 0,8 мкм, 1,2 мкм; для полімерних мембран - 500, 10000, 20000, 50000 дальтон.

*Фільтраційний апарат*, виготовлений ЗАТ "Біокон", складається з циліндричного корпусу з торцевими фланцями, що отримані з нержавіючої сталі. Всередину корпусу вставляються трубчасті керамічні елементи, які фільтрують, або рулонні мембранні елементи. Герметизація фільтрувальних елементів в апараті здійснюється в торцевих фланцях за рахунок гумових кілець. На корпусі фільтраційного апарату і торцевих фланцях є патрубки і штуцери для підведення фільтрованого середовища, відведення фільтрату і концентрату.

*Фільтраційний модуль* (рис 5.14, 5.15) складається з одного або кількох фільтраційних апаратів, циркуляційного відцентрового насоса, живлячого насоса, теплообмінного пристрою, вхідного і вихідного колекторів, несучої рами, вентилів, манометрів, витратомірів, допоміжної ємності (при потребі), сполучної арматури, силового пульта.

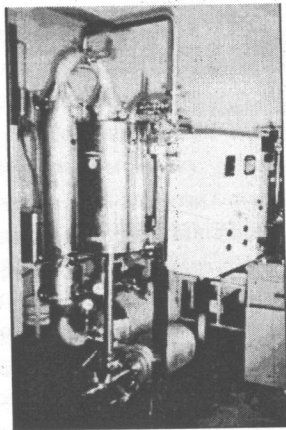


Рис. 5.14. Фільтраційний модуль ММТ-4

Фільтраційний модуль побудований за принципом циркуляційної петлі для створення режиму фільтрації в поперечному потоці (тангенціальна фільтрація). Фільтрована рідина подається в модуль живлячим насосом. Усередині модуля фільтрована рідина під дією циркуляційного насоса безперервно прокачується по циркуляційному контуру, що створюється сполученими послідовно

(для керамічних мембран) або паралельно (для полімерних мембран) декількома фільтраційними апаратами, теплообмінником і циркуляційним насосом.

Частина рідини і частинки, розмір яких менше розміру пор, під дією тиску ( $0,5-3,5 \text{ кгс/см}^2$ ) проходить через мембранну поверхню фільтраційних

елементів і безперервно виводяться з модуля. Ця частина рідини називається *пермеатом*. Дефіцит рідини в модулі заповнюється постійним підживленням новою фільтрованою рідиною.

Частинки, розмір яких більший за розмір пор, затримуються селективним шаром і накопичуються усередині циркуляційного контура. Ця частина потоку називається *концентратом*. Осад, що утворюється над мембраною, безперервно змивається циркуляційним потоком, швидкість якого складає 4-7 м/с для керамічних мембран і 1-1,5 м/с для полімерних мембран.

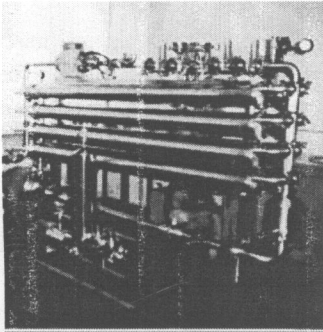


Рис. 5.15. Фільтраційний модуль УМС-80

Промислові системи "Біокон" (рис. 5.15) будуються з декількох фільтраційних модулів, вентилів і системи автоматичного контролю.

Поверхня фільтрації базових модулів складає: для керамічних мембран (тип модулів - ММТ) : 0,5; 1,1; 4; 8; 10; 20м<sup>2</sup>; для рулонних мембран (тип модулів - УМС): 5, 10, 20, 40, 80, 90, 150, 240м<sup>2</sup>.

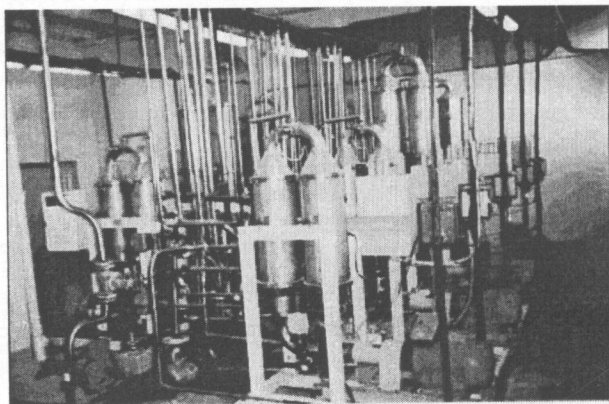
Досвід застосування керамічних мембран і рулонних елементів показує, що вони найбільш ефективні при температурах: для керамічних мембран: 40-90°C; для рулонних елементів: 40-55°C, при цьому термін служби складає для керамічних мембран - 3-5 років, а для рулонних елементів - 0,5-1,5 року.

*Приклади застосування мембранних систем "Біокон" для різноманітних процесів очищення у фармацевтичних та біотехнологічних виробництвах*  
*Антибіотики.* Культуральні рідини продуцентів лінкоміцину, еритроміцину та ін. фільтруються із застосуванням керамічних мембран з розміром пор 0,2 мкм з безперервним додаванням промивної води у співвідношенні 1:1. Швидкість фільтрації складає 60-110 л/м<sup>2</sup>/год. Вихід антибіотиків на стадії фільтрації підвищується до 80-84 % по відношенню до фільтрації через фільтрпрес, де вихід складає близько 60 %.

*Вітамін В2.* Очищений від біомаси розчин культуральної рідини концентрується шляхом нанофільтрації з використанням рулонних елементів ЭРН-100-1016 в 40 разів. Швидкість фільтрації складає 8-10 л/м<sup>2</sup>/год.



*Вакцини.* Концентрація інактивованої протиящурної вакцини проводиться із застосуванням керамічних мембран з розміром пор 0,03 мкм. Селективність мембран по антигену складає близько 99 %. Досягається кратність концентрації



*Мікрофільтраційна установка МФС-4Х20-3Х10 (поверхня керамічних мембран - 112,2 м<sup>2</sup>). Продуктивність по фільтрату - 7000 - 9000 л/год. Використовується для очищення розчинів (культуральних рідин) у виробництві антибіотика еритроміцину (м.Курган, Росія).*

за об'ємом від 5,6 до 20 разів. Середня швидкість фільтрації складає близько 50 л/м<sup>2</sup>/год при температурі 15°C.

*Вирощування посівного матеріалу Ps. putida в мембранному біореакторі.* Вирощування посівного матеріалу *Ps. putida* проводиться впродовж 5 годин у ферментері, після чого підключається мікрофільтраційний модуль для відведення відпрацьованого культурального середовища і вводиться свіже поживне середовище. При використанні мембранної технології в процесі культивування титр клітин підвищується в 1,8-2 рази в порівнянні з традиційним періодичним культивуванням. Досягається титр життєздатних клітин *Ps. putida* 4,8 млрд./мл, далі проводиться їх концентрування за допомогою мікрофільтраційного модуля до вмісту 72 млрд./мл. Стерилізація мембранного біореактора проводиться паром.

*Ферменти.* Спиртовий (70 %) екстракт білків і ферментів очищається на установці з поверхнею фільтрування 1,1м<sup>2</sup> з використанням керамічних мембран з розміром пор 0,2 мкм. Швидкість фільтрування складає 130 л/м<sup>2</sup>/год. Культуральна рідина продуцента пеніцилінази очищається від біомаси з використанням керамічних мембран з розміром пор 0,2 мкм; при цьому швидкість фільтрації складає 100-140 л/м<sup>2</sup>/год. Після мікрофільтрації очищений розчин пеніцилінази концентрується із застосуванням рулонних мембран з

порогом затримки 10 кДа. Селективність по ферменту складає більше 95 %. Швидкість ультрафільтрації: 8-10 л/м<sup>2</sup>/год.

*Рибофлавін.* Культуральна рідина продуцента вітаміну В<sub>12</sub> (рибофлавіну) піддається мікрофільтрації на керамічних мембранах розміром пор 0,2 мкм при температурі понад 110°C для відділення біомаси від розчиненого при такій температурі вітаміну В<sub>12</sub>. Швидкість фільтрації складає 400 л/м<sup>2</sup>/год. Використовується установка з поверхнею очистки 20м<sup>2</sup>.

*Еритроміцин.* Культуральна рідина продуцента еритроміцину розбавляється в два рази водою потім піддається мікрофільтрації на керамічних мембранах з розміром пор 0,2 мкм при температурі 40°C. Швидкість фільтрації складає 60-90 л/м<sup>2</sup>/год. Вихід антибіотика на стадії мікрофільтрації збільшується на 17-21 % у порівнянні з заводською технологією з використанням фільтр-пресів. Тривалість процесу миття і регенерації керамічних мембран складає 30 хв. Проектна потужність установки складає до 290 м<sup>2</sup>.

*Лізин.* Для отримання кристалічного лізину культуральна рідина продуцента лізину піддається процесу попереднього очищення від біомаси шляхом мікрофільтрації на керамічних мембранах з розміром пор 0,2 мкм при температурі 50°C. Швидкість фільтрування складає 120-160 л/м<sup>2</sup>/год. За технологією 75 % отриманого очищеного розчину спрямовується для отримання кристалічного лізину, а концентрат біомаси (25%) спрямовується у виробництво кормового лізину. Проектна потужність установки складає 160м<sup>2</sup>.

## Розділ 6. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### Обладнання для процесу подрібнення

*Подрібнювання* – це процес механічного поділу твердих тіл на частинки. Цей процес широко застосовується в хіміко-фармацевтичному та біотехнологічному виробництві, особливо у фітохімічних цехах. У результаті подрібнювання збільшується поверхня оброблюваних матеріалів, що дозволяє значно прискорити розчинення, хімічну взаємодію, виділення біологічно-активних речовин з подрібненого матеріалу. Переробка матеріалів у подрібненому вигляді дозволяє значно прискорити екстрагування і теплову обробку матеріалів, провести зазначені процеси з незначними втратами діючих речовин і меншою витратою тепла.

Подрібнювання відбувається у дві стадії:

- подрібнення;
- розмелювання.

*Подрібнення* – це отримання кускового продукту необхідної крупності або фракційного складу, і, при необхідності, підготовка його до розмелювання.

*Розмелювання* – це процес збільшення дисперсності твердого матеріалу, надання йому певного гранулометричного складу і форми частинок і дезагрегування (роз'єднання злиплених частинок).

### Теоретичні основи подрібнення

Незважаючи на широке поширення машин для подрібнення і велике значення цього процесу у виробництві, теорії, яка підвела б під процес подрібнення об'єднуючий математичний вираз, до цих пір не запропоновано. У теорії подрібнення основним є визначення величини енергії, що витрачається на подрібнення (робота подрібнення).

Перша спроба вирішити це питання була зроблена Ріттінгером. Він припустив, що робота, що витрачається на подрібнення, пропорційна новій утвореній поверхні в подрібненому матеріалі.

Як відомо, подрібнюваний матеріал має певну міцність, під якою розуміють властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією зовнішніх сил. Тверде тіло, яке піддається впливу зовнішніх сил, відчуває деформацію, яка може бути пружною і пластичною. Практичним наслідком пластичної, або незворотньої, деформації є порушення міцності тіла, що супроводжується зміною його форми. За гіпотезою Ріттінгера, при подрібненні твердих тіл на першому місці стоять такі деформації, при яких матеріал руйнується по площинах розколу. Тому і робота, яка витрачається на подрібнення, використовується, в основному, на утворення тріщин розколу. У своїх розрахунках Ріттінгер опускав витрату енергії на пружні деформації тіл.

Наступною умовністю в гіпотезі Ріттинґера був допуск кубічної форми частин до і після подрібнення. Тому при розрахунку роботи в формулу Ріттинґера вводять спеціальний коефіцієнт на неправильність форми частинок.

Пізніше Кік та Кірпічов запропонували «об'ємну» гіпотезу подрібнення, за якою витрата енергії на подрібнення даного матеріалу при інших рівних умовах (для геометрично подібних тіл однакового технологічного складу) прямо пропорційна його об'єму або вазі. Згідно праць Кірпічова, робота подрібнення може бути виражена наступним рівнянням:

$$A = \frac{\delta^2 V}{2E},$$

де  $A$  – робота подрібнення;  $\delta$  – величина напруг руйнування;  $V$  – об'єм подрібнюваного тіла;  $E$  – модуль пружності подрібнюваного матеріалу.

Обидві гіпотези були предметом багаторічної дискусії. У свій час схилялися до того, що сфери їх практичного застосування різні: гіпотеза Ріттинґера більш прийнятна для визначення енергетичних витрат при тонкому подрібненні, а гіпотеза Кірпічева-Кіка – для характеристики дрібного, середнього та великого подрібнення. Однак, найбільше визнання отримала точка зору, що жодна із запропонованих гіпотез та їх наступні варіації, взяті окремо, не застосовуються до всіх видів матеріалів, які подрібнюють, різних методів подрібнення і різних типів подрібнювачів. Такої точки зору дотримувався П.А.Ребіндер, засновник нової галузі науки – фізико-хімічної механіки. Він вважав, що гіпотеза, найбільш близька до істини, знаходиться, десь по середині між пропозиціями Ріттинґера і Кірпічева-Кіка.

За висновками П.А.Ребіндера, енергія, яка витрачається на подрібнення матеріалу, дорівнює сумі робіт, що затрачуються на деформацію роздрібнюваного тіла і на утворення нових поверхонь. Ця енергія може бути виражена наступною формулою:

$$A = \frac{\delta^2 V}{2E} + K\Delta F$$

Перший доданок рівняння – формула Кірпічева-Кіка, а другий – формула Ріттинґера, в якій  $K$  – коефіцієнт пропорційності, а  $\Delta F$  – заново утворена поверхня при руйнуванні тіла.

Таким чином, робота подрібнення пропорційна новій утвореній поверхні і об'єму подрібнюваного матеріалу.

Витрата енергії при подрібненні зростає зі зменшенням розміру частинок. У зв'язку з уникненням непродуктивних витрат вкрай важливо, щоб при організації процесу був заздалегідь відомий очікуваний розмір частинок після подрібнення. «Не дробити нічого зайвого» – таке основне правило подрібнення.

З метою зменшення витрати енергії в ряді випадків доцільно періодично видаляти достатньо подрібнені частинки з зони подрібнення.

Велика різноманітність існуючих подрібнювачів утруднює їх систематизацію, тим більше, що пошуки більш досконалих конструкцій машин не припиняються. Автори частини робіт з хімічної і фармацевтичної технології зупиняються на класифікації за тим ступенем подрібнення, який можна досягти за допомогою подрібнюючої машини. У цьому випадку всі подрібнювачі залежно від умов фармацевтичного виробництва можна розділити на машини для попереднього подрібнення і машини для остаточного подрібнення.

Згідно сучасних уявлень, подрібнення твердих тіл ґрунтується на тому, що під дією механічних зусиль у матеріалі, який подрібнюється, виникають внутрішні напруження і при досягненні порогу міцності матеріалу, останній руйнується. При припиненні зовнішнього впливу тріщини, за рахунок молекулярних сил, можуть звужуватися, при цьому тіло піддається лише пружній деформації.

Подрібнення характеризується ступенем подрібнення  $i$ , тобто відношенням розмірів частинок матеріалу  $D$  до подрібнення та розмірів частинок  $d$  після нього:

$$i = \frac{D}{d}.$$

Для розрахунку середнього характерного розміру частинок матеріал розділяють за допомогою набору сит на кілька фракцій. У кожній фракції знаходять середній характерний розмір як напівсуму характерних розмірів максимального  $d_{max}$  і мінімального  $d_{min}$  частинок:

$$d_{сep} = \frac{d_{min} + d_{max}}{2}.$$

Практично розмір максимальних частинок визначається розміром отворів сита, через яке проходить увесь матеріал даної фракції, а розмір мінімальних кусків – розміром отворів сита, на якому дана фракція залишається.

Середній характерний розмір частинки в суміші обчислюють за рівнянням:

$$d = \frac{d_{cp1} \cdot a_1 + d_{cp2} \cdot a_2 + \dots + d_{cpn} \cdot a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

$d_{cp1}, d_{cp2}, d_{cpn}$  - середні розміри частинок кожної фракції;

$a_1, a_2, a_n$  - вміст кожної фракції, % мас.

Приблизна характеристика класів подрібнення і розмелювання наведена в таблиці 6.1.1:

Таблиця 6.1.1.

Класи подрібнення	$D$ , мм	$d$ , мм
Крупне (подрібнення)	1000÷200	250÷40
Середнє (подрібнення)	250÷50	40÷10
Дрібне (подрібнення)	50÷25	10÷1
Тонке (розмелювання)	25÷3	1÷0,4
Колоїдне (розмелювання)	0,2÷0,1	до 0,001

Велике, середнє і дрібне подрібнення здійснюють у дробарках *сухим способом*, а тонке і колоїдне подрібнення – *сухим або мокрим способом*. При мокрому подрібненні зменшується пилоутворення та отримуються частинки більш однорідні за розмірами, полегшується також вивантаження матеріалу.

*Сухе подрібнення* проводять у повітряному середовищі чи в інертних газах, при переробці матеріалів, які окиснюються, є пожежо- та вибухонебезпечними, а також токсичними.

*Мокре подрібнення* проводять попередньо змішавши вихідний матеріал з рідиною, переважно з водою, для виключення пилоутворення.

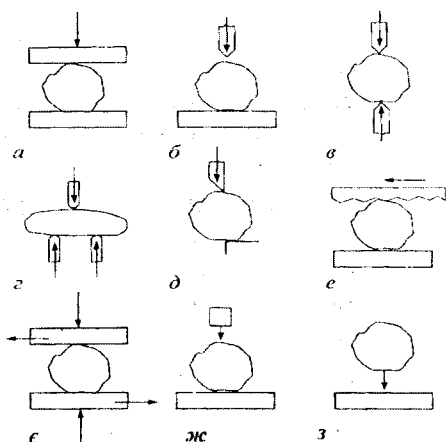
### **Основні принципи подрібнення**

Незважаючи на різноманітність обладнання, в усіх відомих подрібнювачах використовують такі основні принципи: роздавлювання, розколювання, розламування, різання, розпилювання, розтирання (стирання) і удар.

Зазначені способи подрібнення представлені на рис. 6.1.1. Для досягнення оптимального ступеня подрібнення процес здійснюють постадійно, на послідовно з'єднаних дробильно-розмелювальних машинах.

*Роздавлювання* (рис. 6.1.1, а). Механічна сила прикладається зверху прогресивно; поверхні робочих елементів подрібнювача зазвичай плоскі. Подрібнюване тіло деформується в усьому об'ємі і, коли внутрішнє напруження в ньому перевищить границю міцності, тіло руйнується – одержуються частинки різних розмірів та форми.

При *розколюванні* (рис. 6.1.1, б, в) сила прикладається зверху і знизу раптово або прогресивно, за допомогою клиноподібних робочих елементів подрібнювача. Виходячи з того, що тіло розпадається на частини тільки в місцях концентрації найбільших навантажень, частинки, що одержуються можуть бути більш-менш однорідних розмірів, але не форми.



**Рис. 6.1.1.** Способи подрібнення матеріалів:

*а* – роздавлювання; *б, в* – розколювання; *г* – розламування; *д* – різання;  
*е* – розпилювання; *є* – стирання; *ж* – жорсткий удар; *з* – вільний удар

*Розламування* (рис. 6.1.1, г). Подрібнюване тіло руйнується під впливом згинаючих зусиль, що діють назустріч одна одній, з прикладанням однієї верхньої сили між двома нижніми. Розміри та форма частинок приблизно такі ж, як і при розколюванні.

*Різання* (рис. 6.1.1, д) відбувається, коли механічна сила прикладається зверху, зазвичай ривком, а робочі елементи подрібнювача – гострі, ріжучі (ножі). Це керований процес, який дозволяє розділити тіло на частинки потрібних розмірів, а при необхідності і форми.

*Розпилювання* (рис. 6.1.1, е). Сила прикладається прогресивно збоку; робочі елементи подрібнювача мають гостру зубчасту поверхню. Так само, як і при різанні, можна отримати частинки потрібних розмірів, а при необхідності – і форми.

*Розтирання* (рис. 6.1.1, ж, є). Сила прикладається зверху і з боку прогресивно; поверхні робочих елементів подрібнювача сферичні або плоскі. Тіло подрібнюється під дією одночасно стискуючих, розтягуючих і ріжучих сил, внаслідок чого виходять порошкоподібні продукти.

При *ударі* тіло руйнується на частини під впливом сил, що діють динамічно (раптово). Удар може бути здійснений двома методами:

- 1) на подрібнюване тіло діє удар робочими елементами подрібнювача – молотками, падаючими кулями та ін. (рис. 6.1.1, ж);
- 2) подрібнюване тіло само стикається з робочими елементами подрібнювача або іншими тілами у польоті (рис. 6.1.1, з).

У першому випадку (при обмеженому ударі) ефект подрібнення залежатиме від кінетичної енергії тіла, по якому б'ють, а в другому (при вільному ударі) – в основному, визначається швидкістю зіткнень тіла, що руйнується, та його частин з робочими елементами подрібнювача.

Машину для подрібнення вибирають, виходячи з фізичного стану і властивостей оброблюваного матеріалу, а також того ступеня подрібнення, який необхідно досягнути. Для матеріалів, які відрізняються великою твердістю, доцільно використовувати подрібнювачі, що працюють за принципом роздавлювання або удару. Для матеріалів в'язких та волокнистих ефективним буде стирання, для довговолокнистих – різання, для дерев'яних і дуже твердих – розпилювання, для крихких – розколювання і т.д. Практично в більшості машин ці подрібнюючі зусилля діють в поєднанні один з одним: наприклад, роздавлювання із стиранням, удар з роздавлюванням і стиранням, тощо (таблиця 6.1.2):

Таблиця 6.1.2.

Матеріал	Способи подрібнення
Твердий та крихкий	Роздавлювання і удар
Твердий та в'язкий	Роздавлювання, розпилювання
Крихкий, середньої твердості	Удар, розколювання і стирання
В'язкий, середньої твердості	Стирання або стирання і удар, розпилювання

Подрібнення здійснюється за двома основними схемами – у відкритому або замкнутому циклах. Якщо подрібнення проводять за першою схемою, то матеріал проходить через апарат тільки один раз. При роботі в замкнутому циклі основна частина матеріалу проходить через апарат багаторазово, тобто матеріал з розмірами часток більшими за допустимий повертається на повторне подрібнення. Подрібнення в замкнутому циклі дозволяє значно підвищити продуктивність агрегату та одержати більш рівномірний за розмірами частинок матеріал.

Машини для подрібнення (розмелювання) поділяють на дробарки і млини. *Млинами* називають машини для тонкого і надтонкого подрібнення, а *дробарками* – машини для великого, середнього і мілкого подрібнення. Однак такий розподіл досить умовний.

### Будова та принцип роботи подрібнюючих машин

Нагадаємо, що всі подрібнювачі для фармацевтичних та біотехнологічних виробництв можна розділити на:

- обладнання для попереднього подрібнення;
- обладнання для кінцевого подрібнення.



*Попереднє подрібнення* застосовується для матеріалів, що поступають на фармацевтичне та біотехнологічне виробництво у вигляді крупних або довгих кусків. Мета попереднього подрібнення полягає в приведенні матеріалу до такого вигляду, в якому він був би зручний для подальшого подрібнення. Попереднього подрібнення зазвичай потребують коріння і кора, які заготовляються у вигляді довгих кусків (наприклад, корінь солодки, коріння елеутерокока, корінь алтея, кора жостеру, кора дуба та ін.), а також деякі довгостеблеві трави (горищвіт, водяний перець, термопсис і ін.). Попереднього подрібнення потребує також багато інших видів рослинної сировини (плоди, насіння, листя, тощо).

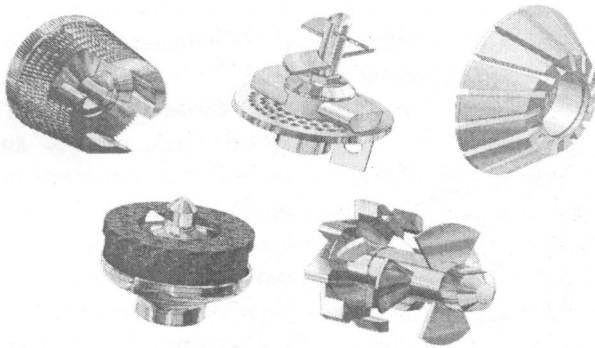
В умовах фармацевтичного та біотехнологічного виробництва попереднє подрібнення зазвичай охоплюється класами подрібнення, які за прийнятою класифікацією поділяються на середнє і дрібне подрібнення, які відрізняються лише тим, що довжина подрібнюваного матеріалу може бути значно довшою ніж 25 см.

Середнє і мілке подрібнення рослинних матеріалів може бути проведене у подрібнювачах подвійної дії:

- ріжучої та розпилюючої;
- розколюючої і розламуючої.

*Кінцеве подрібнення* різного ступеня тонкості досягається за допомогою подрібнювачів різних конструкцій. При цьому, всі подрібнювачі, які застосовуються у фармацевтичному та біотехнологічному виробництві, можна умовно розділити за способами подрібнення на наступні групи:

1. ріжучої і розпилюючої дії (траворізки-соломорізки, коренерізки, машини з дисковими пилками).
2. розколюючої і розламуючої дії (шокові дробарки).
3. роздавлюючої дії (вальцеві дробарки).
4. стираючо-роздавлюючої дії (дискові млини).
5. ударної дії (молоткові млини, дезінтегратори, дисмембратори, струменеві млини).
6. ударно-стираючої дії (кульові млини, вібромлини).
7. колоїдні подрібнювачі (РПА, колоїдні млини).



*Робочі частини машин для подрібнення*

Для крупного подрібнення застосовують щоківі і конусні дробарки, у яких матеріал, з розміром кусків до 1500 мм, подрібнюється, під дією роздавлюючих і розколюючих зусиль, до кусків розміром ~ 300-100 мм.

Після крупного подрібнення матеріал піддають, при необхідності, подрібненню в дробарках середнього і дрібного подрібнення, у яких його розмір з 100 мм (розмір найбільших кусків вихідного матеріалу) зменшується до 10-12 мм. Для середнього і дрібного подрібнення використовують вальцєві та ударно-відцентрові млини.

Для тонкого подрібнення, частинок з розміром 10-12 мм до частинок розміром 2-0,0075 мм, застосовують барабанні і кільцеві млини. У них матеріал подрібнюється під одночасною дією роздавлюючих, ударних і стираючих зусиль.

Для надтонкого подрібнення застосовують вібраційні, струменеві і колоїдні млини, у яких частинки матеріалу подрібнюються приблизно від 10-0,1 мм до  $75 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-4}$  мм.

### **Подрібнювачі ударно-стираючої дії**

На змішаному принципі удару (переважаюча дія) і стирання працюють найпоширеніші барабанні або кульові млини та деякі інші спеціальні подрібнювачі (наприклад, вібротлини).

**Барабанні млини** – це дробарки, у яких матеріал подрібнюється всередині обертового корпуса (барабана) під дією розмелюючих тіл або самоподрібненням. У якості розмелюючих тіл виступають кулі, стержні або шліфувана галька. В залежності від виду робочих тіл розрізняють кульові, стержневі, галькові млини і млини самоподрібнення. При обертанні барабана, мелючі тіла, під дією відцентрової сили і сили тертя, разом з поверхнею стінок піднімаються на певну висоту, а потім вільно падають і подрібнюють матеріал

ударом, роздавлюванням і стиранням. Крім цього, матеріал подрібнюється між тiлами, що мелють, а також між тiлами і внутрiшньою поверхнею млина. Найчастiше застосовуються кульові млини.

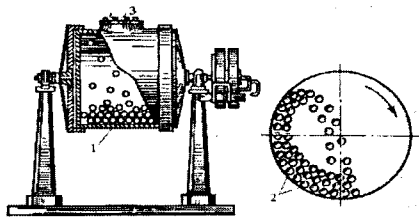


Рис. 6.1.2. Кульовий млин періодичної дії:  
1 - корпус; 2 - кулі; 3 - завантажувальний люк

стираючої дії при перекочуванні куль матеріал подрібнюється. При обертанні барабану поведінка куль буде різною в залежності від числа обертів барабану. При повільному обертанні кулі притискаються до стінок барабану під дією своєї маси, піднімаються за рахунок сили тертя на невелику висоту і звідти сповзають по стінці барабану вниз. При дуже швидкому обертанні, кулі будуть настільки сильно притискатися відцентровою силою до стінки барабану, що не зможуть відірватися від неї і обертатимуться разом з барабаном. Подрібнення при цьому відбуватися не буде. Потрібно підібрати таку швидкість обертання, щоб під впливом відцентрової сили кулі змогли піднятися на максимальну висоту, відірватися від стінки і впасти на матеріал. Інакше кажучи, маса куль має бути більшою за силу, що притискає кулі до поверхні барабану. Число обертів, при якому припиняється падіння куль називають критичним. Оптимальна кількість обертів залежить від діаметру барабану. При дуже малому числі обертів кулі будуть зашвидко відриватися від стінки, висота польоту буде незначна і сила їх удару по матеріалу невеликою. Завантаження млина необхідно проводити кулями однакового розміру, кулі малого розміру перешкоджатимуть роботі великих куль, оскільки вони знаходитимуться між ними і подрібненим матеріалом. Розмір куль, завантажених в млин, залежить від механічного складу, твердості і в'язкості матеріалу, що подрібнюється. Зазвичай застосовуються кулі діаметром 50-150 мм. Одночасно підбирається і оптимальна кількість куль, оскільки продуктивність млина залежить від числа і сили ударів куль.

Продуктивність кульового млина підвищується із збільшенням його діаметру. Всі новітні типи кульових млинів конструюються малого і великого діаметрів, що є в межах 800-2300 мм. Швидкість обертання 20-40 об/хв. Барабани і кулі млинів, як правило, виготовляють зі сталі. У кульових млинах

**Кульові млини** - найбільш прості за своєю конструкцією машини для одержання порошків. Ці млини (рис. 6.1.2) мають форму барабану, в який завантажують матеріал і мелючі тіла - кулі. Барабан обертається. Під дією тертя і відцентрової сили кулі і матеріал піднімаються на певну висоту та падають вниз. В результаті ударів і

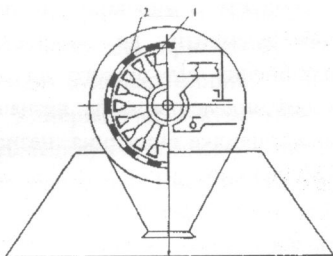
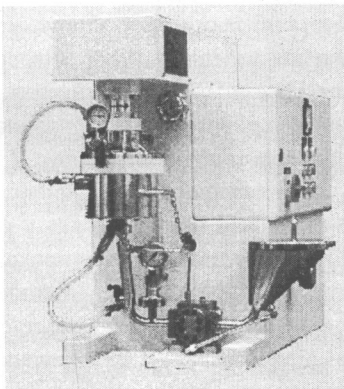


Рис. 6.1.3. Кульовий млин безперервної дії: 1 – перфорована поверхня;



Кульовий млин MS-12

можна отримати порошок високої дисперсності. В даному випадку дисперсність порошку залежить від часу подрібнення. Кульові млини можна застосовувати для приготування складних порошкоподібних сумішей (одночасне подрібнення і змішування).

Кульові млини бувають періодичної і безперервної дії. Подрібнювачі першого типу (рис. 6.1.2) герметично закриті з усіх боків і мають тільки один завантажувально-вивантажувальний отвір 3, який щільно закривається. Після завантаження барабана кулями і матеріалом, що подрібнюється, машина приводиться в обертовий рух. Число обертів повинно бути оптимальним. Матеріал подрібнюється у результаті ударів і стираючої дії куль. Усередині кульового млина безперервної дії (рис. 6.1.3) знаходиться перемелююча перфорована поверхня 1. Він складається з роз'єднаних пластинок, потовщених у місцях ударів куль, та з отворами – в

іншій частині. Подрібнений матеріал випадає через отвори між пластинами, коли вони знаходяться в найбільш глибокому положенні.

Переривчаста поверхня, що перемелює, оточена суцільним циліндричним ситом 2, через яке подрібнений матеріал висипається. Для захисту тонкого сита в млинах великих розмірів є ще одне (проміжне) сито. Крупний порошок при обертанні піднімається назад поставленими лопатами і попадає через щілини перемелюючої поверхні до внутрішньої частини млина, де повторно піддається подрібнюванню до повного проходження через сито. Новий матеріал, який подрібнюється, завантажується через центральну завантажувальну лійку, а перемелений – видаляється через нижній вивідний отвір.

У залежності від форми барабана і відношення його довжини  $L$  до діаметра  $D$  розрізняють *короткі* ( $L/D = 1,5-2$ ), *трубні* ( $L/D = 3-4$ ) і *циліндроконічні млини* (барабан має форму двох усічених конусів, широкі основи яких з'єднані циліндричною частиною) і ін.

*Переваги кульових млинів:* подрібнення продукту з високою щільністю частинок; стійкість гладких розмелюючих елементів до зношування; можливість використання продукту для подрібнення від рідкого до дуже клейкого; очищення, стерилізація і сушіння без видалення куль; незначний об'єм робочої камери; незначні втрати продукту; швидке очищення, незначне споживання енергії; швидкий перехід на іншу продукцію.

**Вібраційні млини.** Вібраційні млини застосовуються для тонкого і надтонкого подрібнення. Розмір частинок 1-2 мм в кінці подрібнення може досягати 1-5 мкм. Частота коливань млина складає 1500-3000 на хвилину і відповідає швидкості обертання електродвигуна. Вібраційні млини підрозділяються на *інерційні* і *ексцентрикові*. Найпоширенішими є інерційні подрібнювачі з дебалансним валом. При обертанні цього валу корпус млина вібрує, передаючи коливання кулям. Подрібнення матеріалу, який в корпусі, відбувається за рахунок куль, що коливаються, і їх взаємного переміщення.

Принципова схема вібраційного млина інерційного типу зображена на рис.6.1.4. Даний млин має циліндричний або коритоподібний корпус 1, що завантажений кулями (іноді – стержнями) і матеріалом, що подрібнюється. Корпус млина 1, спирається на пружини 2, закріплені на рамі 3, яка у свою чергу знаходиться на гумових амортизаторах 4. У середині корпусу проходить

труба 5, в яку поміщений дебалансний вал 6, що обертається в підшипниках 7 зі сферичними роликками. На цьому ж валі закріплені додаткові дебаланси 8, за допомогою яких регулюється частота коливань. Вал отримує обертання від електродвигуна 9 через еластичну муфту 10. При обертанні дебалансного валу корпус млина приводиться в коливальний рух по еліптичній, що наближається до кругової, траєкторії. Матеріал, який подрібнюється, у вібромлинах піддається багатократній дії.

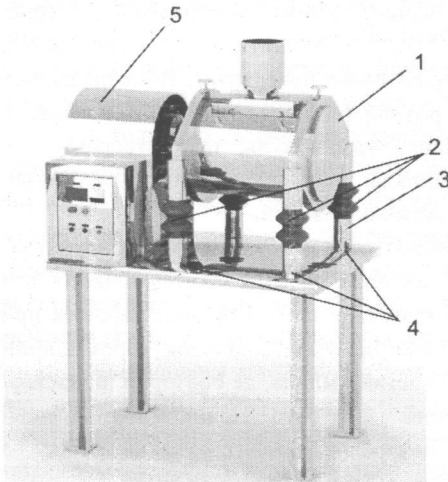


Рис. 6.1.4. Вібраційний млин інерційного типу

Вібраційні млини використовують для сухого і мокрого подрібнення періодичним і безперервним способами. Застосування вібраційних млинів найбільш ефективно для надтонкого подрібнення матеріалів невеликої твердості з розмірами часток від

1-2 мм до 60 мкм і менше. Їх можна використовувати і для тонкого подрібнення, але при цьому їх ефективність не перевищує ефективності звичайних кульових млинів.

У порівнянні з кульовими і барабанными млинами, вібраційні млини мають велику енергонапруженість і продуктивність (у розрахунку на одиницю об'єму барабана). Висока енергонапруженість при малій зовнішній поверхні корпусу вібраційного млина приводить до сильного підвищення температури всередині нього. Тому вібраційні млини не застосовуються для подрібнення матеріалів з низькими температурами розм'якшення і плавлення.

Подрібнення у вібраційних млинах має ряд істотних *переваг*. Внаслідок інтенсивного ударно-стираючого впливу на матеріал, досить швидко досягається висока дисперсність продукту подрібнення. Частинки матеріалу в млині вібрують у зваженому стані, не злипаються і не спресовуються. Цим забезпечується велика однорідність розмірів часток здрібненого матеріалу.

*Недоліки*: відносно низька продуктивність (корпус приблизно на 80 % заповнений мелючими тілами), швидке зношення мелючих тіл, важкі умови роботи (вібрація).

### **Подрібнювачі ударної дії**

До подрібнювачів ударного типу відносяться молоткові дробарки, дезінтегратори, дисмембратори і струменеві млини.

В **молоткових дробарках** (рис. 6.1.5) на центральному валі 4 ротора закріплено один біля одного декілька дисків 3. На цих дисках висять на шарнірах молотки 1, що мають вигляд сталевих плит. Ротор з молотками обертається у масивному корпусі 5, стінки якого захищені броньованими плитами. Дном корпусу є перфороване змінне сито 6. Внаслідок великої швидкості обертання ротора (500-1500 об/хв) і відцентрової сили, що збільшується, молотки відкидаються по радіусу. Матеріал, що подрібнюється, надходить зверху зі зважувальної лійки і дробиться на льоту ударами молотків 1, шарнірно підвішеними за допомогою стержнів 2, на роторі 3. Подрібнення матеріалу відбувається також при ударах кусків матеріалу, що відкидаються молотками, в плити 7 з рифленою поверхнею, якими футерований кожух 5. Досягнувши певного розміру, куски матеріалу проходять через сито 6. Для виготовлення молотків використовують зносостійкі сталі. Ступінь подрібнення регулюється розміром отворів сита.

Молоткові дробарки характеризуються добутком діаметра  $D$  на довжину ротора  $L$ . Ці розміри вказують у позначенні марки дробарки (наприклад, дробарка марки М-6-4 має ротор діаметром 600 мм і довжину  $L = 400$  мм).

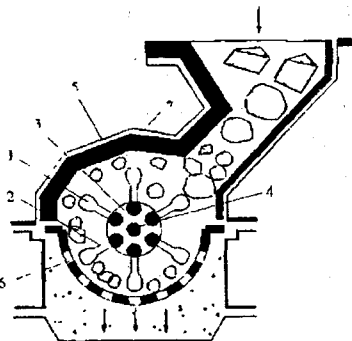


Рис. 6.1.5. Молоткова дробарка:

- 1 – молоток; 2 – стержень; 3 – ротор-диск;  
4 – вал; 5 – кожух; 6 – сито; 7 – плити

До переваг молоткових дробарок відносяться: простота і компактність конструкції; достатня надійність; безперервність роботи; велика продуктивність; невисокі питомі енерговитрати.

Сфера застосування молоткових дробарок широка, найчастіше у хімічній, фармацевтичній і біотехнологічній промисловостях їх застосовують для подрібнення крихких матеріалів. У цих дробарках за один цикл досягається високий ступінь подрібнення таких матеріалів, як корені і стебла рослинної сировини, сіль і ін.

Для подрібнення крихких матеріалів, таких як сода, використовують млини ударно-відцентрової дії – дезінтегратори і дисмембратори.

Для подрібнення крихких матеріалів, таких як сода, використовують млини ударно-відцентрової дії – дезінтегратори і дисмембратори.

*Дезінтегратор* або *штифтовий млин* (рис. 6.1.6) складається з двох роторів, які обертаються назустріч один одному зі швидкістю 500-900 об/хв, в залежності від розміру дисків. Обидва диски несуть на своїй поверхні ударні пристосування у вигляді пальців, штифтів (звідси інша назва - штифтовий

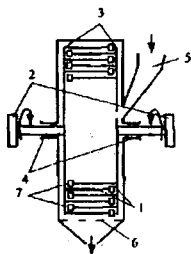
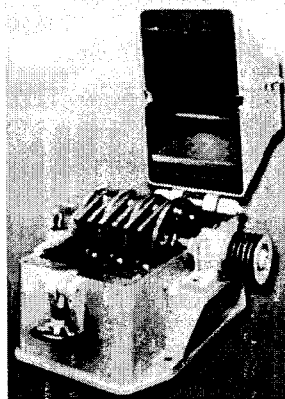


Рис. 6.1.6. Дезінтегратор.

- 1 – штифти-пальці; 2 – шків;  
3 – ротори; 4 – вали; 5 – лійка;  
6 – сито; 7 – кільця

млин), розташованих в 2-4 ряди кільцями. Штифти на роторах розташовані по концентричних колах. Диски поставлені один навпроти іншого так, що пальці одного диска входять у вільний простір між пальцями другого диска. Матеріал, що подрібнюється,



Промислова молоткова дробарка

завантажується через лійку 5 і тонко подрібнюється ударами штифтів і дисків. Вивантаження здійснюється через сито 6, крізь отвори останнього

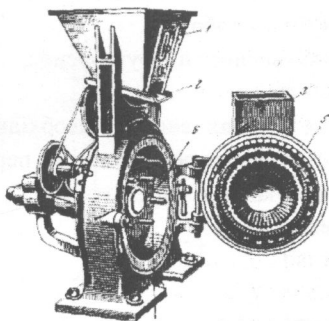


Рис. 6.1.7. Млин «Перплекс»  
 1- завантажувальна лійка; 2 – лоток;  
 3 – лійка; 4 – штифти; 5 – нерухомий  
 диск; 6 – рухомий диск

можуть проходити тільки куски визначеного розміру. Кінці штифтів-пальців кожного кільцевого ряду для жорсткості з'єднані між собою кільцями 7, виготовленими зі смуг сталі. Ротори розміщені в кожусі. Для легкої заміни пальців, які швидко зношуються, передбачена спеціальна конструкція валу на висувній стійці. Матеріал, що надходить всередину ротора на подрібнення, попадає на внутрішній ряд пальців, звідки під дією сили удару і відцентрової сили відкидається на наступний ряд пальців другого ротора, який обертається в протилежному напрямку і відкидає куски матеріалу на наступний ряд пальців і т.д. При цьому частинки піддаються чисельним ударам пальцями, поверхнею дисків, взаємно вдаряються і, після досягнення необхідного ступеня подрібнення, висипаються з млина. З просуванням матеріалу від центру до периферії сила удару зростає, оскільки збільшується швидкість обертання пальців. Продуктивність і ступінь подрібнення таких млинів залежить від кількості рядів пальців, від числа обертів ротора – зі збільшенням числа обертів збільшується ступінь подрібнення, але зменшується продуктивність, тому що ускладнюється проходження матеріалу крізь ряди пальців. Розміри кусків вихідного матеріалу не повинні бути більшими 25-35 мм, а вологість не повинна перевищувати 8-11%. Ступінь подрібнення  $i$  у дезінтеграторах звичайно не перевищує 10, продуктивність дезінтеграторів – 0,5-18 т/год. У деяких дезінтеграторах вітчизняної конструкції вали розташовані з одного боку. Один з валів є порожнистий, у середині нього обертається у протилежну сторону суцільний вал. Завдяки цьому млин має невеликі габарити.

Схожі на дезінтегратори млини, які називаються *дисембраторами*. Вони відрізняються від перших тим, що зовнішній диск у них нерухомий. Через це для досягнення тієї ж дисперсності подрібнення рухомий диск повинен обертатися з більшою швидкістю (до 3800 об/хв). Різновидом дисембраторів є млини «Перплекс» (рис. 6.1.7) і кулачні млини, що відрізняються за виглядом і розташуванням ударних виступів.

У фармацевтичній технології млини ударної дії використовуються для подрібнення матеріалів невисокої міцності, а також в'язких і волокнистих рослинних матеріалів з підвищеною вологістю (до 10 %).



*Переваги ударних млинів:* простота пристрою, компактність, висока продуктивність і ступінь подрібнення, надійність у роботі.

*Недоліки:* підвищений знос штифтів, велике пилоутворення, велика витрата енергії.

**Струменеві млини.** У струменевих млинах енергія, необхідна для подрібнення матеріалу, надається струменем енергоносія (повітря, перегріта пара, інертний газ) з сопел зі звуковими і надзвуковими швидкостями. Принцип роботи струменевого млина наведено на рис. 6.1.8.

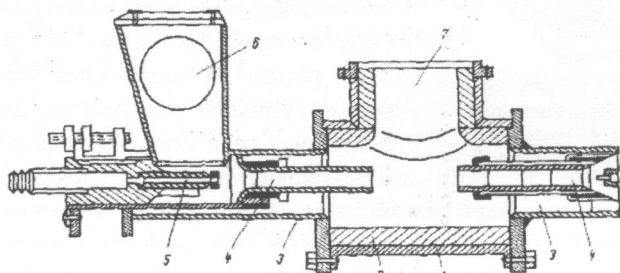


Рис. 6.1.8. Струменевий млин

Млин складається з розмелювальної камери 1, захищеної зсередини матеріалом 2, двох розташованих один проти одного штуцерів підживлення 3, в яких вмонтовані розгінні трубки 4 і сопло 5, приймальної лійки 6 і відповідного штуцера 7. Матеріал, що піддається подрібненню, поступає через лійку 6 в приймач інжектора, звідки зі струменем повітря, яке виходить з сопла 5, прямує в розгінну трубку 4. Там частинки набувають необхідної швидкості, з якою вони вилітають з розгінної трубки назустріч потоку частинок, що йдуть з протилежної трубки. При зіткненні частинки подрібнюються і через штуцер 7 виносяться на сепарацію, яка здійснюється за допомогою рукавного фільтра, що додається до млина.

Струменеві млини придатні для подрібнення частинок сировини з початковими розмірами близько 10 мм до частинок розміром 50-80 мкм. Вони використовуються при виробництві для подрібнення багатьох об'єктів (вугілля, барвники, інсектициди, фунгіциди і ін.) і, поза сумнівом, перспективні для отримання дуже тонких порошків у фармацевтичному та біотехнологічному виробництвах.

Для надтонкого подрібнення застосовують струменеві млини з плоскою і трубчастою помольними камерами.

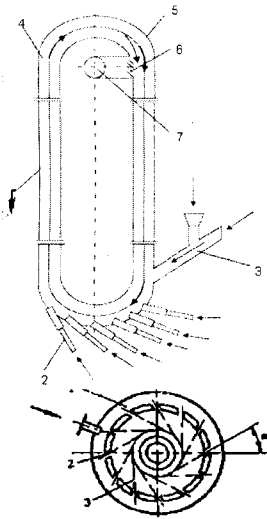


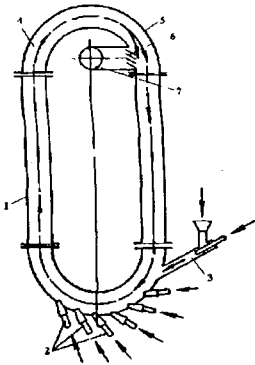
Рис. 6.1.9. Схема струменевого млина з плоскою помольною камерою:  
 1 – колектор енергоносія, 2 – сопло,  
 3 – помольна камера, 4 – інжектор,  
 5 – вихлопна труба, 6 – осаджуюча труба,  
 7 – приймач

У млині з *плоскою помольною камерою* (рис. 6.1.9) енергоносій з розподільного колектора 1 через сопло 2 окремими струменями надходить у помольно-роздільну камеру 3.

Осі сопел розташовані під деяким кутом  $\alpha$  щодо відповідних радіусів камери, внаслідок чого струмені газу перетинаються, утворюючи навколо вертикальної осі камери обертовий багатокутник з кутовою швидкістю 100-150 м/с. Матеріал на подрібнення подається інжектором 4, захоплюється струменями газу, отримує прискорення і подрібнюється, під дією багаторазових зіткнень і частково – стиранням частинок, у точках перетину струменів. По мірі зменшення розміру і маси на частинки здійснює все менший вплив відцентрова сила інерції в обертовому потоці і, подрібнившись до визначеного розміру, вони попадають, разом з газовим потоком, у кільцеву щілину між трубами 5 і 6. У полі відцентрових сил, що виникають у низхідному вихровому потоці в трубі 6, близько 80 % частинок осаджуються на внутрішній поверхні труби і відносяться в приймач 7. Найдрібніші частинки, що складають приблизно 20 %, рухаються по трубі 5 і вловлюються в додаткових циклонах і тканинних фільтрах.

*Млин з вертикальною трубчастою помольною камерою* (рис. 6.1.10) має замкнутий трубчастий контур 1, у нижню частину якого, через систему сопел 2, надходить енергоносій. Матеріал на подрібнення подається за допомогою інжектора 3. Сопла встановлюють попарно таким чином, щоб кожна пара струменів перетиналася у вертикальній площині на деякій відстані від протилежної стінки труби.

Для створення додаткової циркуляції газу сопла розташовують під деяким кутом до вертикальної площини. Як і в плоскій помольній камері, матеріал подрібнюється при багаторазових зіткненнях частинок у точках перетинання струменів і в загальному вихровому потоці. Поділ подрібненого матеріалу за величиною частинок відбувається в полі відцентрових сил при поворотах потоку в колінах 4 і 5 труби. Великі частинки відкидаються до зовнішньої стінки труби і по правій вертикальній трубі знову попадають у зону подрібнення. Дрібні частинки, що рухаються біля внутрішньої стінки труби,



*Рис. 6.1.10. Схема струменевого млина з трубчастою помольною камерою:*

- 1 – трубчастий контур, 2 – сопло,  
3 – інжектор, 4, 5 – коліна труби,  
6 – жалюзійний пилорозділювач,  
7 – вихідна труба

виходять разом з енергоносієм через жалюзі 6 інерційного пилорозділювача в трубу 7 і далі - у зовнішню систему вловлювання (циклони і тканинний фільтр). У пилорозділювачі великі частинки, що мають велику кінетичну енергією, відбиваються лопатками жалюзей, а дрібніші частинки проходять між лопатками разом з газовим потоком, який подається. У порівнянні з млинами з плоскою камерою в трубчастих млинах досягається велика однорідність подрібненого продукту.

*Переваги* струменевих млинів: високі енергонапруженість та ефективність подрібнення, відсутність обертових деталей і мелючих тіл, можливість поєднання розмелювання і розділення із сушінням, окисненням, відновленням та іншими

технологічними процесами.

*Недоліки:* велика витрата енергоносія і, отже, висока енергоємність процесів, необхідність рівномірної подачі матеріала і підтримання постійного аеродинамічного режиму роботи млина.

Струменеві млини, як досить енергоємні апарати, застосовують в основному для надтонкого подрібнення дорогих матеріалів (наприклад, двоокису титана). У цьому випадку витрати на подрібнення не позначаються помітно на вартості продукту.

### **Подрібнювачі стираючо-роздавлюючої дії**

На поєднанні роздавлювання з стиранням базується принцип роботи бігунів, дискових дробарок та кільцевих млинів.

Основною деталлю **дискових дробарок** є два вертикально встановлених диски. Обертається зазвичай один з них. Поверхня дисків має різучі або ударні виступи певної конструкції. Початковий матеріал поступає в щілину між дисками, де він і подрібнюється.

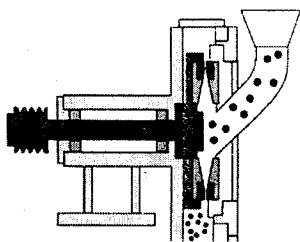


Рис. 6.1.11. Схема розташування дисків у дискових дробарках

Одною з найпростіших дискових дробарок є млин типу «Ексцельсіор», що широко застосовується у фармацевтичному виробництві. У ньому (рис. 6.1.11) диски встановлені вертикально. Один диск нерухомий, інший обертається із швидкістю 250-300 об/хв. Поверхня дисків покрита дрібними зубцями, розташованими по колу в такому порядку, щоб зубці рухомого диска потрапляли в проміжки між зубцями нерухомого диска. Окрім стирання, до роздавлюючого ефекту додається зрізуюча дія від гострих зубців. Продуктивність складає до 50 кг/год при діаметрі дисків 400 мм.

Дискові дробарки застосовуються для подрібнення насіння, плодів, стебел рослин і ін. Для подрібнення плодів та фруктів (вишня, абрикоса, слива та ін.) застосовують дробарку, зображену на рис. 6.1.12 а. Плоди подають на диск 1 із прямокутними шипами й отворами  $d = 10$  мм, розмішеними на концентричних колах. При обертанні диску ( $n = 1000$  об/хв) матеріал подрібнюється між диском і нерухомим контрножем 2 і видаляється через отвори у диску.

У дисковій дробарці (рис. 6.1.12, б) сировина надходить у приймач і подрібнюється між робочими площинами двох дисків. На робочій площині дисків по концентричних колах розміщені зубці

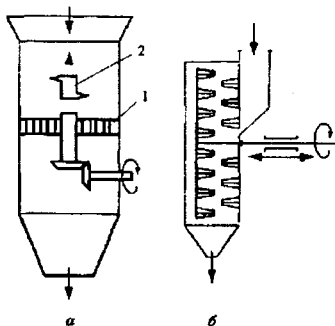


Рис. 6.1.12. Дискові дробарки:  
а - з одним диском і контрножем 2;  
б - з двома дисками.

трапецієвидної форми. Причому ряд зубців одного диска входить між двома рядами виступів іншого диска. Один диск - нерухомий, а інший - обертається на горизонтальному валі зі швидкістю 7-8 м/с і може переміщатися разом з ним для регулювання зазору.

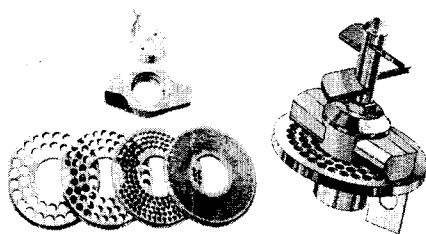


Рис. 6.1.13. Перфоровані диски

В дисковій дробарці необхідне подрібнення коректується діаметром отворів (1,5-20 мм) в перфорованих дисках (рис. 6.1.13), деколи використовують прорізані диски.

**Бігуни** (рис.6.1.14) широко застосовуються для дрібного і наддрібного подрібнення. Вони зазвичай складаються з двох (рідко - трьох) великовагових катків 5, що при обертанні вала 1 котяться по днищу чаші 2, подрібнюючи матеріал, як під дією власної маси, так і за рахунок стирання внаслідок ковзання. Чим більшою є ширина катків, тим більша різниця колових швидкостей різних точок катків, і тим більша стираюча здатність катків. Бігуни виготовляють з нерухою чашею і рухомими катками або з рухою чашею і нерухомими катками.

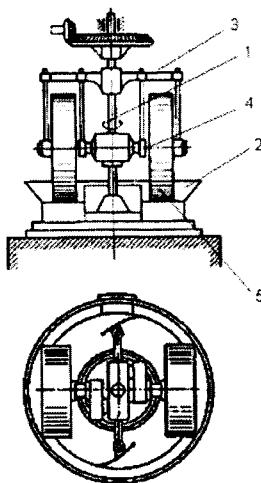


Рис. 6.1.14. Схема бігунів:  
1 – вал; 2 – чаша; 3 – вісь;  
4 – кривошип, 5 – каток

В обох типах бігунів катки обертаються навколо своїх осей за рахунок тертя по матеріалу. З'єднання катків з валом здійснюють за допомогою кривошипів 4, що дозволяє їм вільно рухатися по вертикалі, при зміні товщини шару матеріалу, що подрібнюється, у чаші, чи при потраплянні предмету, що не подрібнюється.

Подрібнення матеріалу в **кільцевих млинах** відбувається між кільцем і роликами або кулями роздавлюванням і стиранням. Ролики (кулі) притискаються до кільця відцентровою силою або пружинами. Розрізняють наступні види кільцевих млинів: маятникові, вальцево-пружинні, відцентрово-кульові, пружинні з вертикально обертовим кільцем.

У **маятникових млинах** (рис. 6.1.15) при обертанні вала 1 із хрестовиною 2, на якій підвішені маятники з роликами (від 2 до 6 шт.) 3, останні відцентровою силою притискаються до кільця 4 і котяться по ньому. Матеріал, що подрібнюється, завантажується в млин підживлювачем 5 і надходить на кільце, де подрібнюється роликами.

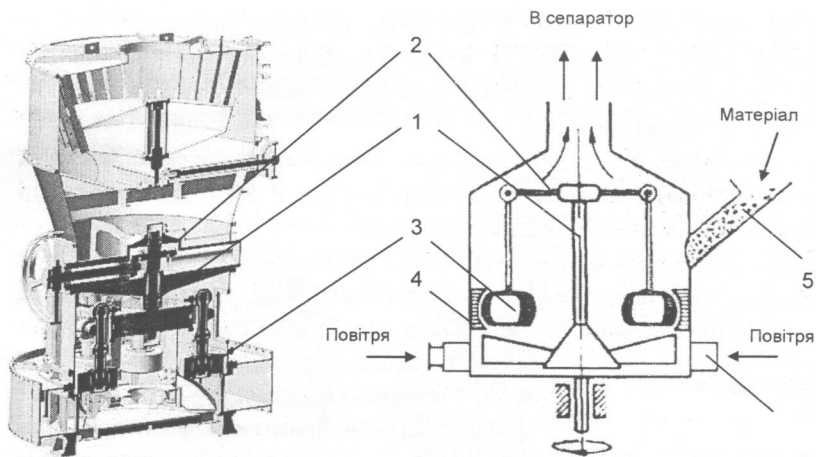


Рис. 6.1.15. Схема кільцевого маятникового млина:  
1 – вал, 2 – хрестовина, 3 – ролик, 4 – кільце, 5 – живильник, 6 – колектор

Подрібнений матеріал зі струменем повітря (або інертних газів), що надходить з колектора 6, поступає в повітряний сепаратор. Груба фракція із сепаратора повертається в млин на доподрібнення, а тонка (готовий продукт) - вловлюється в циклонах. Очищений газ з циклонів за допомогою вентилятора повертається в млин.

### Подрібнювачі роздавлюючої дії

**Вальцеві млини** (рис.б.1.16) використовуються для середнього і дрібного подрібнення фармацевтичної сировини (плодів і насіння) при одержанні олій і ін. Ці млини складаються зі спарених рівнобіжних вальців, що, обертаючись назустріч один одному, подрібнюють матеріал в основному роздавлюванням і стиранням (якщо швидкість їхнього обертання різна).

У залежності від виду і властивостей матеріалу використовують вальці з гладкою, рифленою і зубчатою поверхнями. Вальці з гладкою поверхнею використовуються для одержання тільки дрібного розмелювання, вальці з рифленою поверхнею - для середнього подрібнення, а вальці з зубами - для подрібнення плодів, ягід і насіння.

Зазвичай вальці мають однакове число обертів, але є конструкції, в яких вальцям надають різні кутові швидкості. Безперервна і рівномірна подача сировини досягається за допомогою завантажувальних лійок, довжина яких однакова з довжиною вальця і підживлюючих вальців, що обертаються зі швидкістю, близькою до кутової швидкості вальців. Один з вальців розташовується на рухомих підшипниках з пружинами, що дозволяє

регулювати зазор між вальцями і запобігати поломкам машини у випадку потрапляння твердих предметів. З метою очищення поверхні вальців від матеріалу, що прилипає, по їх довжині розміщують ножі - у випадку гладких вальців, і шітки - рифлених.

Крім того, діаметр кусків ( $r$ ), що поступають на подрібнення, має бути приблизно у 20 разів меншим за діаметр вальців  $R \approx 20 r$ . Зубчаті вальці забезпечують захоплення крупніших кусків, для них  $R \approx 5-10 r$ .

Гладковальцеві дробарки можуть мати одну або дві пари вальців. Серед двохвальцевих, для подрібнення рослинних матеріалів, придатна дробарка ДВГ-2 з діаметром вальців 40 см і довжиною 25 см. Швидкість обертання ведучого вальця 220 об/хв, веденого - 190 об/хв. З чотирьохвальцевих дробарок цікавою є дробарка БДА-7м, призначена для подрібнення солоду. В ній між першою і другою парами вальців встановлено вібрисито. На другу пару вальців поступає сировина, заздалегідь подрібнена на першій парі вальців. Продуктивність 1000 кг/год. Діаметр вальців 25 см, довжина 50 см. Число обертів на хвилину для верхньої пари вальців (ведучого/ведомого) 240/238, для нижньої пари - відповідно 268/254.

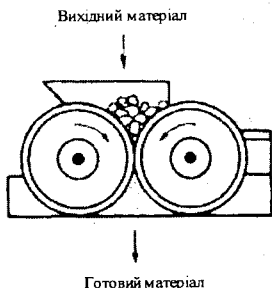


Рис. 6.1.16. Схема вальцевого млина

Поверхня вальців може бути як гладка, так і нарізна (рифлена); у останніх стираюча здатність вища, ніж у гладких.

### Подрібнювачі ріжучої та розпилюючої дії

У фармацевтичному та біотехнологічному виробництві широко використовується рослинна сировина, що має волокнисту структуру, для подрібнення якої найбільш ефективні машини, що працюють за принципом розрізування. Вони застосовуються для попереднього подрібнення сировини у фітохімічних виробництвах. Розрізування сировини здійснюється за допомогою механізмів, що мають загальну назву траво- або коренерізки. Основною робочою частиною в цих машинах є ножі, пристроєм і характером руху яких визначається тип і конструкція траво- або коренерізок.

**Траворізки-соломорізки** служать для подрібнення рослин і їхніх частин (трава, стебла і т.д.). Загально ці машини складаються зі станини, що містить стрічковий транспортер (передачу), і системи ножів (барабанні і дискові).

Простими за будовою траворізками є соломорізки, які широко застосовуються при подрібненні таких матеріалів, як солома, стебла кукурудзи і

ін. Розрізняють соломорізки дискові і барабанні. У дискових соломорізках використовують масивні ножі, що мають криволінійне лезо, прикріплені до спиць маховика. Маховик з ножами приводиться в обертальний рух вручну. Лікарська рослинна сировина (трав'яниста), зібрана в пучки, подається під ножі по лотку.

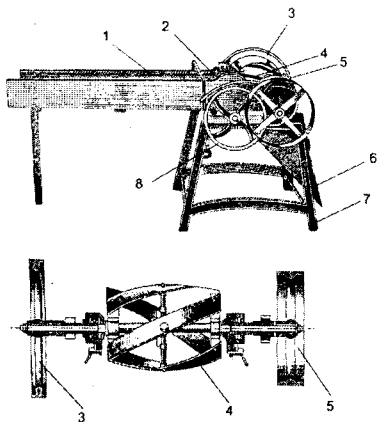


Рис. 6.1.17. Барабанна соломорізка:  
1 – бункер, 2 – живильні валики, 3 – маховик,  
4 – ножовий барабан, 5 – шків, 6 – лоток,  
7 – станина, 8 – шестерня

У барабанних соломорізках (рис. 6.1.17) вигнуті ножі з лезами розташовані по гвинтових лініях з кутом підйому до  $30^\circ$ . Сировина рухається по лотку-транспортеру 1, в кінці якого вмонтовані підживлюючі валики 2, що подають її в ножовий барабан 4. Порізна сировина вивантажується у лоток 6. Установка змонтована на станині 7 і приводиться в дію від електродвигуна за допомогою шківа 5. На одному валу зі шківом посаджена зубчатка, що приводить у дію велику шестерню 8, яка обертає підживлювальні валики. З іншої сторони на валу посаджений маховик 3 для забезпечення плавності роботи соломорізки. Габарити соломорізки РСБ-

3,5 складають: довжина з лотком 187 см, ширина 91 см, висота 126 см. Число обертів ножового барабана – 350-400 об/хв. Продуктивність, наприклад, при різанні сухої трави конвалії – 300 кг/год.

**Коренерізки.** Для розрізування цупких дерев'янистих частин рослин (корені, кореневища, кора) найчастіше застосовуються коренерізки з гільйотинними ножами, будова яких показана на рис. 6.1.18. У цій машині масивний ніж 6, падає вниз, своєю масою підсилюючи ефект різання. Сировина по лотку 1 за допомогою транспортера 7 просувається до валів 2, які ущільнюють сировину і направляють її до гільйотинного ножа. Ніж приводиться в рух за допомогою кривошипно-шатунного механізму 4, 5. Порізаний матеріал по лотку 8 надходить у прийомну тару.

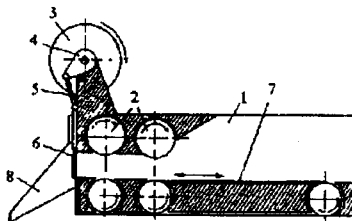


Рис. 6.1.18. Коренерізка з гільйотинними ножами:  
1 – лоток, 2 – подаючі вали, 3 – шків,  
4 – кривошип, 5 – шатун, 6 – ніж,  
7 – транспортер, 8 – лоток вивантаження

В описаних траво- і коренерізках рух



стрічкового транспортера, підживлюючих валиків і ножів відбувається, так що рослинна маса виступає вперед на певну довжину відповідно до заданого ступеня подрібнення. Потрібно враховувати, що номінальну довжину зазвичай мають тільки частинки різаної трави. Що стосується коріння і трави, то, оскільки вони крихкі, при падінні на них ножа виступаючі ділянки можуть руйнуватися. Таким чином отримують значну кількість частинок малого розміру.

При виготовленні зборів виникає необхідність надання частинкам кори квадратної, а частинкам коріння і кореневищ – кубічної форми. Різання на кубики застосовується для очищеного солодкового і алтейного коріння на спеціальних машинах.

**Машини з дисковими пилами.** Серед рослинної сировини трапляються особливо тверді об'єкти (наприклад, коріння елеутерокока), для подрібнення яких використовують малогабаритні дискові пили. Коріння, що подається під пилу, яка обертається, розпилюється на куски, які потім подрібнюють на дробарках. При розпилюванні одночасно отримується цінна тирса – крупний порошок подрібненого коріння.

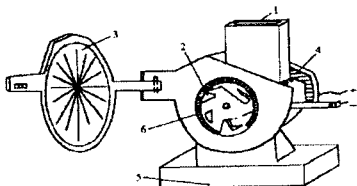


Рис. 6.1.19. Ножовий млин:  
1 – бункер, 2 – ріжучі ножі,  
3 – кришка, 4 – електромотор,  
5 – приймач, 6 – сітка

**Ножовий млин** (рис. 6.1.19) призначений для подрібнення об'ємних і м'яких матеріалів середньої твердості, а також волокнистої і целюлозної сировини. Ножовий млин застосовується для подрібнення листя, волокон, пряностей, лікарських трав. Ріжучі пластинки ножового

млина є регульовані. Чотиригранні бруски, що ріжуть, можна переточувати. Після зношування однієї ріжучої поверхні можна поставити іншу.

Подрібнення в ножовому млині здійснюється в результаті ріжучої дії і зсуву. Матеріал, що подрібнюється, знаходиться в камері подрібнення стільки часу, скільки потрібно для досягнення відповідної крупності продукту подрібнення. Кінцевий розмір частинок матеріалу, що подрібнюється, залежить від діаметру отворів легкозамінних сіток 6.

## Подрібнювачі розколюючої і розламуючої дії

**Щоківі дробарки** призначені для подрібнення матеріалів середньої твердості, а також для крихких і в'язких твердих матеріалів. До таких матеріалів відносять камеді, тверді жири, вугілля, синтетичні смоли, солі, спечені матеріали та ін. На рис. 6.1.20 показана схема щоквої дробарки.

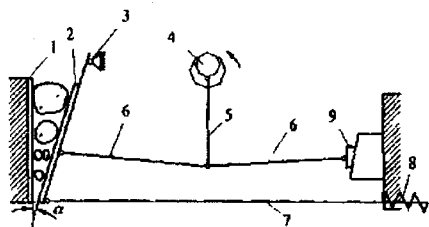


Рис. 6.1.20. Щоква дробарка:

- 1 – нерухома щока; 2 – рухома щока; 3 – вісь;  
4 – ексцентриковий вал; 5 – шатун; 6 – розпірні плити;  
7 – тяга; 8 – пружина; 9 – колодки

Нерухома щока 1 дробарки є частиною станини, щока 2 – рухома і шарнірно гойдається на осі 3. Подрібнення матеріалу здійснюється робочими площинами щік, а при зворотному русі щоки 2 щілина між нижніми частинами щік розширюється і матеріал висипається. Хитання рухливої щоки здійснюється за допомогою шатуна 5, з'єданого з ексцентриковим валом 4. З рухливою щоквою шатун з'єднаний шарнірно за допомогою розпірних плит 6. Закриття пар системи, що

рухається, забезпечується тягою 7 і пружиною 8, а зміна величини щілини здійснюється зсувом колодок 9. Таким чином, крупність матеріалу стає усе меншою по мірі його переміщення від завантажувального отвору до вихідної щілини.

Великим є число типорозмірів дробарок зі складним рухом щоки (рис. 6.1.21). У деяких моделях дещо ускладнена форма подрібнюючих щік і плит, з утворенням невеликої паралельної зони в нижній частині камери подрібнення.

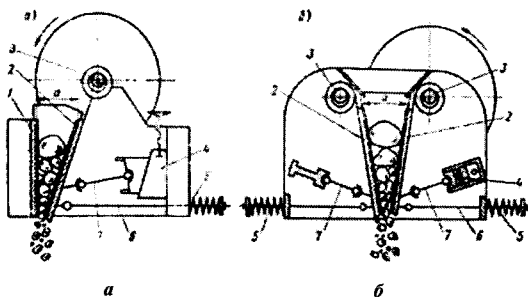


Рис. 6.1.21. Схеми щоквих дробарок зі складним рухом щоки  
а - однією рухомою щоквою; б - двома рухомими щоквами

Для уникнення поломки при випадковому потраплянні в неї дуже твердих кусків матеріалу одну з розпірних плит виготовляють з двох частин. Обидві частини з'єднують болтами або заклепками, останні зрізуються при перевищенні припустимого навантаження і можуть бути замінені новими.

*Переваги* шоккових дробарок: конструктивна простота і надійність, компактність і легкість в обслуговуванні. *Недоліки*: періодичний характер дії сили на матеріал; шум при роботі і вібрація.

### Колоїдні млини

Розміри частинок, які отримують при подрібнюванні в колоїдних млинах, наближаються до розмірів колоїдних частинок і складають частки мікрометрів. Щоб уникнути злипання частинок подрібнення проводять у присутності диспергуючого середовища, у якості якого застосовують рідину або рідше – газ.

У фармацевтичній технології колоїдні млини застосовують у виробництві лініментів (рідких мазей), мазей, паст і ін. У біотехнологічній промисловості також виникає необхідність використання млинів. У зв'язку з тим, що в більшості своїй поживні середовища мають рідку і тверду фази, виникає необхідність тонкого подрібнення твердих компонентів - висівки, борошна грубого помолу, рибно-кісткового борошна, соєвого жмиха. У цьому випадку ефективним є використання РПА, через який пропускають суспензію компонента перед заварюванням або після нього. Завдяки цій процедурі не тільки позбавляються від грудок, що утворилися при заварюванні, але і підвищують ступінь використання сировини, так само як і отримують

можливість застосовувати окремі види сировини (наприклад, середовище з рибно-кістковим борошном погано піддається стерилізації через велику кількість риб'ячих очей).

Колоїдні млини забезпечують високу дисперсність суспензій та емульсій, що містять нерозчинні тверді лікарські речовини.

**Роторно-пульсаційний апарат (РПА)** (рис. 6.1.22, 6.1.23) складається з ротора і статора, вбудованих у корпус. Статор і ротор виготовлені у вигляді співвісних перфорованих циліндрів. Перфорація циліндрів ротора і статора може бути різною: у виді прорізів (рис. 6.1.22, а), отворів

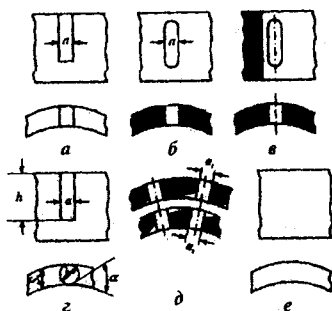


Рис. 6.1.22. Конструктивні модифікації робочих органів РПА.

а – радіальний проріз, б – овальний отвір, в – овальний отвір циліндричної стінки з рифленою поверхнею, г – гострокраєвий проріз змінного сечення, д – ступінь РПА зі змінним радіальним відступом, е – циліндрична поверхня без перфорації, а1, а2 – розмір отвору ротора і статора відповідно, h – висота отвору (прорізу)

круглої й овальної форм (рис. 6.1.22, б), з різбленням на циліндричній поверхні у вигляді насічки або накатки (рис. 6.1.22, в), а також з різбленням на стінках прорізів у вигляді прорізів з гострими краями (рис. 6.1.22, г). Проміжки між прорізами можуть мати скошені плоскі поверхні (рис. 6.1.22, д), а деякі циліндри можуть бути виконані без перфорації (рис. 6.1.22, е).

Апарат комплектується змінним набором циліндрів статора, що забезпечують радіальні зазори між циліндрами ротора і статора в межах 0,25-2 мм.

Комбінуючи різні робочі органи, можна одержати РПА з різними зазорами і геометрією робочих органів.

У внутрішній зоні ротора і зовні встановлені по чотири радіальні лопати. Середовище, яке обробляється, надходить по вхідному патрубку і видаляється з апарату через тангенціально розташований патрубок. Ротор обертається за допомогою електродвигуна.

Розрізняють РПА вмонтованого і проточного типів.

**РПА заглибленого (вмонтованого) типу** звичайно виконують у виді мішалок, які занурюють в ємність з середовищем. Такі апарати іноді називають *гідродинамічними апаратами роторного типу* (ГАРТ). Для підвищення ефективності перемішування вмонтовані РПА іноді встановлюють додатково до наявних мішалок інших типів (наприклад, якірної).

Найбільше поширення отримали **РПА проточного типу** (рис. 6.1.23), робочі органи яких розміщені в невеликому корпусі, який має патрубки входу і виходу середовища, яке обробляється. У цьому випадку технологічна схема застосування РПА буде мати вигляд, як на рис. 6.1.23, а. За цією схемою РПА виконує диспергування і змішування фаз.

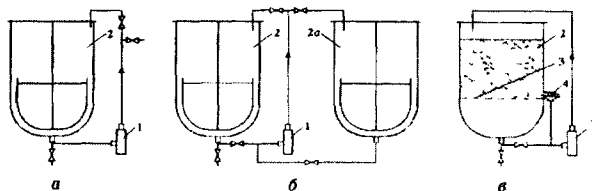


Рис. 6.1.23. Технологічні схеми застосування РПА:

а – циркуляційна схема, б – схема перевантажень, в – схема з різною різноманітністю циркуляційних фаз,

1 – РПА, 2, 2а – смісний апарат, 3 – псевдодно, 4 – шнек.

При використанні РПА за схемою (рис. 6.1.23, б) досягається більш однорідний розподіл фаз у всьому об'ємі, що є важливим у виробництві м'яких лікарських форм, які мають високу в'язкість. При великому вмісті твердої фази

(при екстрагуванні з сировини) встановлюється додатково шнековий підживлювач 4 (рис. 6.1.23, в).

Для уникнення попереднього подрібнення порошкоподібних антибіотиків (окситетрацикліна, дібіоміцина, хлортетрацикліна, еритроміцина) та інших

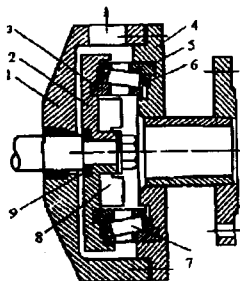


Рис. 6.1.24. РПА роликів типу:  
1 – корпус, 2 – ротор, 3 – обойма з перфорацією, 4 – кришка, 5 – нерухома перфорована обойма, 6 – сепаратор, 7 – ролики, 8 – радіальні лопати, 9 – пружна втулка

речовин, які містять частинки підвищеної міцності, варто застосовувати апарати роликів типу (рис. 6.1.24) або з іншими додатковими робочими тілами.

Матеріал робочих органів РПА вибирають з урахуванням агресивності, температури оброблюваного середовища і його абразивності. Для обробки середовищ з незначною абразивністю можуть бути використані аустенітні марганцеві сталі, при підвищеній абразивності – мартенситні сталі, леговані хромом, марганцем, нікелем, молібденом і ванадієм. Для обробки середовищ з дуже високою абразивністю робочі органи можуть бути виготовлені з мартенситно-карбідного (білого) чавуна. З підвищенням стійкості зазначених матеріалів до абразивного стирання їх здатність витримувати стискаючі та ударні навантаження знижується. Апарати роторно-пульсаційного типу випускаються серійно з досить широким параметричним рядом як закордонними фірмами, так і вітчизняною промисловістю (Талліннським заводом хімічного машинобудування - апарати ГАРТ, Ленінградським НПО "Прогрес" - РПА та ін.). Найбільше число конструктивних модифікацій РПА пропонується фірмою "Janke and Kunket K.G. (Німеччина). У проспектах фірми наводяться дані про заглиблені апарати, робочі органи яких встановлені на довгому валу (до 1,5 м) і занурюються в оброблюване середовище, а також – на короткому валу, вмонтованому в днище, кришку або бічну стінку ємності з оброблюваним середовищем. Робочі органи апаратів, як правило, виготовляються багатоступінчастими, іноді – з додатковими ножами і лопатами. Наприклад, зовнішній діаметр робочих органів РПА складає 115, 150, 220, 280, 330 і 350 мм, частота обертання валу – 960-2900 хв<sup>-1</sup>, а кутова швидкість ротора – 15-21 м/с. Вмонтовані апарати мають діаметри робочих органів 115, 130 і 150 мм при частоті обертання валу 2900 хв<sup>-1</sup> і потужності двигуна 2,2-7,5 кВт. Кутова швидкість ротора – 15-21 м/с.

Проточні апарати виготовляються з робочими органами діаметром 60, 115, 150, 230 мм, з кутовою швидкістю - 15-23 м/с і частотою обертання - 1500-8000 хв<sup>-1</sup>. При цьому потужність двигуна складає 1,4-37 кВт.

Доведено високу ефективність і працездатність РПА у виробництві лікарських засобів емульсійного типу (мазей, лініментів, емульсій), а також емульсійних парфумерних і косметичних засобів.

Використання РПА у виробництві м'яких лікарських форм суспензійного типу (мазь цинкова 10%, мазь борна 5%, мазь стрептоцидова 10%) дозволило зменшити витрати часу на виробництво в 6-15 разів, зменшити загальні витрати електроенергії в 2-7 разів при високому ступені дисперсності й однорідності готових мазей.

Запропоновано нову технологію приготування супозиторних мас, лікарських і захисних паст, одержання цинкової основи лейкомас у виробництві пластирів з використанням РПА.

Крім того, показана висока ефективність РПА у виробництві органопрепаратів (на стадії подрібнення сировини), у виробництві препаратів мікробіологічного синтезу (при диспергуванні газів у поживному середовищі для аеробного вирощування мікроорганізмів), при готуванні медичних розчинів (олії камфорної), у процесах розчинення, які супроводжуються хімічною реакцією (ацетонування сорбози), при екстрагуванні з лікарської рослинної сировини (танін – з грецьких горіхів, олії – з насіння плодів шипшини, валеріани, листя скумпії).

Перспективним є застосування РПА в інших галузях промисловості для інтенсифікації та удосконалювання процесів. Так, РПА успішно використовується у технології видалення жирових, пігментних і смолистих домішок з біологічно активних речовин.

Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду, накопиченого в теорії і практиці РПА, вказує на усе більш зростаюче значення і використання цих ефективних перспективних апаратів у енерго- та матеріалозберігаючій технології, заснованій на їх застосуванні.

Конструкції **колоїдних млинів**, що мають промислове застосування, є різноманітними і часто залежать від конструкцій подрібнюючих частин (рис. 6.1.25). Найбільший інтерес для фармацевтичних виробництв представляють роторно-бильні (рис.6.1.26) і віброкавітаційні млини.

Побірднення в колоїдних млинах регулюється зазором між ротором та статормом.

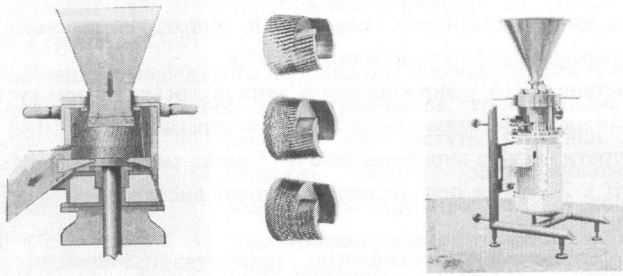


Рис. 6.1.25. Колоїдний млин і подрібнюючі частини

У роторно-бильному колоїдному млині (рис. 6.1.26) суспензія, що піддається подрібненню, подається через штуцер 8 у корпус 1, де проходить між білями 3, закріпленими на роторі 4, що обертається на валу 5, і контрударниками 6, закріпленими нерухомо в корпусі. Ряди бильв ротора розташовані між рядами контрударників корпусу. Подрібнений матеріал виходить зі штуцера 9. Якщо ступінь подрібнення суспензії недостатній, суспензія пропускається через млин повторно. Корпус подрібнювача можна охолоджувати. Призначена для цього рідина надходить через штуцер 2 і виводиться через штуцер 7.

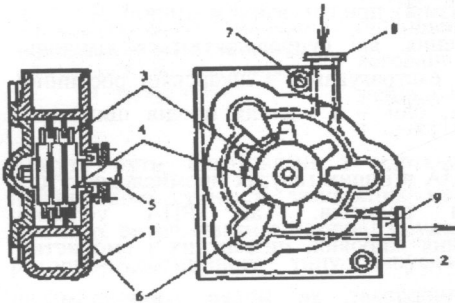


Рис. 6.1.26. Схема роторно-бильного колоїдного млина:

- 1 – корпус, 2 – штуцер подачі охолоджуючої рідини, 3 – білі, 4 – ротор, 5 – вал, 6 – контрударники, 7 – штуцер виводу охолоджуючої рідини, 8 – штуцер подачі суспензії, 9 – штуцер виводу подрібненого матеріалу.

Внаслідок високої швидкості руху бильв і частинок та їх зіткнень з контрударниками в млині розвивається значний кавітаційний ефект, тому такі млини іноді називають кавітаційними подрібнювачами. Вони можуть також використовуватися для одержання і гомогенізації емульсії. Продуктивність такого млина з діаметром ротора 200 і 800 мм і швидкістю обертання 3000-12000 об/хв складає до 100 кг суспензії на годину.

Віброкавітаційний колоїдний млин (рис. 6.1.27) складається зі статора 2 і ротора 3, що знаходяться в корпусі 1. На поверхні статора і ротора нанесені канавки 4, спрямовані вздовж циліндричної поверхні. Суспензія через штуцер 5 надходить у кільцевий зазор між статором і ротором і виходить через штуцер 6. При обертанні ротора на валу 8 зі швидкістю 18000 об/хв частинки суспензії,

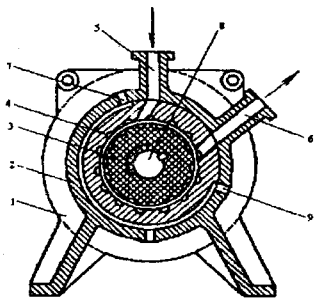


Рис. 6.1.27. Схема віброкавітаційного колоїдного млина:

- 1 – корпус, 2 – статор, 3 – ротор, 4 – канавка, 5 – штуцер подачі суспензії, 6 – штуцер для виходу суспензії, 7 – штуцер виводу охолоджуючої рідини, 8 – вал, 9 – штуцер подачі охолоджуючої рідини

Канавки ротора і статора спрямовані в протилежні сторони. Статор закріплений у корпусі за допомогою гайки 4. Матеріал надходить в апарат через лійку 7 розмішену в кришці 8. Він попадає в зазор між статором і ротором, подрібнюється і виводиться через штуцер 9. Зазор між статором і ротором може регулюватися за допомогою гайки 4. Величина зазору може бути до 0,05 мм. Ротор обертається з кутовою швидкістю до 105 м/с.

рухаючись від канавок ротора до канавок статора, роблять коливання великої частоти, що близькі до ультразвукових, і подрібнюються до розміру 1 мкм. Корпус млина можна охолоджувати. Охолоджуюча рідина проходить через штуцери 7 і 9. Продуктивність віброкавітаційного колоїдного млина з діаметром ротора 500 мм складає 500-700 кг суспензії на годину.

Конусний колоїдний млин (рис. 6.1.28) має статор 5 і конусний ротор 2, розташовані у корпусі 3. Ротор і статор мають на поверхні похилі канавки 6.

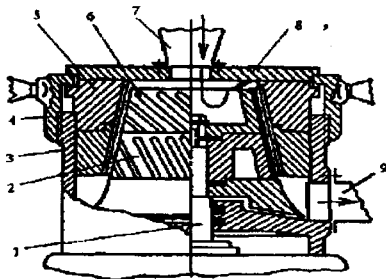


Рис. 6.1.28. Схема конусного колоїдного млина: 1 – вал, 2 – ротор, 3 – корпус, 4 – накидна гайка, 5 – статор, 6 – канавки, 7 – завантажувальна лійка, 8 – кришка, 9 – вихідний штуцер

### Просіювання сипучих матеріалів

Подрібнені матеріали завжди неоднорідні. Тому часто доводиться відокремлювати більші або дрібніші частинки від основної маси. Ця операція носить назву просіювання, або грохочення, і здійснюється за допомогою сит. Таким чином, *просіюванням, грохоченням або ситовою класифікацією* називається процес розділення суміші зерен різних розмірів за допомогою сит на дві або більше групи.

Класифікація використовується як допоміжна операція для попередньої підготовки матеріалу до подрібнення (видалення дріб'язку) або для повернення



великого матеріалу на повторне подрібнення, а також як самостійна стадія – для одержання готового продукту з визначеним зернистим складом у фітохімічному, таблетковому та інших виробництвах. Отже, подрібнення і просіювання у фармацевтичній технології використовуються в основному при виготовленні різних порошків, зборів, присипок, тощо.

Для достатньо точного визначення розмірів частинок, а це необхідно для оцінки якості подрібненого матеріалу, існують три види класифікації розділення матеріалів:

- *Повітряна сепарація.* Крупніші частинки в цьому випадку розташовуються внизу, менш великі – в центрі, дрібні – вгорі. Цей метод у фармацевтичній практиці застосовується дуже рідко.

- *Гідравлічна класифікація* – розділення частинок за швидкістю їх осідання (застосовується рідко).

- *Ситова класифікація* – розділення матеріалу на фракції за допомогою сит. Ситова класифікація є основним методом у фармацевтичній технології.

В результаті простого просіювання, тобто просіювання через одне сито, початковий матеріал ділиться на дві фракції:

- *просів* (нижній продукт) – матеріал, що пройшов крізь сито;
- *відсів* (верхній продукт) – матеріал, що не пройшов крізь сито і залишився на ньому.

На просіювання перш за все впливає продуктивність сита, тобто кількість просіву, отриманого з 1 м<sup>2</sup> поверхні сита за 1 год.

### **Механічне просіювання**

Ситові полотна є основною частиною машин для просіювання. Всі робочі поверхні сит ділять на дві групи (рис. 6.2.1):

- плетені або ткані з металевого дроту, шовкові, капронові або інших ниток;

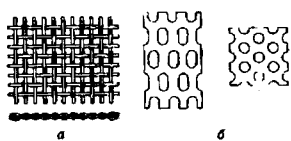


Рис. 6.2.1. Сита:  
а – плетене, б – штамповане.

- ті, які складаються з металевих, листів з штампованими в них отворами (перфорацією).

Перфоровані металеві листи можуть бути виготовлені з вуглецевої або легованої сталі, міді, латуні і т.д. Отвори в них можуть мати різний розмір і форму, наприклад: квадратну, прямокутну, багатокутну, круглу і ін. При цьому для підвищення продуктивності сумарна поверхня, що приходить на отвори, повинна бути по можливості максимальною. Кожна ситова полотно характеризується номером і перетином отвору в світлі у міліметрах.

Сітки і тканини мають переважно квадратні отвори. Якщо дріт або нитки недостатньо міцно скріплюються між собою, то сітки і тканини дуже швидко виходять з ладу внаслідок того, що частина ниток збивається впритул, за рахунок чого порушується первинність розмірів отворів. Щоб уникнути цього, дротяні сітки піддають після їх виготовлення пресуванню під великим тиском, завдяки чому місця переплетення злегка зминаються і закріплюються. Якщо сітка виготовлена з тонкого дроту і не може витримати ваги матеріалу, що просіюється, то під неї підкладають іншу, міцнішу і з крупнішими отворами.

При застосуванні металевих сіток з тонкого дроту необхідно звертати особливу увагу на їх зношуваність, оскільки вони легко рвуться, внаслідок чого шматочки дроту можуть потрапити в препарат. Тому сита з сітками з тонких дротів застосовувати не рекомендується.

Класифікують сипучі матеріали за допомогою набору сит з послідовно зменшуваним розміром отворів.

Для виконання ситового аналізу на зазначених ситах просіюють середню пробу матеріалу. Потім матеріал і частинки, які залишилися на кожному ситі, що пройшли через нижнє сито, зважують. Відношення отриманих кількостей до вихідної наважки речовини дає вміст різних фракцій зерен у матеріалі.

На продуктивність просіювання впливають наступні чинники:

1. *Форма і розмір отворів сита.* У кожному конкретному випадку отвори треба підбирати так, щоб вони відповідали формі частинок матеріалу, що просіюється. Наприклад, частинки кулястої форми легше проходять через тканини з круглими отворами, а частинки довгастої форми – через такі отвори не проходять або проходять важко, але через довгасті отвори вони відсіваються значно легше. При цьому необхідно врахувати, що перфоровані листи матеріалу, що просіюється під тиском, прогинаються, внаслідок чого отвори змінюють свою конфігурацію і стають меншими за номінальні.

2. *Товщина шару матеріалу на ситі.* Цей чинник має велике значення, оскільки при товстому шарі дрібні частинки, що знаходяться вгорі, не можуть контактувати з отворами, оскільки поверхня тканини вкрита крупнішими частинками. Тому вигідно подавати матеріал на сито малими порціями або рівномірно і поступово видаляти матеріал, що не пройшов через нього.

3. *Довжина шляху.* Чим довшим є шлях ковзання матеріалу, що просіюється, по робочій поверхні сита, тим більшою стає ймовірність попадання дрібних частинок в отвори і тим ефективнішим є процес просіювання.

4. *Вологість матеріалу.* Дрібні частинки вологого матеріалу прилипають до більших, утворюючи при цьому грудки, які не відсіюються і залишаються на ситі. Крім того, дуже вологий порошок може «заклеїти» отвори робочої

поверхні сита. Якщо порошки здатні поглинати вологу з повітря, то їх необхідно заздалегідь висушити. Просіювання при цьому проводять невеликими порціями в умовах повної герметичності. Відсіяний матеріал треба відразу висушити і помістити в ретельно закриті ємності.

5. *Швидкість руху матеріалу на ситі.* Якщо швидкість незначна, то тим менша кількість частинок за одиницю часу потраплятиме на отвори і відсіватиметься. При надмірно швидкому русі частинки пролітатимуть над отворами. Тому у кожному окремому випадку потрібно встановити такий темп роботи, щоб продуктивність сита була максимальною.

6. *Характер руху матеріалу.* При вільному і спокійному русі матеріалу по робочій поверхні сита дрібні частинки можуть залишитися у верхніх шарах і, не контактуючи з отворами, потрапити у відхід. Внаслідок цього необхідно матеріал, який просіюється, періодично струшувати, щоб верхні шари переходили в нижні.

7. *Форма частинок матеріалу.*

8. *Кратність просіювання.*

Продуктивність сит характеризується ККД, тобто відношенням маси зерен, що пройшли через сито, до маси зерен такого ж розміру у вихідній суміші.

### **Механізми для механічного просіювання**

Для сортування матеріалів необхідно забезпечити його рух по поверхні ситової площини. Воно може створюватися зворотно-поступальними рухами, обертанням або вібрацією. Механізми з плоскими ситами мають зворотно-поступальний або круговий поступальний рух.

Залежно від конструкції механізмів, які використовують для цієї мети, сита поділяють на наступні основні типи:

- грохоти (коливальні);
- вібраційні;
- барабанні.

#### ***Грохоти***

*Похилі грохоти.* Зворотно-поступальний рух похилих грохотів, які широко застосовуються у фармацевтичній промисловості, здійснюється кривошипно-шатунним або ексцентриковим механізмом. При заданій частоті коливань сита частинки підкидаються, що сприяє розшаруванню матеріалу, підвищується продуктивність просіювання та запобігається забивання сита.

Найбільш проста конструкція з одним ситом показана на рис. 6.2.2. Встановлене на роликах в злегка похилому положенні (2-4°), сито, за допомогою колінчастого валу, здійснює поступально-поворотний рух уздовж двох направляючих. Число коливань складає від 50 до 200, амплітуда коливання – до 200 мм. Більш досконаліми є коливальні грохоти, в яких короб з ситом здійснює поступально-зворотній рух, у підвишеному стані на шарнірних підвісах (а), або за допомогою шарнірних чи кривошипних опор (б), або при поєднанні тих та інших (в).

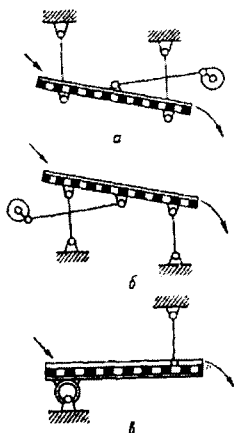


Рис. 6.2.2. Похилі грохоти

Значно зручнішими у використанні є грохоти, що складаються з 2-3 сит, які можуть компонуватися за висотою або довжиною. Наприклад, порізане коріння і кореневища валер'яни, перед приготуванням з них настоянки, доцільно пропустити через грохот з двома ситами, встановленими послідовно. Сировина із завантажувальної воронки спочатку поступає на дрібніше сито, яке пропускає тільки частинки розміром меншим за 0,5 мм (пил і незначну кількість порошку валер'яни). Просіяний таким чином матеріал переходить на наступне сито, яке пропускає всі частинки, що мають розміри менший за 3 мм. Крупніші частинки скидаються з кінця сита і поступають на додаткове подрібнення.

**Плоскі грохоти** зі зворотно-поступальним рухом застосовуються для просіювання гранул у таблетковому виробництві та фітохімічних цехах, для одержання подрібненого рослинного матеріалу. Схему плоского грохоту представлено на рис. 6.2.3. Він складається з прямокутного жолоба 1 і сита 2, встановленого під кутом 7-14° до горизонту. Жолоб робить коливання від ексцентрикового механізму 3, вал якого робить 300-400 об/хв. У результаті нахилу і коливання сита матеріал переміщається по ньому і сортується. Ширина жолоба - 400-700 мм, товщина шару матеріалу на ситі - близько 20-30 мм.

Просіювання можна робити через одне сито або послідовно через кілька сит. Багатократне просіювання (рис. 6.2.4) проводиться 3-ма способами:

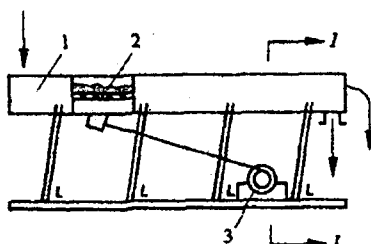


Рис. 6.2.3. Плоский хитний грохот  
1 – жолоб, 2 – сито, 3 – ексцентриковий механізм

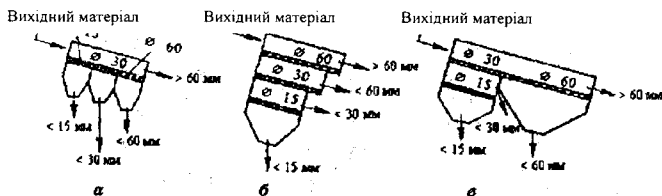


Рис. 6.2.4. Способи грохочення:

а – від дрібного до великого, б – від великого до дрібного, в – комбінований

- від дрібного до великого – через розташовані в одній площині сита, розміри отворів яких збільшуються від попереднього сита до наступного (рис. 6.2.4, а).

Просіювання від дрібного до великого має наступні *переваги*: зручність спостереження за ситами, ремонту і заміни сит (при їх швидкому зношуванні); мала висота грохоту; зручність розподілу сортів продукту по сховищах. *Недоліки*: недостатня чіткість поділу матеріалу на класи; перевантаження і підвищене зношування сит (особливо дрібних); велика довжина грохоту.

- від великого до дрібного – через розміщені одне над одним сита, розміри отворів яких зменшуються від верхнього сита до нижнього (рис. 6.2.4, б).

*Переваги* такого просіювання: краща якість просіювання, завдяки відсіюванню в першу чергу більш великих частинок; мале зношування сит з цієї причини. *Недоліки*: складність ремонту і заміни сит; велика висота грохоту; незручність відводу готового продукту.

Недоліки перших двох способів можна подолати при просіюванні комбінованим способом.

- комбінованим способом (рис. 6.2.4, в).

### Вібраційні сита

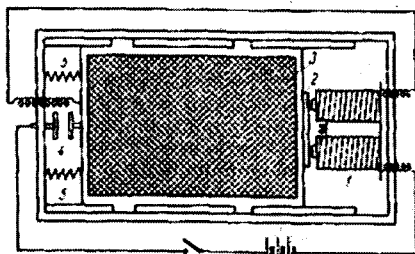


Рис. 6.2.5. Електромагнітне вібраційне сито

Вібраційні сита підрозділяються на *електромагнітні, гіраційні і інерційні*. Вібраційні сита особливо ефективні при просіюванні дрібних порошків, оскільки віброуючі рухи запобігають забиванню отворів ситової тканини. На рис. 6.2.5 приведена схема пристрою *електромагнітного вібраційного сита*, в якому поступально-зворотній

рух сита 3 здійснюється за рахунок періодичного намагнічування і розмагнічування якоря 2, прикріпленого до сита. При пропусканні струму електромагніт 1 притягує якір і разом з ним сито. Але цей рух вправо спричиняє за собою розмикання контактів 4. Зворотний рух (вліво) сито здійснює вже за допомогою могутніх пружин 5.

Відбувається замикання контактів і якір знов тягне сито вправо: виникає розмикання і пружини тягнуть сито на старе місце і т.д. Число вібрацій у такого сита перевищує 200, амплітуда коливань до 3 мм.

**Гіраційні (ексцентрикові) грохоти.** Гіраційні сита отримали назву від гіраційного приводу. Виготовляються вони з одним, двома і трьома ситами різних розмірів. Гіраційне сито, яке зображене на рис. 6.2.6, складається з коробки з ситами 3, який кріпиться за допомогою пружинних опор 2 на опорній рамі 1. Привідний механізм складається з ексцентрикового валу 4, якому надається рух шківом 6. На валу закріплено два маховики 5 з балансуючими вантажами. Маховики з противагами врівноважують сили вібрації.

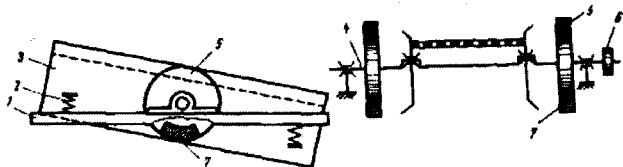


Рис. 6.2.6. Схема гіраційного грохоту

При обертанні ексцентрикового валу, короб з ситами отримує кругові рухи, які направлені назустріч потоку матеріалу, що сприяє його кращому сортуванню. За рахунок швидкохідності гіраційних грохотів їх часто підвищують на тягах з амортизаторами до стельових балок.

**Переваги** гіраційних грохотів: врівноваженість будови і плавна робота при рівномірному русі короба з речовиною по круговій траєкторії; висока продуктивність; якісне сортування матеріалу.

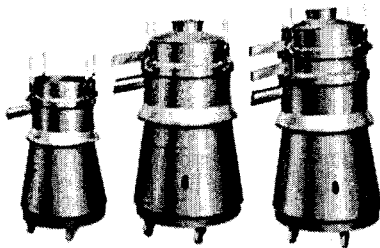


Рис. 6.2.7. Вібросита з одним, двома і трьома ситами

**Вібросита**, що зображені на рис. 6.2.7, складаються з бункера, вібруючих сит (одного, двох або трьох), зчеплення і двигуна. Вібруючі сита розташовані на ексцентриці, гумовій частині, шпінделі. Коли ексцентрична вага передається до середньої лінії шпінделя обертами двигуна, це створює відцентрову силу і матеріал вимушений формувати правильний вихор всередині.

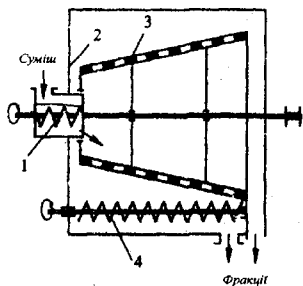


Рис. 6.2.9. Бурат:  
1 – шнек-підживлювач; 2 – кожух;  
3 – конічне сито; 4 – шнек

чіткість поділу частинок і мале споживання електроенергії в порівнянні з іншими грохотами.

Схема інерційного вібраційного грохоту представлена на рис. 6.2.8. Короб 1 і сито грохоту 2 кріпляться на пружинах 3. При обертанні валу 4 із двома шківів 5, що мають неврівноважені вантажі 6, створюються відцентрові сили інерції, під впливом яких корпус надається 900-1500 вібрацій у хвилину з амплітудою коливань від 0,5 до 12 мм.

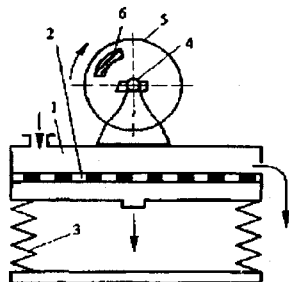


Рис. 6.2.8. Інерційний грохот.  
1 – короб; 2 – сито; 3 – пружини;  
4 – вал; 5 – шків; 6 – дебаланс

### Барабанні грохоти (бурати)

Бурати є барабанами з ситовою поверхнею, що обертаються, і встановлюються під кутом 3-8°. Матеріал для просіювання, потрапивши всередину барабану, проходить через отвори сита, а крупніші частинки і відходи переміщуються вздовж барабану і висипаються з нього в іншому кінці. Барабан розташований в кожусі. Бурати можуть бути з одним або 2-3 ситовими поверхнями. Приводяться барабани в рух за допомогою зубчатої або фрикційної передачі. В останньому випадку барабан встановлюється на ролики, які обертаються. Є конструкції бурату всередині з щітковими пристосуваннями, які значно прискорюють процес просіювання. Бурати обертаються з швидкістю від 10 до 25 об/хв.

На рис. 6.2.9 представлений бурат з конічним барабаном. Продуктивність бурату збільшується з підвищенням швидкості обертання, але внаслідок відцентрової сили, що виникає при обертанні, сипучий матеріал, притискаючись до стінок барабану, обертається разом з ним. Число обертів

барабану, коли матеріал буде обертатися разом з ним, розраховується з умов рівноваги частинок, що знаходяться під впливом сили тертя та відцентрової сили.

*Переваги барабанних грохотів:* простота конструкції та обслуговування; рівномірне обертання. *Недоліки:* мала продуктивність на одиницю поверхні сита; сильне подрібнення матеріалу; високе пилоутворення; легкість забивання сит; велика витрата металу на виготовлення апарату.

### ***Пневматичне та гідравлічне сортування***

Пневматичне і гідравлічне сортування засноване на виділенні в потоці повітря або води супутніх речовин, що за щільністю, розміром і формою не однакові в порівнянні з основним матеріалом.

Головні умови, при яких насіння очищається від лушпайок в потоці повітря: для лушпайки  $P > G$  і для насіння  $G > P$ , де  $P$  – сила струменю повітря,  $G$  – сила ваги частинок.

Пневматичне сортування гранульованих матеріалів здійснюється за допомогою аспіраційних стовпчиків і зернових сепараторів. Гідравлічне сортування застосовується для відділення піску, каменів та інших домішок від бульбін, коренів лікарського рослинного матеріалу, що рухається на гідравлічному транспортері у фітохімічному та іншому виробництвах. Такі класифікатори складаються з нерухомого корита і безперервнодіючого транспортного пристрою для збору і видалення пісків та більших частинок, що осаджуються та можуть повторно подаватися на доподрібнення.

**Спіральний класифікатор**, представлений на рис. 6.2.10. Апарат складається з похилого корита 1, з насадженої на вал спіралі 2, яка частково занурена в рідину, і високого порогу 3, через який видаляється суспензія дрібних частинок. Піски осідають у нижній частині корита і за допомогою спіралі, що робить 2-3 об/хв, переміщуються у верхню частину корита, звідки вивантажуються. При цьому обертова спіраль перемішує суспензію і піски, що забезпечує відділення дрібних частинок від пісків.

З метою одержання дуже тонких зливів, що мають дуже дрібні частинки, і досягнення високої продуктивності застосовують спіральні класифікатори, у яких велика частина спіралі занурена в

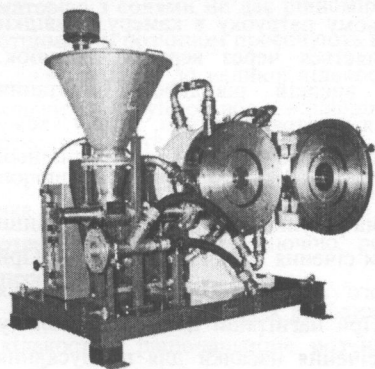


Рис. 6.2.11. Спіральний струменевий млин з вбудованим класифікатором



суспензію, а також чашеві класифікатори.

На даний час розроблено спіральний струменевий млин фірми *ConJet*, який оснащений вбудованим класифікатором (рис. 6.2.11.). Така комбінація дозволяє отримувати продукт із заданою дисперсністю незалежно від завантаження та з максимально можливою продуктивністю.

В якості відцентрових класифікаторів застосовують гідроциклони і центрифуги.

**Гідроциклон** (рис. 6.2.12) складається з нерухомого корпусу, нижньої (конічної) і верхньої (циліндричної) частин. Суспензія, яку розділяють, нагнітається насосом (або подається самопливом за рахунок напору стовпа суспензії) під надлишковим тиском 0,3-2 атм через бічний патрубок у циліндричну частину корпусу.

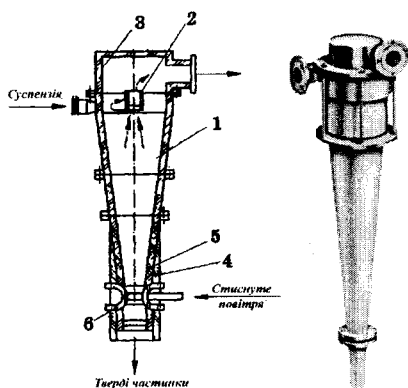


Рис. 6.2.12. Гідроциклон:

- 1 – корпус, 2 – центральний (шламовий) патрубок,
- 3 – камера, 4 – піскова насадка, 5 – гумова прокладка,
- 6 – гумовий манжет

Суспензія надходить у корпус по дотичних і починає в ньому обертатися. При обертанні потоку з високою кутовою швидкістю великі тверді частинки під впливом відцентрових сил відкидаються до стінок гідроциклону. Біля стінок вони рухаються по спіральній траєкторії до низу апарату. Піски видаляються через насадку 4. Більш дрібні частинки та основна частина рідини рухається у внутрішньому спіральному потоці навколо шламового патрубку 2 і у вигляді тонкої суспензії піднімається по цьому патрубку в камеру 3, звідки видаляється через верхній патрубок. При високій швидкості обертання

потоку вздовж осі гідроциклону утворюється повітряний стовп, тиск у якому нижчий за атмосферний. Зазначене повітряне ядро обмежує з внутрішньої сторони потік дрібних частинок у гідроциклоні.

Роздільну здатність гідроциклону можна регулювати за рахунок глибини занурення шламового патрубку 2 та розміром січення піскової насадки 4. При цьому або застосовуються насадки різного січення, або передбачається можливість регулювання січення насадок. При нагнітанні повітря або олії у кільцеву порожнину гумового манжета 6 січення насадки для пропускання матеріалу зменшується. Зазначеним способом можна автоматично регулювати роботу гідроциклону. З метою зменшення зносу, корпус гідроциклону

футерують зсередини марганцевим чавуном або іншим матеріалом. Застосовують також гумування корпусу. Від класифікаторів інших типів гідроциклони відрізняються відсутністю деталей, що рухаються. Перед механічними класифікаторами гідроциклони мають наступні *переваги*: більш тонку сепарацію в порівнянні з механічною класифікацією; велику щільність зливу; відсутність флокуляції (злипання) частинок.

## Змішування твердих матеріалів

Перемішування і змішування твердих матеріалів широко застосовується на фармацевтичних та біотехнологічних підприємствах при виготовленні зборів лікарських рослинних, для одержання таблеткової маси та опудрювання гранул у виробництві таблеток, при сушінні та ін.

В залежності від фізико-хімічних властивостей речовин, які змішують, їх кількісного співвідношення, загальної кількості отримуваної суміші та деяких інших чинників процес змішування, в тій чи іншій мірі, видозмінюється. Тому існують деякі загальні правила щодо цього процесу:

- всі речовини, що входять до складу суміші, повинні бути заздалегідь подрібнені до необхідного ступеня і просіяні;
- найбільш простим і легким способом змішування є такий, при якому до складу суміші входять речовини приблизно в рівних кількостях, однакової величини і близької питомої ваги. Всі ці інгредієнти засипають у змішувач і проводять перемішування до отримання однорідної суміші;
- якщо за вказаних умов питома вага змішуваних порошків різна, тоді тривалість перемішування збільшується;
- якщо в деяких випадках, наприклад при приготуванні зборів, рослинний матеріал з солями не дає рівномірної і стійкої суміші, тому солі розчиняють і отриманим розчином просочують всі рослинні матеріали;
- якщо ж до великої кількості одних речовин потрібно додати незначну кількість отруйної або сильнодіючої речовини, то, спершу, необхідно цю речовину ретельно змішати з одним з інгредієнтів або індиферентною порошокподібною речовиною. Спочатку в змішувач завантажують речовину, яка є в найбільшій кількості, а потім до неї додають одержану суміш з отруйною або сильнодіючою речовиною, після чого проводять ретельне перемішування;
- в деяких випадках речовини, що входять до складу суміші в невеликих кількостях, раціональніше розчинити. Тоді отриманий розчин змішують з рештою інгредієнтів;

- якщо змішувані речовини вступають у хімічну реакцію одна з одною, то їх необхідно заздалегідь привести в такий стан, щоб цієї взаємодії не відбувалося;

- невеликі кількості ефірних масел додають до порошків майже так само, як і отруйні та сильнодіючі речовини, тобто їх спочатку змішують з невеликою кількістю порошку або готують розчин. Після цього отриману суміш або розчин додають до решти порошку і ретельно перемішують.

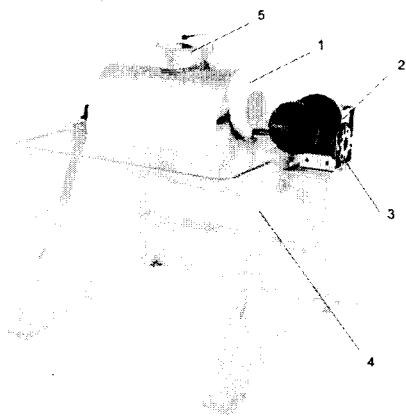
- в'язкі олії і жири змішують в підігрітому змішувачі. Спочатку в змішувач подають невелику кількість порошку, потім поступово жир або олію, а також решту інгредієнтів, після чого суміш ретельно перемішують.

- часто до порошку необхідно додати рідину, наприклад, розчин барвника, настоянку, тощо. Спочатку змішують цю рідину з невеликою кількістю порошку, а потім суміш розбавляють все більшими і більшими кількостями порошку, тоді всю суміш просіюють.

Для змішування застосовують пристрої барабанних, шнекових та лопатевих типів.

### *Змішувачі барабанного типу*

Для змішування сухих порошків застосовують різного роду барабани. Вони можуть бути циліндровими, чотирих- або багатограними, з лопатями або без них. До циліндрових барабанів належать так звані кульові млини, але без куль або з невеликою кількістю полегшених куль. Такому змішувачу надають менше число обертів, ніж при подрібненні.



*Рис. 6.3.1. Змішувальний барабан:  
1 – змішувач, 2 – редуктор, 3 – електродвигун,  
4 – опорна стійка, 5 – завантажувально-  
вивантажувальний люк*

Перемішування сипучих матеріалів у барабанах досягається при їх обертанні. Для збільшення ефективності перемішування всередині барабанів встановлюють насадки у вигляді різних перегородок, полиць або гвинтової спіралі на внутрішній поверхні стінки. Барабанні змішувачі застосовують для періодичного і безперервного змішування сухих порошкоподібних матеріалів.

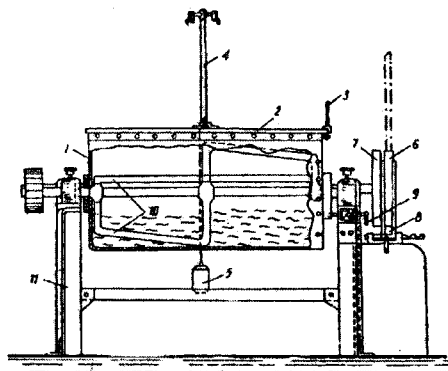
На рис. 6.3.1 представлено найпростіший змішувальний барабан, до складу якого входить ємність 1 на 200 л чотирикутної форми, всередині неї є відбійники, що сприяють

перемішуванню і розпушуванню матеріалів, які змішуються. Завантаження і вивантаження здійснюється періодично через люк 5. Змішувач обертається навколо горизонтальної осі за допомогою електричного двигуна 3 зі швидкістю 28 об/хв.

### *Змішувачі шнекового типу*

Для змішування вологих порошоків або порошоків з невеликою кількістю рідини застосовують спеціальні змішувачі. Зазвичай вони складаються з коритоподібного корпусу, в якому обертається один або два вали з лопатями різної конструкції. Для безперервного змішування сипучих і пластичних матеріалів використовують одновальцеві і двохвальцеві шнекові змішувачі.

**Одновальцевий шнековий змішувач** для сипких матеріалів представлений на рис. 6.3.2. Він складається з коритоподібного корпусу, всередині якого є місильні лопаті, прикріплені до горизонтального валу, що обертається. Для полегшення вивантаження вологого порошку корито може повертатися навколо горизонтальної осі. Корито 1 закривається щільно кришкою 2, яка притискається рукоякцю 3. Під час вивантаження матеріалу кришка за допомогою тросу 4 і противаги 5 весь час знаходиться у відкинутому положенні. Ремінь з холостого шківів 6 можна перевести на робочий шків 7 важелем 8. У перекинутому стані змішувач утримується стопором 9. Перемішування матеріалу проводиться лопатями 10. Весь змішувач опирається на станину.



*Рис. 6.3.2. Одновальцевий шнековий змішувач*

**Двохвальцевий шнековий змішувач** (рис. 6.3.3) складається з горизонтального корита 1, у якому з різною швидкістю обертаються два рівнобіжних вали 2 з лопатями.

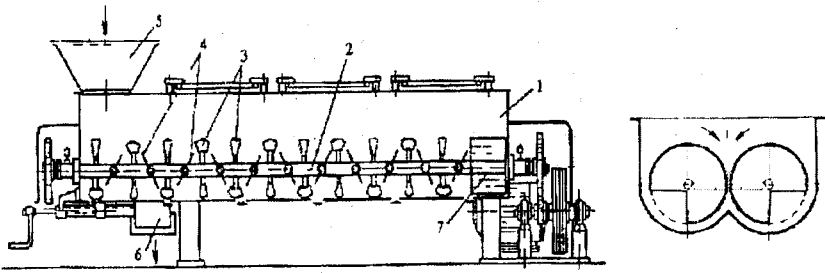


Рис. 6.3.3. Двохвальцевий шнековий змішувач:

1 – корито, 2 – вал, 3 – лопатка, 4 – транспортуючі лопатки, 5 і 6 – лійки, 7 – лопатеве колесо

На валах розміщені по черзі прямі лопатки 3 для перемішування і транспортуючі лопатки 4, вигнуті по гвинтовій лінії. Маса, що перемішується, надходить через лійку 5 і, перемішуючись, рухається уздовж переднього вала 2, а потім переміщується лопатевим колесом 7 на задній вал і переміщується в зворотньому напрямку вздовж нього. Готова маса вивантажується через лійку 6.

### **Змішувачі лопатевого типу**

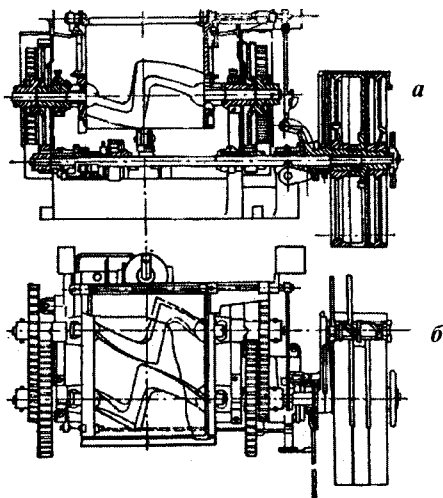
Для змішування вологих порошоків або порошоків з невеликою кількістю рідини застосовують спеціальні змішувачі. Зазвичай вони складаються з коритоподібного корпусу, в якому обертається один або два вали з лопатями різної конструкції.

На рис. 6.3.4 приведено схему змішувача з двома місильними валами. Такі змішувачі застосовують і для інших цілей; тому їх називають універсальними. Для того, щоб уникнути «мертвих» просторів, яких не досягають лопаті валів, що обертаються, і де можуть затриматися не перемішані грудки порошоків та допоміжних речовин, днище корита виготовлене у формі двох напівциліндричних поверхонь. Вони сполучені між собою по дотичній і своїми розмірами відповідають колу, яке описується крайніми точками місильних валів. Бічні сторони корпусу плоскі.

Корпус забезпечений відкидною кришкою, яка має винесені убік вантажі-противаги, що полегшують її піднімання. Змішувач обладнаний спеціальним запобіжним замочним пристосуванням, не дозволяє підняти кришку, коли вали знаходяться в русі.

Вказані вали називають часто сигмоподібними, бо вони є складною просторовою фігурою, що нагадує грецьку букву сигму, скручену у вертикальному напрямку гвинтоподібно.

Вали обертаються за допомогою зубчатих передач від привідного валу, що розташований в передній частині змішувача та обертається на підшипниках. Для кращого перемішування матеріалу і вивантаження з корита, валам надають зворотній напрям обертання. Вали обертаються з різною швидкістю: передній (швидший) здійснює 17,5-24 об/хв, а задній (повільний) – 7,9-10,8 об/хв; їх швидкості відносяться між собою як 20:9, що досягається відповідним підбором шестернів на валах. Перемішування маси здійснюється її перетиранням між лопатями і стінками корита.



*Рис. 6.3.4. Змішувач з сигмоподібними лопатями:  
а – загальний вигляд збоку, б – конструкція сигмоподібного змішуючого валу  
(вигляд зверху)*

Для вивантаження вологої маси порошоків корпус може повертатися навколо горизонтальної осі, що утворюється опорними втулками переднього валу. Ці змішувачі можна обладнати подвійними стінками для нагрівання або охолодження суміші.

Останнім часом створено конструкції швидкохідних змішувальних апаратів. У них використаний принцип інтенсивної циркуляції матеріалів, що змішуються, у розпиленому стані.

### **Механізми для переміщення твердих матеріалів**

У фармацевтичному та біотехнологічному виробництвах необхідно переміщати різні матеріали або вже упакований продукт в горизонтальному,

вертикальному чи будь-якому іншому напрямку. Для переміщення в межах цеху або заводу використовуються головним чином *конвеєри* – підйомно-транспортні механізми, які забезпечують безперервний рух матеріалу в одному напрямку. Одночасно з цим конвеєри можуть розподіляти матеріали по заданих місцях, перемішати за технологічними операціями та забезпечувати необхідний режим виробничого процесу.

Конвеєри *класифікують*: за характером рушійної сили та конструкцією; за галуззю застосування; за способом передачі рушійної сили сировині, що переміщається; за видом матеріалів, які переміщують; за призначенням та розташуванню у виробничій зоні.

*За характером рушійної сили та конструкцією* конвеєри поділяють на дві групи: машини з тяговим елементом (стрічкові, пластинчасті, скребкові, підвісні конвеєри та елеватори) та без нього (гвинтові, інеційні, роликіві конвеєри, установки пневматичного та гідравлічного транспорту). В залежності від галузі застосування розрізняють машини загального призначення (наприклад, стрічкові транспортери) та спеціальні (наприклад, конвеєри для покрової подачі ампул).

*За способом передачі рушійної сили матеріалу*, який пересувається розрізняють машини, які діють за допомогою механічного приводу, самоплинної пристрої, в яких матеріал переміщається під дією власної сили тяжіння, пристрої пневматичного та гідравлічного транспорту.

*За призначенням та розташуванням у виробничій зоні* розрізняють машини стаціонарні, переносні та рухомі. Крім того, за напрямком переміщення матеріалу розрізняють: механізми для горизонтального переміщення; механізми для вертикального (крутопохилого) переміщення; механізми для змішаного переміщення.

Періодичне транспортування проводиться за допомогою вагонеток, підйомників, кранів, автокарів і інших механізмів. Далі будуть розглянуті тільки основні пристрої безперервного транспорту (для переміщення твердих і сипучих матеріалів і виробів).

### ***Конвеєри з гнучким тяговим елементом***

До них відносяться наступні транспортери: стрічкові, пластинчасті, скребкові, підвісні.

**Стрічковими конвеєрами** називають машини безперервного транспортування матеріалу, тяговим елементом яких є гнучка стрічка. Суттєвою перевагою цих конвеєрів є значна продуктивність. Завдяки простоті конструкції та експлуатації, зручності контролю роботи та автоматизації

керування вони мають високу надійність. До *недоліків* стрічкових транспортерів відноситься висока вартість стрічки та роликів.

Стрічкові транспортери класифікують за: *формою траси* – прості з прямолінійною ділянкою та складні з ломаною трасою; *напрямоком руху матеріалу* – на під'йомні з нахилом вгору та спускові з нахилом вниз; *нахилом траси* – на горизонтальні, похилі, крутопохилі та вертикальні.

**Стрічковий транспортер** (рис. 6.4.1, 6.4.2) складається з стрічки 1, яка не має ні початку, ні кінця. Стрічка натягнута на два барабани 2, один із яких приводиться в обертання за допомогою редуктора 3. Стрічка лежить на опорних роликах 4. Для завантаження матеріалу є бункер 5. Стрічковий транспортер виготовляється з бавовняної тканини, гуми або з тонкої листової сталі. Розвантаження може бути здійснено шляхом скидання матеріалу наприкінці транспортера або в будь-якому місці по мірі руху стрічки за допомогою скидального ножа або інших пристосувань.

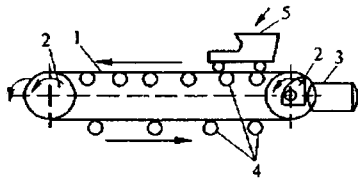


Рис. 6.4.1. Схема стрічкового транспортеру:

- 1 – стрічка, 2 – барабани, 3 – редуктор з електродвигуном, 4 – опорні ролики, 5 – бункер для завантаження матеріалів.

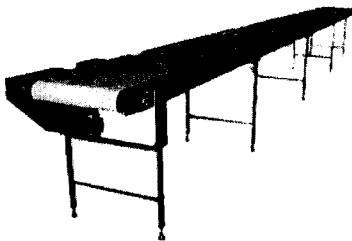


Рис. 6.4.2. Стрічковий транспортер

Скидальний ніж – це шкребок, що припиняє рух матеріалу і скидає його зі стрічки. Скидальний ніж закріплюється нерухомо або монтується на візку. Стрічкові транспортери використовуються для горизонтального або слабонахилоного (під кутом до  $22^\circ$ ) переміщення сипучих і штучних вантажів при довжині транспортування до 150-200 м. Швидкість руху стрічки для сипучих

матеріалів – від 0,5 до 2 м/с. Для штучних вантажів застосовують швидкість руху 0,5-0,8 м/с. Ширина стрічки – 400, 500, 650, ..., 1200 і 1400 мм.

**Пластинчасті транспортери** за будовою подібні до стрічкових транспортерів. Вони бувають стаціонарні та пересувні з власним приводом, а також вбудовані в технологічні машини з приводом від цих машин. За конфігурацією траси дані транспортери бувають горизонтальні, похилі та комбіновані.



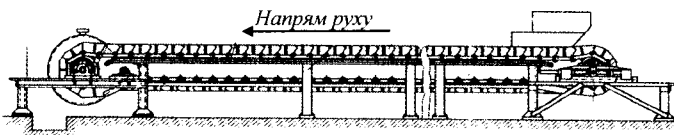


Рис. 6.4.3. Пластинчастий транспортер

**Пластинчастий транспортер** (рис. 6.4.3) складається також з нескінченної стрічки шарнірних ланцюгів, до яких прикріплені пластини, що переміщують матеріал. На шарнірах ланцюгів розташовані ролики, які переміщуються по направляючих, що прикріплені до станини транспортера. Ланцюги транспортера обгинають зірочки, з яких одна – привідна, а інша – натяжна.

Завантаження матеріалу може здійснюватися в будь-якій точці по довжині стрічки, вивантаження відбувається з боку приводної зірочки. Для переміщення сипучих матеріалів пластини забезпечуються бортами. Якщо на пластинках поставлені поперечні перегородки, тоді кут нахилу стрічки до горизонту може бути  $\sim 30-45^\circ$ . Довжина стрічки – до 150 м. Швидкість руху стрічки - у межах 0,2-0,6 м/с. Пластинчасті транспортери використовуються для переміщення крупнокускових матеріалів, що мають високу температуру, а також для переміщення під великим кутом.

**Скребковий транспортер** (рис. 6.4.4) складається з нерухомого жолоба 1, у якому переміщається нескінченний ланцюг 2 із закріпленими на ньому шкребками 3. Ланцюг приводиться в рух за допомогою приводної зірочки 5, натяжним є зірочка 7. На шарнірах ланцюга закріплені ролики 4, що котяться по направляючій 6.

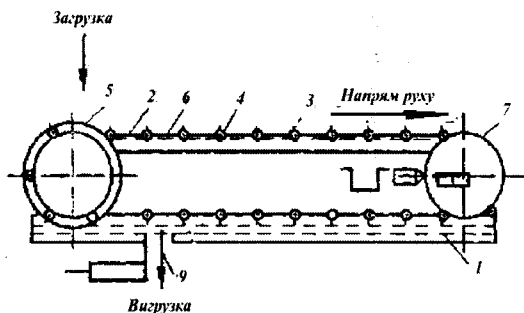


Рис. 6.4.4. Скребковий транспортер:

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

Скребокві транспортери в порівнянні зі стрічковими мають наступні *переваги*: простота і дешевизна; зручність завантаження і розвантаження матеріалу в будь-якій точці; великий кут нахилу до горизонту ( $45^\circ$ ). *Недоліки*: підвищена витрата енергії; великий знос; руйнування матеріалів, що транспортуються.

Скребокві транспортери використовуються для переміщення дрібнокускових і порошкоподібних матеріалів на відстань не більш 60 м. Швидкість руху транспортера – близько 0,25-0,75 м/с.

**Елеватори (норії)** мають гнучкі тягові органи (ланцюги, стрічки, канати), що огинають приводні і натяжні елементи (зірочки, барабани, блоки). До гнучких тягових елементів кріплять грузонесучі органи: ковші, полиці, люльки. Крім того, до складу елеваторів входить привід, натяжний, завантажувальний і розвантажувальний пристрої, а також кожух, що закриває рухомі частини. Приводи оснащують стопорними пристроями для усунення небезпеки зворотного руху тягового органу під дією сили тяжіння вантажу, що піднімається, при виключенні двигуна.

За способом переміщення вантажів елеватори відносяться до грузонесучих конвеєрів, що переміщують порції насипного вантажу або поштучні вантажі за допомогою грузонесучих органів: ковшів, полиць або люльок.

За видом вантаженесучого елемента розрізняють наступні типи елеваторів: ковшові, люлькові і поличкові. Ковшові елеватори служать для підйому насипних вантажів, а люлькові і поличкові – для підйому поштучних.

За видом тягового елемента розрізняють стрічкові і ланцюгові ковшові елеватори. Останні за числом ланцюгів, до яких кріпляться ковші, розділяють на одно- і двохланцюгові.

За розташуванням в просторі елеватори бувають вертикальні (рис. 6.4.5, а) і похилі (кут нахилу  $60-80^\circ$  до горизонту). Похилі елеватори можуть бути з вільнозвисаючою (рис. 6.4.5, б) або рухомою по направляючих ролюкоопорах холостою гілкою. Робоча гілка стрічкових похилих елеваторів опирається на стаціонарні ролики, а робоча гілка ланцюгових похилих елеваторів може спиратися, як на стаціонарні ролики, так і на направляючі шини, при наявності ходових катків ланцюга.

За способом завантаження і розвантаження ковшів елеватори розділяють на швидкохідні, з розвантаженням як правило під дією відцентрової сили, і тихохідні з розвантаженням ковшів в основному під дією сили тяжіння.

За розташуванням ковшів на тяговому органі розрізняють елеватори з розставленими ковшами (рис. 6.4.5, в), тобто розташованими на деякій відстані один від одного і зімкнутими ковшами (рис. 6.4.5, г), тобто розташованими

впритул один до одного. Вибір того або іншого способу розташування ковшів обумовлюється головним чином характеристикою вантажів, що транспортуються, що зумовлює спосіб завантаження і розвантаження ковшів.

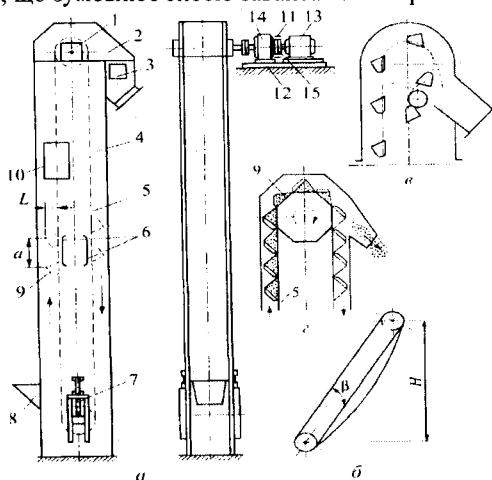


Рис. 6.4.5. Ковшові елеватори

Елеватори з розставленими ковшами застосовують для транспортування мілкофракційних вантажів і часто виготовляють швидкохідними. Ковші таких елеваторів розвантажуються переважно під дією відцентрової сили. Елеватори із зімкнутими ковшами призначені для підйому крупнокускових і абразивних вантажів.

Для підйому насипних вантажів призначені ковшові елеватори (рис. 6.4.5, а), що мають тяговий елемент 5 (стрічки або ланцюги), до якого прикріплені ковші 9. Стрічки приводяться в рух барабаном 1 (а ланцюг – зірочкою), сполученим муфтою з приводом 12. Необхідне притиснення стрічки до барабану створюється силою тяжіння рухомих частин елеватора і вантажу, що транспортується, а також зусиллям натяжного пристрою 7. Насипний вантаж через завантажувальний патрубок 8 засипається в ківш або подається в нижню частину елеватора і зачерпується ковшами, піднімається вгору і видається через розвантажувальний патрубок, розташований в головній частині 2. У кожусі елеватора є люки 10 для огляду і ремонту робочих органів.

Розташування завантажувального патрубка 8 на нижній частині кожуха 4 може бути високим і низьким. Високий патрубок має днище, розташоване під кутом  $60^\circ$  до горизонту і призначений для завантаження вологих погано сипучих вантажів. У низького патрубка днище розташоване під кутом  $45^\circ$  і через нього подаються сухі добре сипучі вантажі. Розвантажувальні патрубки

прикріплені до верхньої частини кожуха елеваторів і забезпечені бічними люками 3 для огляду і очищення.

При перерві в подачі електричного струму завантажене полотно з ковшами елеваторів, що не мають запобіжних пристроїв, може переміститися вниз під дією сили тяжіння вантажу, що у важких елеваторах може привести до аварії. Для запобігання цього застосовують гальма 11 і стопорні пристрої.

*Перевагами* елеваторів є збереження форми вантажу, що транспортується, простота конструкції апарату, надійність при експлуатації, можливість створення герметичного і звукоізолюючого кожуха, що забезпечує захист навколишнього середовища від пилу і шуму, малі габаритні розміри в поперечному напрямі, можливість подачі вантажів на значну висоту (60÷90 м і більше), великий діапазон продуктивності (5÷500 м<sup>3</sup>/год). До *недоліків* відносяться відриви ковшів при перевантаженнях, що мають місце, і необхідність рівномірної подачі вантажу.

Елеватори застосовують для переміщення пилоподібних, зернистих і кускових вантажів, тарних вантажів і т. п.

### ***Конвеєри без гнучкого тягового елемента***

#### **Гвинтові конвеєри**

Відносяться до групи машин безперервного транспорту. За виглядом траси розрізняють горизонтальні, похилі і вертикальні гвинтові конвеєри. Горизонтальний конвеєр (рис. 6.4.6, а) складається з жолоба 5, в якому обертається гвинт 3; вал гвинта підтримується двома кінцевими підшипниками і проміжними підвісними підшипниками 2. Привід конвеєра включає електродвигун 8, редуктор 7 і дві муфти 6. При обертанні гвинта у напрямку стрілки на вантаж, що транспортується, діють поперечні складові сил тиску гвинтових лопатей на переміщуваний вантаж і сил тертя цього вантажу на лопаті, внаслідок чого центр маси вантажу С зміщується вліво. Момент сили тяжіння вантажу, що виникає при цьому відносно центру гвинта перешкоджає подальшому обертальному руху вантажу, і останній переміщається вздовж осі конвеєра у напрямку транспортування, як гайка вздовж гвинта, а потім висипається з розвантажувального отвору 4.

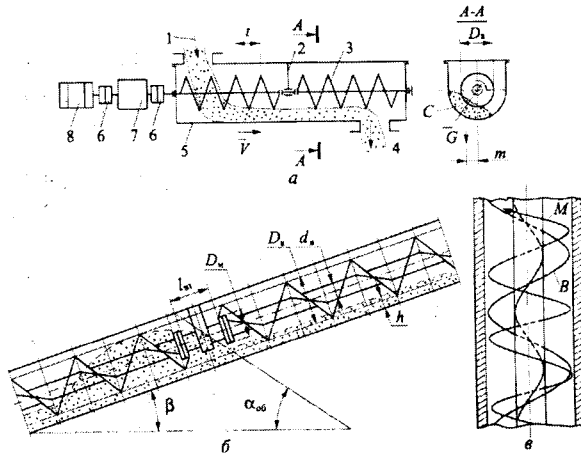


Рис. 6.4.6. Горизонтальний конвеєр (шнек):

1 – жолоб, 2 – завантажувальний лок, 3 – гвинтоподібний вал, 4 – вивантажувальний лок

Похилі гвинтові конвеєри за значенням кута нахилу поділяють на слабо- і крутонахилені. Гвинтові конвеєри використовуються в фармацевтичній та біотехнологічній промисловостях для переміщення переважно сухих добре сипких вантажів. Дуже липкі вантажі не можна транспортувати гвинтовими конвеєрами з суцільними гвинтами; вони налипають на гвинт і обертаються разом з ним, не переміщаючись вздовж жолоба.

До переваг гвинтових конвеєрів відносять: надійність в експлуатації; просте обслуговування; безпека при транспортуванні токсичних і пилоутворюючих матеріалів; компактність; зручність завантаження і розвантаження. Недоліками є підвищена витрата енергії, руйнування вантажів, що транспортуються; можливість утворення заторів.

### Крокові конвеєри

Крокові конвеєри призначені для періодичного переміщення штучних вантажів по окремих операціях технологічного процесу. Переміщення вантажів відбувається за допомогою зворотно-поступальних горизонтальних і вертикальних (крокуючих) рухів рухомої рами, на яку укладаються вантажі. Ці конвеєри легко вбудовуються в потокові автоматичні лінії, можуть транспортувати вироби різної форми без істотної перебудови і тому мають велике значення в гнучких виробничих системах.

**Кроковий конвеєр** (рис. 6.4.7) складається з нерухомої рами 1 з направляючими роликами 2, рухомої рами 3, розташованої усередині рами 1, декількох підйомників 4 з опорними катками 5, на яких лежить рухома рама, і приводу 6 для переміщення останньої.

Вантаж, що транспортується, встановлюється на першу позицію нерухокої рами, рухома рама в цей час знаходиться в опущеному положенні. Для передачі вантажа на наступну робочу позицію рухома рама піднімається підйомниками приблизно на 20 мм вище за рівень нерухокої рами і підхоплює вантаж; включається привід горизонтального переміщення рухокої рами і остання переміщається вперед на один крок, тобто на відстань між робочими позиціями. Потім рухома рама опускається і встановлює вантаж на нерухому раму, після чого під дією приводу повертається в початкове положення.

При повністю заповненому конвеєрі рухома рама переміщає вантажі на всіх робочих позиціях на один крок вперед через рівні проміжки часу, відповідно до ритму технологічних операцій.

Таким чином, весь цикл роботи крокуючого конвеєра здійснюється автоматично за чотири послідовні ходи рухокої рами: підйом, робочий хід (хід вперед), опускання і зворотний хід.

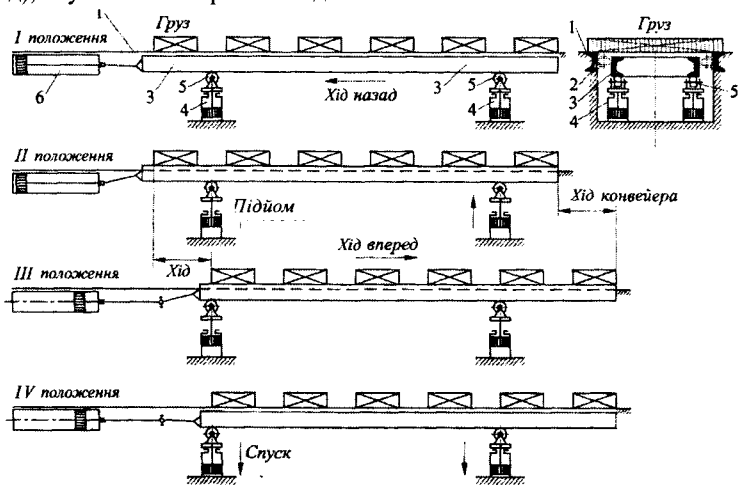


Рис. 6.4.7. Кроковий конвеєр

До переваг крокових конвеєрів відносяться легка доступність до вантажу, стабільність його положення на нерухокій рамі, простота конструкції за рахунок малого числа пар, що обертаються і труться. Недоліками є обмеженість конфігурації траси (конвеєр може бути тільки прямолінійним), неможливість безперервного руху, динамічні навантаження несучого приводу і конструкцій за рахунок частих пусків і гальмування, що постійно повторюються.

Крокові конвеєри широко використовуються для транспортування ампул в різних промислових машинах-автоматах. Переміщення ампул кроковою подачею по осередках нерухокої стрічки показано на рис. 6.4.8. Механізм

транспортування складається з двох нерухомих стрічок 1 з осередками, в які вільно укладені ампули 5, що підлягають переміщенню, і двох рухомих стрічок 2, що здійснюють коловий поступальний рух від двох рознесених кривошипів 3, закріплених на дисках 4. Рухомі стрічки послідовно переносять ампулу або групу ампул кроковим рухом з одних осередків в інших по нерухомій стрічці.

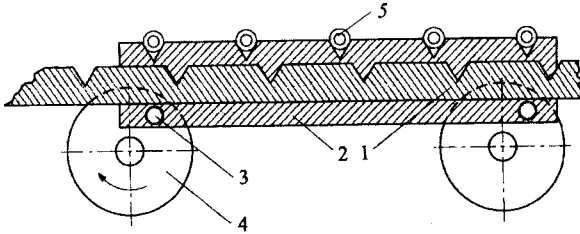


Рис. 6.4.8. Переміщення ампул двома рухомими стрічками від кривошипного механізму

На рис. 6.4.9. показано переміщення ампул кроковою подачею двома рухомими стрічками. Механізм для здійснення цього способу складається з транспортних 1 і підйомних 2 лінійок з осередками для ампул. Під час повздовжнього переміщення ампул 3 транспортними лінійками підйомні лінійки знаходяться в нижньому положенні та пропускають над собою рухомі ампули.

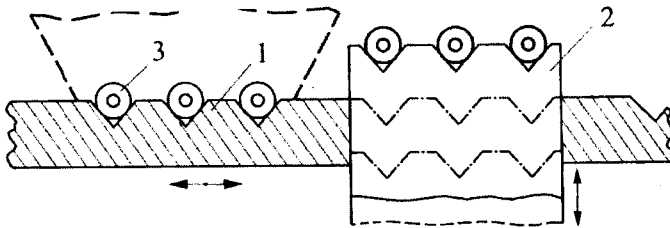


Рис. 6.4.9. Переміщення ампул двома рухомими стрічками

Після зупинки транспортних стрічок підйомні стрічки подають ампули до робочих органів машини для обробки, а транспортні стрічки, що знаходяться знизу, здійснюють холостий хід в початкове положення. Після закінчення обробки ампул підйомні стрічки опускають ампули у вільні осередки транспортних стрічок, і починається новий цикл.

### ***Пневматичний транспорт***

Пневматичні транспортери застосовуються для переміщення в горизонтальному і вертикальному напрямках легких сипучих матеріалів за допомогою стисненого або розрідженого повітря.

Речовини в цих транспортерах переміщуються суспендованими в струмені повітря. Перемішуваний матеріал вводиться в трубопровід за допомогою завантажувального пристрою, захоплюється струменем повітря і транспортується до місця призначення (розвантаження).

Повітроудійним устаткуванням, яке служить для утворення в трубопроводі перепаду тиску, в нагнітальних системах є компресори, повітроудійки і вентилятори, а у вакуумних (всмоктуючих) – вакуум і вентилятори.

Пневмотранспорт є складовою частиною устаткування, яке використовують для сушіння, гранулювання і нанесення захисних покриттів у виробництві готових лікарських засобів. Пневно-транспортні установки використовуються в системах промислової вентиляції; для відсмоктування пилу при подрібненні і механічному сортуванні матеріалів; при прибиранні приміщень. Продуктивність пневмоустановок доходить до декількох десятків тонн в годину; відстані транспортування – десятки метрів.

До переваг пневматичного транспорту, які сприяють розширенню області його застосування, відносяться герметичність системи; відсутність втрат перемішуваних вантажів, а отже, і оберігання їх від впливу зовнішнього середовища; можливість переміщення вантажів по суцільній трасі; зручність сполучення горизонтальних, похилих і вертикальних ділянок; зосередженість машинного устаткування в одному місці і відсутність необхідності в складному технічному обслуговуванні по всій трасі; можливість шляхом застосування розгалужених трубопроводів переміщати вантажі з декількох місць в одне або, навпаки, з одного місця в декілька; можливість поєднання транспортування з технологічними процесами, наприклад, сушінням; можливість повної автоматизації процесу; надійність і простота експлуатації.

До головних *недоліків* пневматичного транспорту відносяться: висока питома витрата енергії – до 0,4 кВт-год на 1 т перемішуваного вантажу, яка викликана тим, що разом з вантажем переміщується великий об'єм повітря; інтенсивне зношування трубопроводу (особливо на поворотних ділянках) і інших частин установки, що стикаються з потоком вантажу. Ефективність застосування пневматичного транспорту обмежується не тільки величиною частин вантажу (звичайно 30÷40 мм), але і такими його властивостями, як вологість, здатність прилипати до стінок трубопроводу, резервуарів живильників та інших складових частин установки. При переміщенні порошкоподібних і особливо тонкодисперсних вантажів з частинками розміром менше 10 мкм ускладнюється їх відділення в кінцевому пункті від повітря, що випускається з трубопроводу.



Розрізняють пневматичний транспорт у розрідженій фазі (при малій концентрації речовини в суміші з повітрям) і пневматичний транспорт у щільній фазі (при великій концентрації речовини в суміші).

За способом створення в трубопроводі різниці тиску пневмотранспортні установки можна розділити на три групи, що істотно відрізняються: *всмоктувальні* (або вакуумні), *нагнітальні* (напірні) і *змішані* (всмоктувально-нагнітальні). В установках всмоктуючого типу вантажі переміщуються під дією розрідженого повітря; в установках нагнітального типу – в струмені стислого повітря; у змішаних – частина шляху під дією розрідженого, а частина шляху – під дією стисненого повітря.

Для всмоктуючих установок типовим є введення вантажу в транспортний трубопровід через всмоктуюче сопло, а для нагнітальних – за допомогою живильників, що знаходяться під тиском. У системі всмоктування вантаж у кінцевому пункті шлюзується з камери з розрідженим повітрям у зовнішній простір. У трубопроводах нагнітальних установок щільність стисненого повітря більша за атмосферне. Перепад тиску і швидкість струменю в цих установках можуть бути більшими, ніж у вакуумних системах, а отже, і «переносна здатність» повітряного струменю в них вища. Тому нагнітальні установки застосовують переважно для важко перемішуваних вантажів і при транспортуванні на великі відстані і на підйом. Навпаки, при транспортуванні легко перемішуваних вантажів більше розповсюдження мають всмоктуючі установки, що не вимагають живильників.

На всмоктуючих установках, машинна частина (повітряний насос і відділяючі пристрої) зосереджена з того боку трубопроводу, в якому відбувається транспортування. На нагнітальних – навпаки, повітродуйна машина, а також пристрої, які служать для введення вантажу в трубопровід високого тиску, знаходяться в тій частині трубопроводу, від якої відбувається транспортування. В установках змішаного типу машинна частина знаходиться в проміжній точці трубопроводу. Однією з суттєвих переваг пневмотранспорту є можливість створювати розгалужені системи трубопроводу, тобто забирати вантаж з кількох пунктів і транспортувати його в декілька пунктів. В цьому відношенні всмоктуючі установки представляють найбільші зручності розгалуження трубопроводу з боку початкового пункту транспортування, нагнітальні – з боку кінцевого пункту, та змішані – з обох боків.

*Всмоктуюча установка* (рис. 6.4.10) складається з сопла 2, що засмоктує разом з повітрям насипний вантаж 1, і трубопроводу 3, по якому він потоком повітря подається у віддільник 4, де частинки вантажу випадають з повітря, що втрачає швидкість, і через шлюзовий затвор 7 потрапляють в приймальний пункт. Повітря, насичене пилом, з віддільника 4 поступає по трубопроводу 5 у

фільтр 6, де очищається від пилу і відсмоктується експаустером 8. Пил видаляється з фільтру через шлюзовий затвор 7. Всмоктуючі установки зручні там, де потрібно забирати насипний вантаж з декількох пунктів і передавати його в один приймальний пункт.

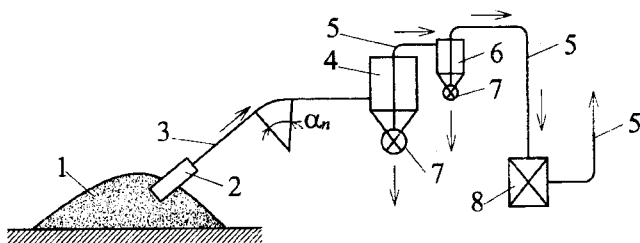


Рис. 6.4.10. Схема всмоктувальної пневматичної установки

Всмоктувальні пневматичні установки використовуються для переміщення матеріалу на невелику відстань (до 100 м). Вони застосовуються при розрідженні не більш 0,5-0,6 атм.

Для переміщення речовини на великі відстані (до 300 м) застосовують **нагнітальні пневматичні установки** (рис. 6.4.11). Компресор 1 нагнітає повітря через ресивер 7 і подає в трубопровід 2, у який з підживлювача 3 надходить матеріал, що переміщається, і підхоплений струменем повітря подається в розвантажувач 4, звідки вивантажується по мірі необхідності. Якщо матеріал утворює багато пилу, то встановлюють фільтр 5. Нагнітальні пневматичні транспортери варто застосовувати для переміщення рослинної сировини в окремі екстракційні апарати (перколятори, дифузори і т.д.).

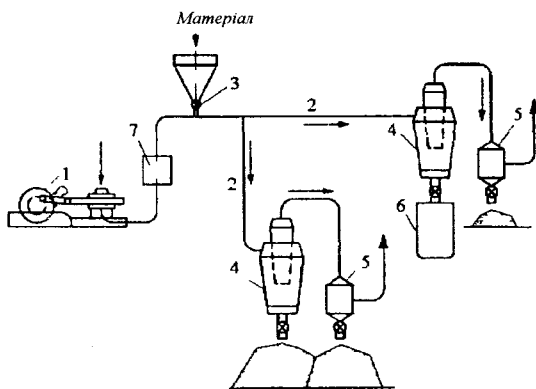


Рис. 6.4.11. Схема нагнітальної пневматичної установки:

1 – компресор, 2 – трубопроводи, 3 – живильник, 4 – розвантажувач, 5 – фільтр, 6 – прийомний бункер, 7 – ресивер

Нагнітальні установки бувають високого тиску, середнього (0,2÷0,3 МПа) і низького (0,15÷0,2 МПа). Описана вище схема відноситься до установок середнього тиску. В них допустиме застосування барабанних живильників (з ротаційним затвором).

Для переміщення сухого порошкоподібного і дрібнозернистого матеріалів на великі відстані з різних місць до однієї точки використовують *змішані пневматичні установки*. Установка змішаного типу (рис. 6.4.12) має всмоктуючий 12 і нагнітальний 16 трубопроводи. Насипний вантаж засмоктується соплом 11, поступає по трубопроводу 12 у віддільник 13, який одночасно служить і підживлювачем для нагнітального трубопроводу 16. Повітря, з віддільника 13, проходить через фільтр 14 та подається компресором 15 в нагнітальний трубопровід 16.

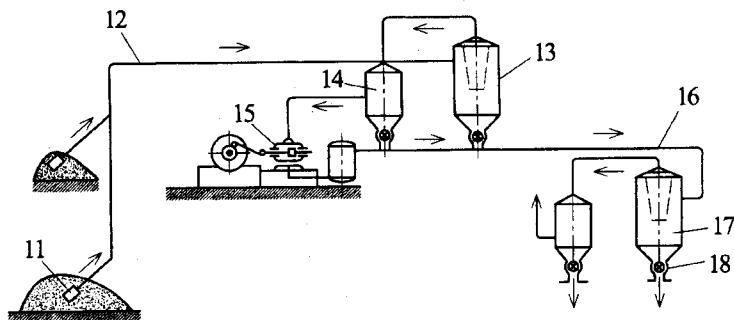


Рис. 6.4.12 Схема змішаної пневматичної установки

Насипний вантаж випадає з повітря у віддільнику 17 і подається в пункт приймання через шлюзовий затвор 18. Установки змішаного типу забирають вантаж з декількох завантажувальних місць і подають одночасно в декілька пунктів.

## Підживлючі пристрої у фармацевтичному та біотехнологічному виробництві

До всіх процесів виробництва лікарських засобів входять операції подачі точно відміряних порцій сировини. Так само неможливо уявити процеси фасування лікарських засобів без операцій підрахунку або зважування. Крім того, упакування лікарських форм супроводжується подачею допоміжних і пакувальних матеріалів. Механізми і пристрої, що здійснюють перераховані операції, називають *підживлючими пристроями*.

Підживлюючі пристрої зазвичай здійснюють накопичення (зберігання) матеріалу або штучних об'єктів обробки та їх подачу в зону виконання основних технологічних операцій. Конструкція живильного пристрою, в першу чергу, визначається видом об'єкту обробки.

У технологічному устаткуванні фармацевтичної і біотехнологічної промисловості початковий продукт може бути або у вигляді сипкого, рідкого (різної в'язкості) або безперервного матеріалу, або у формі штучних об'єктів обробки. Наприклад, у виробництві таблеток матеріал виступає у вигляді порошку або гранул, а у виробництві ін'єкційних розчинів – у вигляді рідини. У пакувальних автоматах початковими матеріалами служать папір, картон, целюфан, фольга, полімерні плівки; у фасувальних автоматах використовують ампули, флакони, банки, туби і іншу первинну тару.

Таким чином, підживлюючі пристрої за виглядом об'єкту обробки діляться на дві групи: механізми і пристрої живлення для сипких і рідких матеріалів; механізми і пристрої живлення для штучних виробів і безперервних матеріалів.

Підживлюючі пристрої для сипких і рідких матеріалів прийнято називати *дозаторами*, для штучних об'єктів і безперервних матеріалів – *живильниками*.

### *Дозатори твердих матеріалів*

Під *дозуванням* розуміють відмірювання або відважування певної кількості (дози) матеріалу і переміщення цієї дози до робочих органів машини або апарату, що виконують технологічні операції.

Відповідно до структури технологічного процесу розрізняють:

- *безперервне дозування*, яке полягає в подачі до матеріалу, що дозується, безперервним потоком із заданою витратою;

- *порційне (дискретне) дозування*, суть якого полягає в подачі матеріалу відміряними дозами.

В даний час існує велика кількість пристроїв дозування сипучих і рідких матеріалів, що зумовлено, по-перше, безліччю матеріалів, які дозуються, та відрізняються своїми технологічними характеристиками, і, по-друге, специфічними вимогами, що висуваються до устаткування в тому чи іншому технологічному процесі.

Широкий діапазон потрібних доз та необхідність дотримання певних технологічних вимог при дозуванні обумовлюють застосування різних за конструкцією і способом дозування пристроїв.

Найбільш широкого поширення набули, в основному, два способи дозування: *ваговий* і *об'ємний*. У практиці знаходить застосування також *комбінований спосіб дозування* – *об'ємно-ваговий* або *вагово-об'ємний*. В

залежності від того, який метод використовується на першій стадії комбінованого способу, а який – на другій, і базується його назва.

*Ваговий спосіб* дозування полягає у вимірюванні ваги продукту і відмірюванні його за даним критерієм з використанням стандартних мір ваги – кілограм і грам. Ваговий спосіб застосовується практично до будь-яких видів продукту (речовин) і є найбільш поширеним. Єдиним виключенням є рідини і пасти, які зазвичай вимірюють в літрах або см<sup>3</sup> і дозують об'ємним способом.

*Об'ємний метод* дозування ґрунтується на принципі заповнення продуктом певного вільного простору з використанням стандартних мір об'єму – см<sup>3</sup> або літр. В основному, застосовується для дозування рідин, паст і газів, але може також використовуватися для дозування різних сипких матеріалів. При цьому, об'ємне дозування сипких продуктів допускає подальший перерахунок об'ємних мір у вагові.

Особливе місце займає спосіб дозування сипких і рідких матеріалів з корекцією за заданим параметром.

Слід зазначити, що окрім перерахованих способів дозування на практиці використовується *багатокомпонентне дозування* з використанням одного з вказаних способів. Проте найбільшого поширення набуло багатокомпонентне дозування на основі вагового способу відмірювання необхідної маси матеріалу.

Дозатори, які здійснюють об'ємне дозування, вимірюють масу матеріалу за його об'ємом. У дозаторах, що працюють на основі вагового способу, процес зважування складається з трьох стадій: дії зважуваного матеріалу на чутливий елемент вагового пристрою; перетворенні цієї дії в чисельне значення; вказівки або реєстрації цього значення, що відповідає масі дозованого матеріалу.

Дозатори, що працюють за об'ємним принципом, прості за конструкцією, вирізняються високою надійністю і зручністю в експлуатації. Висока точність при об'ємному дозуванні досягається при використанні рідин і добре сипких порошоків з постійним гранулометричним складом. Якщо ж гранулометричний склад сипких матеріалів, що дозуються, непостійний або частинки схильні до злипання, точність дозування зменшується. Неоднорідність вологості також є причиною зменшення точності дозування. Точність об'ємного дозування складає 2-3%.

Ваговий метод дозування дозволяє отримувати більш точні результати, (точність дозування складає 0,1-1%), проте продуктивність вагових дозаторів на порядок нижча, ніж об'ємних.

Правильний вибір дозатора залежить від наступних факторів:

- *виду продукту*, який необхідно дозувати. Якщо він порошкоподібний і утворює пил, доцільно вибрати шнековий дозатор; важкосипучий – ваговий.

• *постійності дози.* Якщо розмір дози постійний або його зміни незначні, то в цілях економії засобів логічно зупинити вибір на об'ємному дозаторі, якщо немає – на ваговому.

• *перспективи заміни продукту.* У разі зміни продукту, вибір дозатора дуже сильно залежатиме від того, наскільки співпадають дози початкового і нового продуктів (у вагових заходах). Якщо відсоток відхилення не перевищує 30%, то можна обмежитися об'ємним дозатором, якщо більше – краще вибрати ваговий.

• *продуктивності і ціни.* Мабуть, найбільш вагомими чинниками для виробника – максимально функціональне устаткування за найбільш низьку ціну. Причому, ціна деколи грає важливішу роль, ніж все інше, і від того, яку ціну готовий заплатити виробник і залежатиме вибір. Найбільш дешевим є об'ємний дозатор, далі йде ваговий, а найдорожчим вважається шнековий.

*Загальними вимогами до конструкцій дозаторів сипких матеріалів і самого процесу дозування є:*

- можливість включення дозатора під навантаженням;
- швидке блокування в аварійних ситуаціях;
- забезпечення необхідної продуктивності в широкому діапазоні зміни властивостей матеріалів і умов експлуатації;
- достатньо висока точність дозування і незалежність величини подачі від рівня матеріалу в бункері;
- зручність обслуговування, герметичність і висока надійність в роботі;
- мінімальне число рухомих деталей;
- висока якість роботи системи автоматичного регулювання;
- наявність приладів, що показують величину регульованого параметра та сумарна кількість матеріалу, що пройшов через дозатор;
- відповідність конструктивного оформлення основних і допоміжних вузлів фізико-механічним властивостям матеріалів, що дозуються;
- незначне зношування робочого органу;
- невисока вартість і низька споживча потужність;
- стійкість дозування при постійній витраті;
- мала інерційність і плавність регулювання продуктивності.

*Пристрої для автоматичного дозування (відмірювання) заданої маси або об'єму рідких і сипучих матеріалів називаються дозаторами. Дозований матеріал можна вимірювати в одиницях маси (кг) ваговими дозаторами або в одиницях об'єму ( $m^3$ ) – об'ємними дозаторами.*

Продуктивність дозаторів виражається відношенням маси (або об'єму) до одиниці часу (кг/год або  $m^3$ /год). Як вагові, так і об'ємні дозатори можуть бути *періодичної (дискретної) і безперервної дії з ручним або автоматичним*

керуванням. Вибір типу дозатора визначається характером технологічного процесу і властивостями матеріалів. Дозатори періодичної дії використовують головним чином у технологічних процесах з розміщенням устаткування за висотою, а дозатори безперервної дії – у процесах з горизонтальним розміщенням устаткування і конвеєрним транспортуванням матеріалу.

У залежності від вимог технологічного процесу застосовують однокомпонентні дозатори для порційного і безперервного дозування одного матеріалу і багатокомпонентні дозатори – для порційного і безперервного дозування кількох сипучих матеріалів. У багатокомпонентних дозаторах може здійснюватися процес з автоматичною підтримкою співвідношення матеріалів або проводитися корекція по заданій програмі. Дозатори дискретної дії мають найчастіше конструкцію бункерного типу, а дозатори безперервного – бункерного і стрічкового.

Найбільш прості об'ємні дозатори не забезпечують достатньої точності; складні і точні технологічні процеси, як правило, ведуться з використанням вагових дозаторів. Вагові автоматичні дозатори являють собою комплекс, що складається з датчика контролю маси, машини-автомата для подачі матеріалу і системи автоматичного керування дозою або витратою маси. Основні елементи вагового дозатора такі: об'ємний дозатор, який служить підживлювачем, вантажоприймаючий і вимірювальний пристрій (датчик), системи реєстрації і регулювання, виконавчий пристрій.

За принципом дії дозатори можуть бути гравітаційними (як правило це – лійки) без примусової подачі і з примусовою подачею матеріалу (стрічковими, гвинтовими, тарілчастими та іншими конвеєрами або плунжерами, шестернями та ін.).

Дозатори дозволяють ощадливо витратити сировину, скоротити витрати матеріалів, розширити масове виробництво, виключити багато трудомістких процесів, а також поліпшити умови праці.

### Об'ємні дозатори безперервної дії

Безперервне дозування об'ємним способом характеризується безперервністю потоку віддозованого матеріалу на виході з дозатора. Такими дозаторами є барабанні, тарілчасті, стрічкові, шнекові, вібраційні.

Будова найпростішого **барабанного дозатора** показана на рис. 6.5.1, а. При обертанні барабану 1 всередині корпусу 2 матеріал 3, що дозується, заповнює комірки

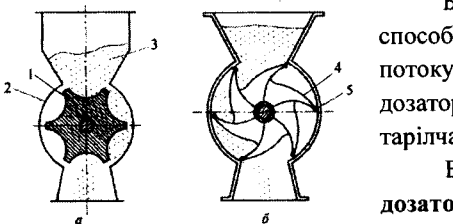


Рис. 6.5.1. Барабанні дозатори:  
а – з постійною продуктивністю;  
б – з регульованою продуктивністю

барабана, які випорожнюються в нижньому положенні. На рис. 6.5.1, б показано барабаний дозатор, продуктивність якою може регулюватися шляхом зміни наповнення комірок барабану. Рухомі лопаті 4, прикріплені до осей 5, за допомогою спеціального механізму повертаються і, тим самим, змінюють наповнення комірок.

Регулювання продуктивності барабаних дозаторів здійснюється за рахунок зміни числа обертів робочого органу, а також – зміни об'єму комірок і обмежується невеликим діапазоном, оскільки збільшення швидкості понад деяку межу приводить до неповного заповнення комірок матеріалом, що порушує нормальну роботу.

#### *Тарілчаті дозатори* застосовуються

для невеликих продуктивностей при дозуванні сухих сипких або зернистих матеріалів. Схема тарілчатого дозатора показана на рис. 6.5.2. Тарілка 2 закріплена на валі 1, який обертається електродвигуном. Матеріал, що дозується, зсипається з бункера 3 через манжету 4 на тарілку. Манжета може підніматися або опускатися над тарілкою, цим регулюється розмір конуса, що наливається. Скребок 5, який встановлений біля краю тарілки, знімає матеріал і направляє в приймальний лоток. Тарілчаті дозатори мають

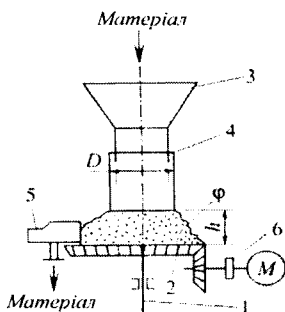


Рис. 6.5.2. Схема тарілчатого дозатора

багато різновидів, в яких використовується ряд додаткових пристосувань в залежності від продуктивності, характеру матеріалу, що дозується, а також необхідної точності дозування.

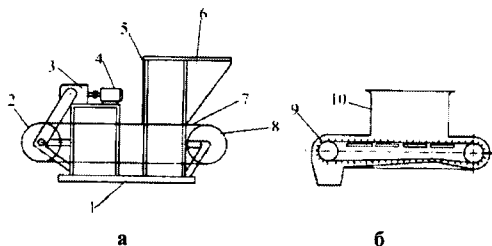


Рис. 6.5.3. Схеми дозаторів: а — стрічкового; б — скребкового

**Стрічкові дозатори** (рис. 6.5.3, а). Між двох барабанів 2 і 8, що встановлені на спеціальній рамі, розташовується транспортерна стрічка 7. Барабан 2 приводиться в рух електродвигуном 4 через редуктор 3. Бункер 6, розташований поблизу барабану 8, не має дна, а матеріал, що дозується,



втягується з бункера рухомою стрічкою через випускний отвір і скидається з барабану 2 в приймальний лоток. Кількість віддозованого матеріалу регулюється зміною площі вихідного отвору з допомогою заслінки 5, яка може переміщатися вгору-вниз і закріплюватися у вибраному положенні.

**Скребоквий дозатор** (рис. 6.5.3, б) є різновидом стрічкового дозатора. У кожуху 9 поміщено конвеєр із спеціальними контурними скребками, які служать для розпушування і захоплення матеріалу, що поступає з бункера 10 і подається до вихідного отвору.

Продуктивність встановлюють зміною швидкості руху транспортеру. Деякі конструкції мають для регулювання подачі матеріалу додаткові заслінки. Можливий діапазон регулювання подачі матеріалу – від кількох кілограмів до тонни за годину при точності дозування  $\approx 1\%$ .

**Вібраційні дозатори** часто застосовуються, як живильники до різних автоматів, вагових дозаторів і т.п. Швидкість переміщення сипкого матеріалу по лотку дозатора зазвичай становить 0,1-0,3 м/с.

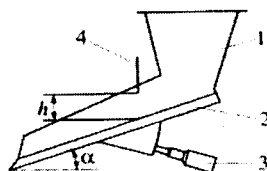


Рис. 6.5.4. Схема вібраційного лоткового дозатора

На рис. 6.5.4. показана схема вібраційного дозатора. З бункера 1 матеріал, що дозується, потрапляє на лоток 2, що приводиться в коливальний рух вібратором 3. Рух матеріалу по лотку забезпечується завдяки зворотно-поступальним рухом лотка.

До дозаторів безперервної дії відносять також **шнековий дозатор**, який часто застосовують, як живильник різних дозуючих пристроїв. При цьому найчастіше застосовується конструктивна схема з горизонтальним розташуванням шнека, хоча в практиці часом виникає необхідність використовувати похилі і вертикальні шнекові живильники. На рис. 6.5.5. показана схема шнекового дозатора з горизонтальним розташуванням шнека. Сипкий матеріал з бункера 1 захоплюється шнеком 2, який обертається в корпусі 3. Привід шнека здійснюється через кінематичну пару 4. Продуктивність шнекового дозатора визначається добутком заповненого однокрокового міжвиткового об'єму, в межах плоского кута в один радіан, на кутову швидкість обертання шнека, з урахуванням коефіцієнту заповнення міжвиткового простору. При дозуванні важкосипучих матеріалів у бункері часто утворюються зависання, що

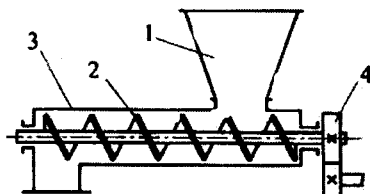


Рис. 6.5.5. Схема шнекового дозатора з горизонтальним розташуванням шнека

перешкоджають ефективному заповненню витків шнека. З метою усунення цієї недоліку застосовують різні пристрої або змінюють конструкцію бункера.

### Об'ємні дозатори порційної дії

Для здійснення порційного дозування використовують багато варіантів конструкцій деяких дозаторів безперервної дії. Можна використовувати барабанний дозатор з перервним обертанням барабану.

**Дисковий дозатор** (рис. 6.5.6) за принципом дії аналогічний барабанному. У диску 1, що обертається, розміщені з певним кроком мірні циліндри 2, в які з бункера 3 поступає матеріал, що дозується. Випускний отвір мірних циліндрів в зоні дозування перекритий нерухомим столом 4. У зоні розвантаження випускний отвір знаходиться над лотком 5, куди подається відміряна доза. Мірні циліндри можуть бути змінними для зміни об'єму дози.

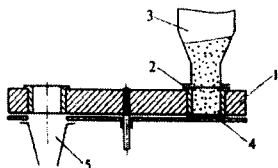


Рис. 6.5.6. Порційний дисковий дозатор з мірними циліндрами

Широко застосовується **дозатор камерного типу** (рис. 6.5.7), що є модифікацією дискового дозатора. Камера 6 з матеріалом, який дозується, переміщається над поверхнею столу, в якому встановлена матриця, що виконує функцію мірного циліндра 8. Об'єм дози визначається положенням пуансону 9, яке регулюється по висоті спеціальним механізмом. Цей варіант дозування може бути здійснений або шляхом переміщення камери над матрицею, встановленою в нерухомому столі (кривошипна таблеткова машина), або шляхом переміщення столу разом з матрицею під нерухомою камерою (роторна таблеткова машина).

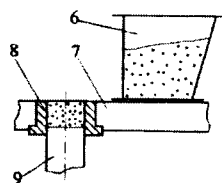


Рис. 6.5.7. Порційний дозатор камерного типу

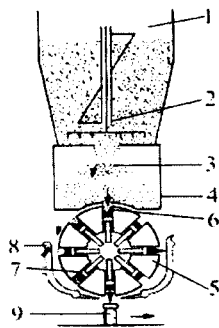


Рис. 6.5.8. Схема камерного вакуумного дозатора

Дозатори камерного типу широко застосовуються в різних фасувальних автоматах. На рис. 6.5.8 представлена схема **камерного вакуумного дозатора**, які широко застосовуються в різних фасувальних автоматах. Фасований продукт завантажується у воронку для порошку 1. Мішалки 2 і 3, що обертаються відповідно навколо вертикальної і горизонтальної осей, забезпечують рівномірний розподіл порошку в наповнювальній камері 4. У роторі 5, що замикає нижню частину наповнювальної камери, розташовано вісім

отворів-дозувань 6. З центру ротора в ці отвори встановлені, на різьбі, дозуючі поршні 7, що визначають об'єм наповнення. Об'єм дозуючого простору за допомогою дозуючих поршнів можна регулювати.

На рис. 6.5.9 зображено схему камерного дозатора роторного автомата для фасування порошків у склотару. Ротор дозуючого пристрою має у верхній частині фланець з воронками для засипання порошку у флакони, що розташовані в комірках зірочки, яка закріплена в нижній частині апарату. Для дозування, під фланцем ротора, розташовано кільцеву камеру, що заповнюється

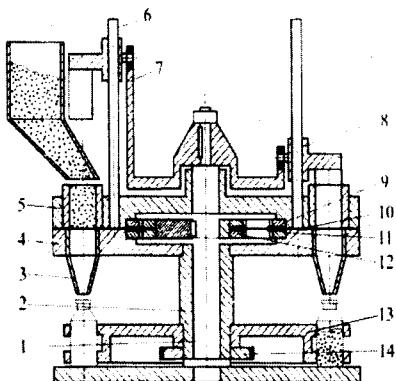


Рис. 6.5.9. Камерний дозатор роторного автомата для фасування порошків:

- 1 - нерухома вісь; 2 - стакан; 3 - воронки; 4 - ротор; 5 - півкільця; 6 - що направляють; 7 - копір; 8 - каретка; 9 - кільце; 10 - диск; 11, 12, 13 - зубчаті колеса; 14 - зірочка

порошком і обертається разом з ротором. Між фланцем ротора і кільцевою камерою встановлений ексцентрично до ротора диск, який створює постійне дно камери з боку подачі флаконів і завантаження порошку в камеру і клинову щілину на позиціях дозування. Відсікання доз в кільцевій камері здійснюється перегородками-відскачками, що переміщуються разом з ротором, та роблять додатковий рух вгору і вниз. Протягом обороту відбувається безперервне дозування порошку у флакони, що знаходяться в комірках. Доза регулюється зміною рівня порошку в кільцевій камері дозатора.

Дозування порошку в тверді желатинові капсули (рис. 6.5.10), здійснюється в три стадії. *Перша* – наповнення камери дозування. На цій стадії отвори розподільчого диска знаходяться над камерою дозування. Завдяки

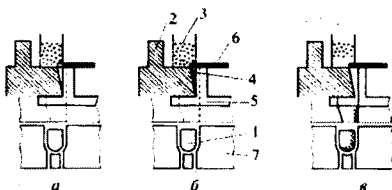


Рис. 6.5.10. Схема дозування порошку в капсули:

- а - наповнення камери дозування; б - проміжне положення, відсікання дози; в - видача дози; 1 - нижня напівкапсула; 2 - дозуючий диск; 3 - бункер; 4 - камера дозування; 5 - дозуючий шибер; 6 - роздільний диск; 7 - нижній ротор

цьому продукт може з бункера потрапити в закрити шибером камеру дозування. У *проміжному положенні* (друга стадія) здійснюється відсікання дози, тобто камера дозування внизу залишається закритою, але відділяється від матеріалу в бункері розподільчим диском. *Третя стадія* – видача дози. При цьому камера дозування вгорі залишається закритою, а диск дозування повертається таким чином,

щоб отвір камери дозування розташовувався над нижньою напівкапсулою, в яку через воронку потрапляє порошок.

У техніці порційного дозування широке застосування знаходять **шнекові дозатори**. Вони мають ряд *переваг*: доза відмірюється шнековим дозатором безпосередньо з бункера, що виключає в технологічних циклах фасування операцію наповнення мірного стакану і нормалізацію дози (розвантаження мірного стакану можна умовно вважати операцією, аналогічно до операції видачі дози шнековим дозатором).

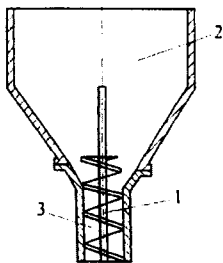


Рис.6.5.11. Проста схема шнекового дозатора порційної дії

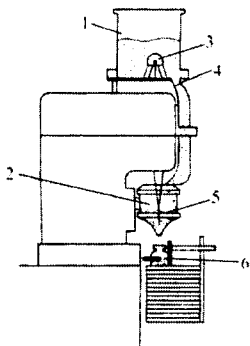


Рис. 6.5.12. Дозування лікарських порошоків у флакони за допомогою шнекового дозатора

На рис. 6.5.11 показано схему такого простого дозатора. На відміну від шнекового дозатора безперервної дії, дозуючий шнек 1 в даному дозаторі розташовано вертикально. Бункер 2, у вигляді воронки, встановлюється над шнеком. Матеріал, що дозується, з бункера захоплюється рухомим шнеком і поступає в камеру 3. В основі роботи дозатора лежить принцип одержання необхідного об'єму сипкого матеріалу на виході з камери в залежності від числа обертів шнеку.

Схема дозатора для дозування лікарських порошоків у флакони за допомогою шнекового дозатора наведена на рис. 6.5.12. Фасований порошок завантажують в бункер 1. Далі його рівень, за допомогою регулятора, підтримується в нижній частині апарату в завантажувальній воронці 2, куди він подається направляючою мішалкою 3 через дросельний клапан 4. Процес дозування здійснюється вертикальним дозуючим шнеком 5. При цьому препарат поворотом дозуючого шнека виходить з конічної завантажувальної воронки в підготовлений флакон 6. Необхідне регулювання величини дози здійснюється зміною кута повороту шнека.

Дозатор шнековий для антибіотиків (рис. 6.5.13) призначено для фасування невеликих порцій порошкоподібних важкосипучих антибіотиків (пеніцилін, біцилін-3, -5 і т. п.) у скляні флакони. Метод формування дози – ваговий тензометричний. Деталі і вузли дозатора, що контактують з матеріалами, захисні деталі кожуха приводу, пульт управління і рама дозатора виготовлені з нержавіючої сталі. В кришці дозатора передбачено вікно для завантаження матеріалу, забезпечене прозорою

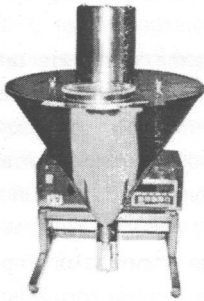


Рис. 6.5.13. Дозатор шнековий для антибіотиків

заглушкою, і вентиляційний патрубок з фільтрувальною насадкою та можливістю під'єднання витяжної вентиляції. Бункер дозатора і дозуючий шнек легко знімаються для зручності миття, очистки і стерилізації. Дозатор може експлуатуватися в чистих і стерильних приміщеннях. Виняткова сфера застосування даного дозатора є одночасно і його перевагою і недоліком. Дозатор дуже ефективно фасує порошкоподібні продукти, практично не створюючи пилу, чого не роблять ваговий або об'ємний дозатор, але недоцільно використовувати його для інших сипких продуктів, особливо для важкосипучих. Також проблемою можуть бути маслянисті продукти, здатні налипати на шнек та інші деталі дозатора. Додатково до недоліків шнекового дозатора можна віднести високу ціну, що перевищує ціну об'ємного дозатора більш ніж в 2 рази, і складність виготовлення шнека.

В автоматі для фасування сухих порошків в ампули дозуючий пристрій є системою з трьох шнеків, що подають порошок одночасно в три ампули (рис. 6.5.14). Пристрій складається з корпусу 1 з трьома голками 2, всередині якого встановлені шнеки 3. У зоні завантаження на кожен шнек концентрично встановлена спіраль 4 для примусової подачі порошку в міжвитковий простір шнеку. Спіраль одним кінцем жорстко закріплена до дна валу шнека. На вихідному кінці валу встановлена напівмуфта 7, пальці якої зчіпляються з рухомим елементом електромагнітної муфти. Бункер для порошку 6 є

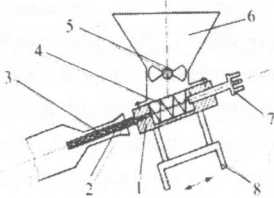


Рис. 6.5.14. Дозатор, що наповнює порошками ампули в автоматі 3058

емкістю, обладнаною мішалкою 5 з горизонтальною віссю обертання. Три вихідних патрубка бункера сполучені загальним фланцем, яким бункер кріпиться до корпусу дозуючого пристрою. Даний пристрій закріплюється на каретці 8, що здійснює зворотньо-поступальний рух паралельно осям ампул. Регулювання величини дози здійснюється зміною числа обертів, що надаються дозуючим шнекам.

## Вагові дозатори безперервної дії

Автоматичні вагові безперервні дозатори призначені для вагового автоматичного дозування маси матеріалу за одиницю часу, забезпечуючи необхідну продуктивність – масову витрату. Необхідна точність дозування підтримується в таких дозаторах автоматично.

Автоматичне безперервне вагове дозування сипких матеріалів здійснюється в основному двома типами дозаторів: бункерними і стрічковими.

**Бункерні дозатори** безперервної дії ґрунтуються на вимірюванні чутливими елементами 2 і датчиком часу 4 (рис. 6.5.15) зміни витрати матеріалу 5 з живильника в часі та інтеграції його інтегратором 3 по мірі завантаження або випорожнення бункера 1. Система автоматики цього дозатора забезпечує регулювання витрати живильника пропорційно зміні маси матеріалу в бункері.

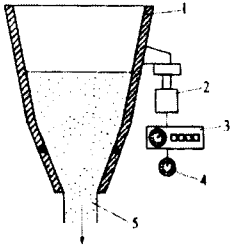


Рис. 6.5.15. Бункерний ваговий дозатор безперервної дії

Дозатори даного принципу дії мають той **недолік**, що в процесі їх роботи ваговий бункер не повинен заповнюватися. Тому вони придатні в тих технологічних процесах виробництва, де є перерви, необхідні для поповнення витрачених матеріалів, або там, де допускається вимкнення системи регулювання у момент завантаження бункера. Застосування двох таких дозаторів з послідовною їх роботою усуває цей недолік.

Найбільш поширеними ваговими дозаторами безперервної дії є **стрічкові дозатори** (рис. 6.5.16.). Вони призначені для перетворення об'ємної витрати – продуктивності потоку матеріалу 5, що поступає з живильника, за допомогою чутливого елемента 2 у вагове завантаження матеріалу на транспортер 1, вимірювання швидкості його руху за допомогою датчика 4 швидкості стрічки.

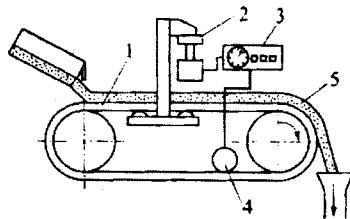


Рис. 6.5.16. Стрічковий ваговий дозатор безперервної дії

## Вагові дозатори порційної дії

Вагові дозатори порційної дії покликані забезпечити рівномірне, регульоване навантаження приймального бункера сипким матеріалом, що дозується, відповідно до встановленого для них циклу і необхідної точності. Основними перевагами цих дозаторів є простота конструкції і висока точність дозування (до 0,1%).

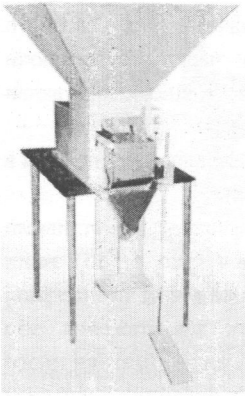


Рис. 6.5.17. Вагові дозатори порційної дії

Особливість автоматичних вагових дозаторів порційної дії (рис. 6.5.17) полягає в тому, що в них статична задача зважування, базується на рівновазі важеля і порівняння маси матеріалу, який зважується, з одиницями маси, що веде до складного динамічного завдання зміни маси сипкою матеріалу в процесі зважування.

Швидкість зміни маси в дозаторах даного типу значна і визначається величиною маси зважуваної порції (дози) і часом циклу зважування – часом завантаження і розвантаження бункера для прийому вантажа.

Схема роботи автоматичного вагового дозатора порційної дії показана на рис. 6.5.18. Дозатор складається з подвійного рівноплечого коромисла *I*, що спирається своїми двома опорними призмами на подушки, закріплені на кронштейнах станини. На призмах лівого плеча коромисла підвішений гиретримач, а на призмах правого плеча – бункер.

Положення *I* (рис. 6.5.18, *a*). Підвіска *8*, пружина *7* і важелі *2*, *4*, *6* і *11* знаходяться в крайньому верхньому положенні, заслінка *5* повністю відкрита, гиретримач лежить на опорах. При цьому на точку *Б* кулачка бункера діє сума сил тиску заслінки *5* з підвіскою *8* і важелів *6*, *4*, *2* і *11*. В той момент, коли через впускний перетин воронки в бункер починає поступати продукт, на точку *А* коромисла *I* починає діяти сила, яка безперервно збільшується і складається з ваги продукту і сили тиску струменя продукту, що безперервно зменшується.

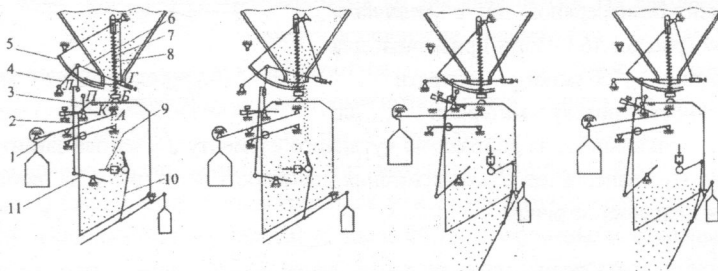


Рис. 6.5.18. Схема роботи дозатора для сумарного обліку матеріалів з дном бункера, що відкривається:

*a* – при основному потоці матеріалу; *б* – при досипанні; *в* – при рівновазі; *г* – розвантаження бункера  
(*A* – точка коромисла; *Б* – точка кулачка; *Г* – палець заслінки; *К* – болт; *Л* – ролик; *П* – палець спускового важеля)

При цьому заслінка 5 починає поступово закриватися, бункер опускається, підвіска 8 з пружиною також опускається.

*Положення II* (рис. 6.5.18, б). При подальшому збільшенні ваги продукту, що насилається, важелі 4, 6, 2, 11 продовжують опускатися до тих пір, поки ролик 11 важеля 2 не стане на палець 11 спускового важеля. У цей момент система важеля перестає діяти на коромисло ваг. Вагоприймальне плече коромисла ваг продовжує опускатися вниз, а заслінка 5, закриваючися, упереться своїм пальцем 7 у регулювальний гвинт правого горизонтального важеля 6 і перестане чинити тиск на коромисло 1 ваг. В цей час решта всіх ланок механізму залишається в попередньому положенні, оскільки палець 11 пускового важеля не дає рухатися всій системі важелів 2, 4, 6, 11. При цьому підвіска 8 з пружиною 7 перестає діяти на бункер ваг, оскільки між штангою і кулачком Б бункера утворюється зазор. Ваги перейдуть на досипання.

*Положення III* (рис. 6.5.18, в). По мірі наближення маси порції до заданої, бункер продовжує опускатися, і після її досягнення, – болтом К, закріпленим на бункері, натискає на праве плече спускового важеля, повертаючи його за годинниковою стрілкою. Внаслідок цього ролик 11 звільняється і система важелів 6, 4, 2, 11 під дією власної ваги впаде вниз. Правий 6 і лівий 4 важелі при цьому займуть горизонтальне положення. Заслінка 5 повністю закриється, поперечний важіль 11, зв'язаний шарнірно з вертикальним важелем 2, обернеться проти годинникової стрілки і своїм правим кінцем, вдаривши по стрижню 9 коліна затвору, підніме його, звільнивши тим самим дно бункера, яке під дією маси матеріалу відкриється, і бункер швидко випорожниться.

*Положення IV* (рис. 6.5.18, г). У момент випорожнення бункера коромисло 1 під дією гиретримача з гириями обернеться проти годинникової стрілки, тому бункер різко піде вгору, стискаючи при цьому пружину 7 підвіски 8, що шарнірно зв'язана із заслінкою 5. Заслінка у цей момент залишається закритою, оскільки система важелів 6, 4, 2, 11 знаходиться в крайньому нижньому положенні. Після того, як днище бункера під дією пружини закриється, стрижень 9 затвору ударить по важелю 11, виводячи тим самим систему важелів 6, 4, 2, 11 з мертвого положення. Автоматичний механізм повертається в початкове положення, відповідно до початку циклу роботи дозатора; заслінка 5 при цьому під дією пружини 7 повністю відкриється. Спусковий важіль під дією своєї важчої лівої частини обернеться проти годинникової стрілки і займе своє початкове положення. Почнеться новий цикл роботи ваг.



## Підживлювачі твердих матеріалів

Підживлювачами називають пристрої для рівномірної і регульованої подачі сипучих штучних матеріалів у різні машини й апарати – млини, змішувачі, сушарки, реактори, печі та ін. Живильники подають матеріал з бункерів безпосередньо в апарати або на транспортери, що переміщують матеріал до прийомних пристроїв апаратів. Живильники підрозділяються на підживлювачі: безперервного та коливального руху, обертові.

Зазвичай всі ці пристрої мають рухомі частини і є механізмами, що приводяться в рух від розподільних валів основних машин або від окремих двигунів.

У загальному випадку живильники складаються з ємності (бункери), захватно-орієнтуючих пристроїв, накопичувача, відсікача, транспортуючого пристрою. Ємність служить для створення запасу виробів. В залежності від способу зосередження виробів в ємності поділяють на магазинні і бункерні живильники.

Магазинне живлення полягає в тому, що заготовки вкладаються в магазини вручну поштучно або порціями в один ряд або кілька рядів (з проміжками або щільно) в цілком орієнтованому положенні, а відсікачі – по черзі, із заданим тактом, передають їх в машину на обробку. Магазини можуть бути різними ємностями і транспортерами (стрічкові, роторні або типу лотків та жолобів). Відсікачі виконують функції відділення одиничних об'єктів від іншої маси, захоплення їх і транспортування з магазину до позицій основної

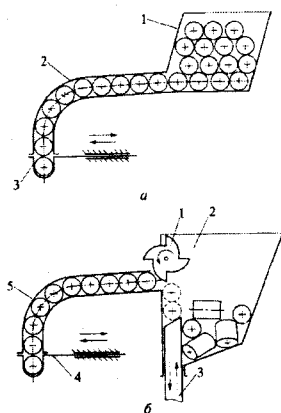


Рис. 6.5.19. Живильники для штучних об'єктів:

а - магазинне; б - бункерне живлення.

обробки. В деяких випадках потреба у виконанні тієї або іншої функції відпадає, в інших випадках виникає необхідність в операціях контролю, переорієнтації, рахунку, блокування і т. п.

Бункерне живлення відрізняється тим, що ємність заповнюється заготовками в насип. Вони розташовуються там хаотично, але подаються в машину поштучно, частково або повністю орієнтованими в потрібному положенні, як з магазинів. Бункерні живлячі пристрої різноманітної форми із захватно-орієнтуючими органами широко використовуються в машинах-автоматах фармацевтичних виробництв, призначених для виготовлення штучних виробів.

Ємність бункера може бути значно більшою за ємність магазину. Це означає, що завантаження бункера можна проводити рідше і цим підвищити ступінь безперервності і автоматизації роботи основної технологічної машини або лінії в цілому. Тому бункерне живлення є принципово прогресивнішим у порівнянні з магазинним, хоча і складнішим, оскільки включає специфічні операції орієнтування заготовок.

На рис. 6.5.19, *а* приведена схема магазинного живлення з ємністю 1, проміжним транспортером (жолобом) 2 і подаючим пристроєм 3.

На рис. 6.5.19, *б* представлена схема бункерного живлення. У бункері 2 насяпаються купою штучні заготовки. Орієнтуючий і захватний орган 3, піднімаючись, відбирає правильно орієнтовані заготовки; контрольний орган 1 скидає випадково подані, неправильно орієнтовані заготовки. Жолоб 5 служить накопичувачем-транспортером. Подаючий пристрій 4 поштучно подає заготовки на робочі позиції.

Магазинне живлення машин-автоматів і автоматичних ліній широко використовується в ампульному виробництві. У магазин ампули орієнтовано завантажують з проміжної транспортної тари. Для поштучної або групової видачі ампул на транспортні засоби застосовують різні способи. Найбільш поширеним є спосіб винесення ампул за допомогою переміщення рейки або ротора, оснащених комірками (рис. 6.5.20). При переміщенні рейки або ротора 2 під магазином 1 вільні комірки заповнюються ампулами 3 з магазину і подальшим рухом переносяться до місця призначення. Цей спосіб може бути використаний, як для безперервної подачі ампул, так і для видачі по одній або групами із заданою продуктивністю. Недоліком способу є

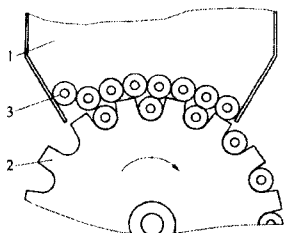


Рис. 6.5.20. Живильник для ампул з рухомих ротором з комірками

тривале перебування ампул, що труться, в магазині, а перевага полягає в його універсальності та створенні умов, що запобігають утворенню браку.

Другим способом видачі ампул є шибєрний (рис. 6.5.21). В ньому нижня частина магазину 1 виконується з дном, яке має прорізи (розподільна решітка 4) для проходу ампул 3. Під дном розміщуються рухомі ґрати (шибєр 5), що спираються на друге дно з прорізами (обмежувальні ґрати 6),

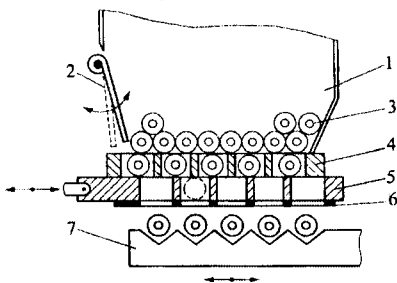


Рис. 6.5.21. Шибєрний живильник для ампул

зсунутими на половину величини кроку шибера. При переміщенні рухомої ґратки ампули западають в прорізи і при їх суміщенні з прорізами в обмежувальних ґратках випадають на транспортер 7. До *недоліків* цього способу слід віднести необхідність встановлення в магазині зрушувачів 2 ампул.

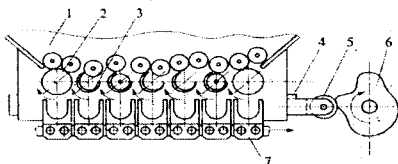


Рис. 6.5.22. Пристрій для видачі ампул за допомогою поворотних валиків з комірками

комірки, після чого поворотом на  $180^\circ$  ампули виносяться з магазину і потрапляють на транспортер 7. Приводом поворотних валиків служить копір 6 і рейка 4 з роликком 5 на кінці. Між поворотними валиками 3 встановлені валики-зрушувачі 2. Описаний спосіб не має *недоліків* попередніх методів.

В ряді автоматів знайшов застосування спосіб видачі ампул за допомогою присосок. На рис. 6.5.23 приведена схема такої видачі ампул.

Подавач 4, що несе на собі м'яку присоску 3, яка з'єднана з вакуумом, при русі вниз захоплює ампулу 2 з магазину 1. Рухом вгору подавач витягує ампулу з магазину і поворотом переносить її на транспортер 5. Після стравлювання вакууму ампула звільнюється. Застосовуються присоски як для подачі ампул, так і для орієнтації в просторі.

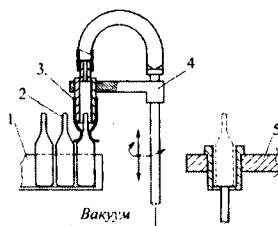


Рис. 6.5.23. Пристрій для видачі ампул за допомогою присосок

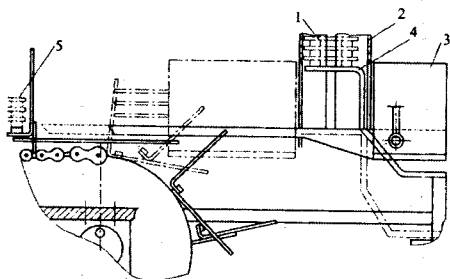


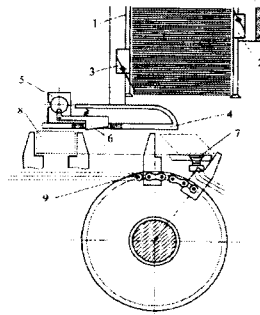
Рис. 6.5.24. Магазинний живильник для групування упаковок і видачі їх на транспортер

знаходиться в магазині 2, спирається на рухомий упор 3, яким забезпечується завантаження магазину упаковками, які поступають з транспортера пакувальної

Для групування упаковок і видачі їх на транспортер призначений магазинний живильник, показаний на рис. 6.5.24. Механізм працює таким чином. Пачка упаковок 1, що

машини. Після досягнення нижнього положення рухомого упору штовхачем 4, налаштованим на видачу необхідної кількості упаковок, останні виштовхуються в осередок 5 транспортного органу. Механізм забезпечений блокувальними датчиками, що контролюють наявність необхідної кількості упаковок в магазині і включають в роботу штовхач.

Схема магазинного живильника, призначеного для видачі складених пачок у пакувальних машинах, наведена на рис. 6.5.25. Живильником є пристрій з магазином 1, на бічних стінках якого встановлені мікроперемикачі 2 і 3, що контролюють наявність пачок в магазині. У нижній частині живильника, під магазином, знаходиться копір 4 і безконтактний датчик 5 з підпружиненим прапорцем 6. Видалення однієї пачки з магазину здійснюється присоскою 7, яка переносить пачку в комірку 8 транспортного ланцюга 9, а копір одночасно



*Рис. 6.5.25. Магазинний живильник, призначений для видачі складених пачок в пакувальних машинах*

її розкриває. Датчик за допомогою прапорця контролює форму розкритої пачки, що знаходиться в комірці транспортера. Якщо пачка при виході з магазину набуває правильної форми (прямокутна в поперечному перетині), механізм укладання упаковок спрацьовує. Якщо живильник пачку не подає (через відсутність на транспортері упаковок або інструкцій, а також відключення вакууму) або подає нерозкритою, датчик – не спрацьовує, і сигнал на механізм укладання упаковок в пачки не подається.

## Розділ 7. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ТАБЛЕТКУВАННЯ

*Таблетки* – тверда дозована лікарська форма, що отримується пресуванням лікарських або суміші лікарських і допоміжних речовин, та призначена для внутрішнього, зовнішнього, сублінгвального, імплантаційного або парентерального застосування.

Таблетки мають вигляд плоских і двояковипуклих круглих, овальних дисків, або іншої форми пластинок, також – можуть мати циліндричну форму. Діаметр таблеток від 3 до 25 мм.

Таблетки діаметром більше 9 мм мають риску, яка наноситься на неї при пресуванні штампом.

Таблетки є однією з найпоширеніших і перспективних лікарських форм. В даний час вони становлять близько 90% від загального обсягу готових лікарських засобів. Це пояснюється тим, що таблетки мають ряд переваг перед іншими лікарськими формами.

**Медико-фармацевтичні переваги таблеток:** зручність застосування; точність дозування; можливість регулювання всмоктування лікарських речовин з таблетки в місці розчинення (шлунок, кишечник, і т.д.) і в часі (наприклад, пролонгування); здатність поєднати лікарські речовини, що несумісні за фізико-хімічними властивостями і терапевтичною дією; можливість замаскувати неприємний смак, запах, кольор; оперативний відпуск і можливість попередження помилок при відпуску та застосуванні; можливість прийому в будь-якій обстановці і портативність; досить висока точність дозування лікарських сполук, які входять до складу таблетки; підвищення стабільності ліків в спресованому вигляді (зменшення впливу світла, повітря, вологи).

**Виробничі переваги:** можливість повної механізації і автоматизації виробництва; висока продуктивність і економічність порівняно з ручною працею; безпека; гігієнічність; серійність і масовість виробництва.

**Експлуатаційні переваги:** висока компактність, портативність, стійкість до впливу несприятливих механічних і кліматичних чинників, зручність транспортування, зберігання та відпуску; простота і безпека в експлуатації; довготермінова придатність.

*До таблеток висувають три основні вимоги:*

- точність дозування – правильність ваги, як самої таблетки, так і лікарських речовин, які входять в її склад;
- механічна міцність – таблетки не повинні кришитися;
- розпадання – властивість розпадатися або розчинятися в терміни, встановлені для окремих видів таблеток.

В даний час є три принципові технологічні схеми таблетування лікарських препаратів, які відрізняються між собою: вологе гранулювання (змішування сухих порошків, зволоження, грануляція, сушіння, змішування); грануляція пресуванням або прокаткою (змішування сухих порошків, компактування, відсів, змішування); пряме пресування суміші компонентів (змішування, таблетування).

Вибір оптимальної технологічної схеми виробництва таблеток залежить від фізико-хімічних і технологічних властивостей лікарських речовин, їх кількості в складі таблетки, стійкості до впливу чинників зовнішнього середовища й ін.

### *Характеристика процесу таблетування*

У виробництві таблеток найбільш широко в даний час застосовується традиційний **метод вологого гранулювання**, що передбачає обробку сухих інгредієнтів розчинами в'язучих речовин, зазвичай високомолекулярної природи. Часто, поряд з функцією зв'язуючої речовини, гранулюючий агент виконує функцію розпушувача. Останнім часом, крім звичайних розпушувачів поширення набули сильно-розбухаючі речовини, так звані, «супердезінтегранти»: нерозчинні (натрієва сіль гліколята крохмалю), а також частково розчинні у воді (монозаміщена натрієва сіль карбоксиметилцелюлози). Ці речовини мають хороший розпушуючий ефект у таблетуванні важко розчинних сполук. Однак, при використанні в якості наповнювача лактози та інших лікарських речовин частково розчинний розпушувач може створювати в'язкий бар'єр, що утруднює дезінтеграцію в розчині. Переваги нерозчинних розпушувачів відомі давно. Розчинні дезінтегранти (натрієві солі альгінової кислоти і карбоксиметилцелюлози) при контакті з водою пептизуються і утворюють в'язкі колоїдні розчини, що ускладнюють проникнення води в капілярну систему таблетки. Для прояву більш сильного розпушуючого ефекту запропоновано використовувати синергічно діючу суміш крохмалю і нерозчинних дезінтегрантів: капілярний ефект крохмалю посилюється розклинюючою дією частинок набухаючої речовини.

Для таблеток, що містять розчинну речовину або розчинні наповнювачі, для поліпшення розчинення і підвищення міцності на стирання, крохмаль, як в'язучу речовину, доцільно вводити перед вологим гранулюванням. Сухий крохмаль, введений на стадії упудрювання гранул, виконує роль розпушувача.

**Гранулювання у псевдозрідженому шарі**, що є різновидом вологого гранулювання, здійснюється в різноманітній апаратурі, що випускається цілим

рядом зарубіжних фірм («Глатт», ФРН; «Аероматік», Швейцарія, НВО «Прогресс», Санкт-Петербург, Росія).

Конструкція апаратів дозволяє об'єднати ряд операцій: змішування компонентів, розпошення гранулюючих рідин через форсунку, гранулоутворення, сушіння, упудрювання ковзаючими речовинами.

Дана технологія має ряд *переваг* в порівнянні з традиційним отриманням гранулятів: скорочення енергоємності, виробничих площ і витрат на обладнання, зменшення тривалості процесу.

Новим різновидом **вологої грануляції** є грануляція в апаратах типу «Топо». Особливістю цієї конструкції є суміщення низки операцій в рамках однієї герметичної конструкції: автоматичне завантаження порошоків в апарат під дією вакууму; перемішування їх за допомогою спіральної мішалки у вакуумі; нагрів перемішуваної маси до 80-85 °С, подача гранулюючих рідини; видалення парів рідини за допомогою конденсації і гранулоутворення після досягнення максимальної в'язкості маси; упудрювання автоматично ковзаючими речовинами, які подаються; просіювання готового грануляту, поєднане з вивантаженням з апарату.

Конструкція «Топо» дозволяє також наносити частинки лікарської речовини на кристали носія, покриті плівкою розчинника і зв'язувальної речовини. Після вакуумного сушіння продукту одержують гранулят з високим ступенем однорідності розподілу речовини на носію.

Процес **прямого пресування**, завдяки відсутності операцій зволоження, сушіння і сухого гранулювання, має ряд *переваг*: виключається вплив вологи на нестабільні лікарські речовини; метод дає суттєву економію виробничих площ, витрат на обладнання, енергії і робочої сили.

Таблетки, отримані прямим пресуванням, характеризуються значно меншою мікробної забрудненістю, ніж при методі вологої грануляції. Пряме таблетування дозволяє значно підвищити продуктивність праці та одночасно покращити якість таблеток. Однак, впровадження прямого пресування вимагає більш високої культури виробництва, посилення контролю за якістю вихідної сировини, умовами його транспортування, зберігання, змішування і таблетування. Обмеженням для застосування даного методу частіше за все є низькі реологічні властивості негранульованих порошоків, що погіршуються при підвищенні їх дисперсності, що потрібно в ряді випадків для підвищення біодоступності препарату.

Перспективним методом підготовки матеріалу до таблетування є **пресове гранулювання**, що полягає в ущільненні порошоків та їх сумішей у спеціальних грануляторах без зволоження до отримання міцних, приблизно однакових за формою гранул.

Переваги пресового гранулювання, крім виключення впливу вологи на лікарські речовини, полягає в можливості розвивати високу пресувальне зусилля (до 1000-2000 МПа), що дозволяє гранулювати суміші, які характеризуються незначною придатністю до пресування.

Виробництво таблетованих препаратів складається з наступних основних технологічних стадій:

- підготовка вихідної сировини (подрібнення, просіювання);
- змішування інгредієнтів, що входять до таблетки;
- волога грануляція таблеткової маси;
- сушіння таблеткової маси;
- суха грануляція;
- знепилювання таблеток;
- фасування й упакування готової продукції.

Приготування таблеткової маси може здійснюватися двома методами:

- **метод механічної грануляції**, що складається з послідовної обробки маси у змішувачі, вологої грануляції, сушіння;

- **метод структурної грануляції**, що поєднує в одному апараті стадії змішування, сушіння і грануляції. Метод структурної грануляції використовує технологію псевдозрідженого («киплячого») шару, при цьому гранулююча рідина розпилюється за допомогою пневматичних форсунок.

Застосування апаратів «киплячого» шару дозволяє скоротити час процесу та необхідні енерго- і трудовитрати, поліпшити санітарно-гігієнічні умови та якість продукції. Гранули, отримані у псевдозрідженому шарі, у порівнянні з гранулами, отриманими механічним гранулюванням зі зволоженням, мають більш округлу форму, відрізняються кращою сипучістю і кращою спресованістю, більш збалансованим фракційним складом.

У випадках приготування таблеткової маси методом механічної грануляції використовуються, в основному, змішувачі.

В даний час ВАТ КБ автоматичних ліній «Ротор» закінчує підготовку виробництва для виготовлення нового виробу змішувача-гранулятора з об'ємом змішувальної чаші 300 літрів, призначеного для змішування порошків та виготовлення гранул.

Гранулятори сухої і вологої грануляції випускаються:

- ТОВ «Гайот», м. Санкт-Петербург;
- ВАТ КБ автоматичних ліній «Ротор», м. Єкатеринбург.

Для пресування таблеток на хіміко-фармацевтичних виробництвах використовуються в основному таблеткові преса типу РТМ, що випускалися раніше Маріупольським заводом технологічного обладнання. ВАТ КБ «Ротор»



(м. Єкатеринбург) розробив і випускає роторний автомат РАП-Т-3000, який, порівняно з таблет-машиною РТМ41М2 має ряд переваг, у т.ч.:

- передбачена заміна механізмів і деталей верхніх і нижніх копирів без розбирання автомата пресування;

- зовнішню поверхню виконано в полегшеному варіанті, збільшено її габарити;

- механізм пресування забезпечує регулювання зусилля пресування і оберігає від заклинювання пуансонів;

- регулювання швидкості обертання ротора безступінчасте від 15 до 57 об/хв;

- бункер підживлювача-дозатора забезпечений віброприводом.

КБ «Ротор» розширює номенклатуру таблеткових машин і з 2002 р. почав випуск однопоточних автоматів пресування РАП-Т-2000, в розробці знаходиться роторний-автомат пресування РАПТ-Е-30002М. Дані преса РАПТ-3000 (2-х потоковий) і РАПТІ-2000 (1-потоковий), відповідно 200 000 табл/год і 150 000 табл/год, виконані у відповідності зі стандартами GMP, а саме: мають капсульовані зони завантаження і таблетування, в них є системи контролю та управління над системами величин дози, зусиллями пресування, оборотами ротора. При цьому, настройка параметрів зберігається ручною.

### ***Обладнання процесу таблеткування***

Оскільки процеси та обладнання подрібнення, просіювання, змішування розглядалися в попередніх темах, а сушіння – в наступних, то в даному розділі ми зупинимося на грануляторах, таблет-пресах, устаткуванні для покриття таблеток оболонками, обладнанні для фасування і упаковки готової таблеткової продукції.

### **Гранулятори**

Обладнання, яке використовується для процесу грануляції називається *грануляторами*. Розглянемо основні типи грануляторів, які використовуються у виробництві таблеток.

*Гранулятор-80/120* (рис. 7.1) можна використовувати для сухого та вологого гранулювання. На вал електродвигуна встановлюється корпус сітчатого фільтра. У середину фільтра поміщається деталь з лопатями для протирання. Через завантажувальний бункер в гранулятор потрапляє необхідна кількість зволоженого матеріалу. Валом електродвигуна обертається сітчатий фільтр. Відцентровою силою через зазор між лопатями і отворами в сітці продавлюються порції порошку. Від діаметра отвору залежить форма і розмір отриманих гранул. Отримані гранули вивантажуються з корпусу гранулятора в

підставлену тару. Гранулятор-80 пристрій безперервної дії. Швидкість обертання гранулятора регулюється електронним блоком керування.

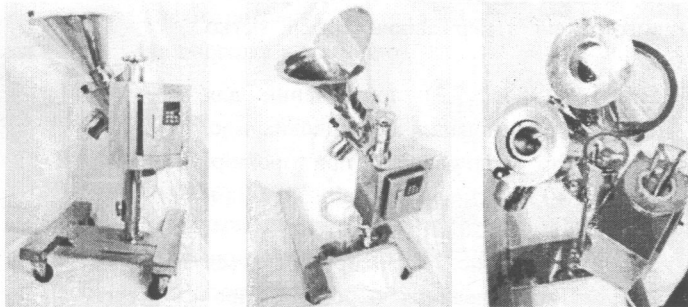
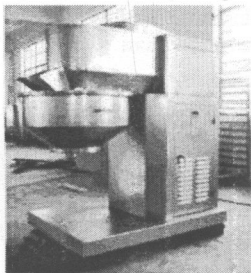


Рис. 7.1. Гранулятор-80/120

На корпусі гранулятора закріплений електронний блок керування швидкістю двигуна.

*Переваги цієї моделі перед аналогічними:*

- є відсутність контакту металевих частин між собою;
- використання перфорованих сіток дозволяє значно економити на витратних матеріалах;
- весь корпус гранулятора, бункер і лопаті виконані з нержавіючої сталі, що дозволяє використовувати м'які засоби при щоденній експлуатації обладнання;



- гранулятор має рухома підставку, є можливість обертання корпусу та зміна висоти гранулятора. Конструкція дуже стійка.

Продуктивність Гранулятора-80/120: при сухій грануляції (при розмірі комірки сита 2мм) – від 120 кг/год до 200 кг/год; при вологій грануляції (при розмірі комірки сита 2мм) – від 100 кг/год до 160 кг/год.

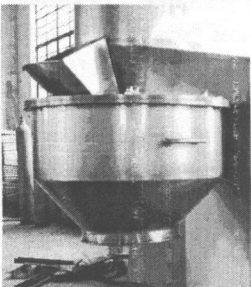


Рис. 7.2. Роторний гранулятор XXL-350

*Роторний гранулятор* (рис. 7.2) застосовується для виробництва циліндричних гранул діаметром 1-2-3 мм, довжиною 2-4 мм. Придатний для ледь зволоженого порошку. Продуктивність становить до 95% гранул. Регулювання сили стискання і продуктивність змінюються вручну, через системи регулювання швидкості, в залежності від властивостей матеріалів. Спеціальна конструкція з різними

екранами гранулювання (матрицями) дозволяє ефективно керувати довжиною готових гранул. Всі деталі, які контактують з продуктом виготовлені з нержавіючої сталі, легко замінюються.

**Гранулятор-30** (рис. 7.3) призначений для сухого та вологого гранулювання порошкових мас. Продуктивність: суха грануляція (при розмірі комірки сита 1мм) – 40 кг/год; волога грануляція (при розмірі комірки сита 1мм) – 20 кг/год.

**Гранулятор-міксер** (рис. 7.4) використовується для змішування та гранулювання порошоків. Продуктивність: суха

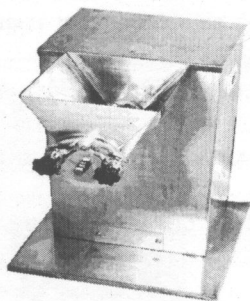


Рис. 7.3. Гранулятор-30

грануляція (при розмірі комірки сита 1мм) – 40 кг/год; волога грануляція (при розмірі комірки сита 1мм) – 20 кг/год. Бак і Т-подібні лопаті для змішування виготовлені з нержавіючої сталі. На бак зверху встановлюється кришка з нержавіючої сталі. Для вивантаження порошку після змішування бак нахилиється вниз. Перекидання бака здійснюється на 360°. Перемішування порошоків і гранулювання відбувається обертанням лопатей – 5 обертів в один бік і 5 - у протилежний.

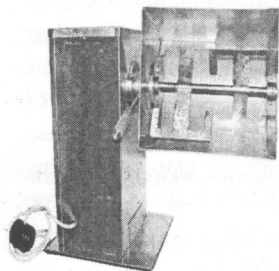


Рис. 7.4. Гранулятор-міксер

### Машини для таблетування

Сам процес таблетування виконується за допомогою спеціальних пресів, які називаються *таблет-пресами*. Для пресування у таблетки використовують такі основні типи таблеткових машин: ексцентричні, або ударні, і ротаційні.

Ексцентричні машини бувають полозкові і проміжні (башмачні) кривошипні машини. Основним робочим вузлом машин є *прес-інструмент*, що складається з матриць і пуансонів. Формуючі поверхні пуансонів виготовляються плоскими з фаскою і сферичними. Прес-інструмент повинен відповідати ОСТ 64-171-76 "Прес-інструмент для пресування медичних таблеток. Формуюча

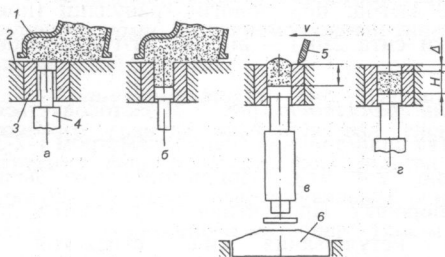


Рис. 7.5. Подача таблетованого матеріалу в матрицю:

а - початкове положення робочих органів; б - кінець подачі матеріалу; в - знімання надлишку матеріалу (дозування); г - опускання дози; 1 - підживлювач; 2 - матричний стіл; 3 - матриця; 4 - нижній пуансон;

частина. Типи, розміри й технічні вимоги".

Технологічний цикл виготовлення таблетки складається з таких операцій:

- подача і дозування порошку в матрицю (рис. 7.5),
- пресування порошку з утворенням компактної таблетки,
- виштовхування таблетки з матриці,
- скидання таблетки в тимчасову тару.

За способами пресування розрізняють однобічне, двобічне та ізостатичне пресування (рис. 7.6).

### Ексцентриккові машини

До ексцентриккових машин відносять ползкові і проміжні (башмачні) кривошипні машини. При роботі **ползкових машин** (рис. 8.7) завантажувальна лійка рухається на спеціальних ползках. Таблетований матеріал, що надходить із завантажувальної лійки, попадає в канал матриці, прикріпленої до матричного стола й обмеженої знизу нижнім пуансоном. Після цього лійка з матеріалом відсувається, верхній пуансон опускається вниз, спресовує матеріал і піднімається. Потім піднімається нижній пуансон і заштовхує таблетку, яка, поштовхом нижньої основи лійки, скидається у приймач. Ползкові машини мають ряд суттєвих *недоліків*. Основним з них є те, що пресування здійснюється тільки з одного боку – зверху й короткочасно, по типу удару. Тиск пресування в таблетці розподіляється нерівномірно (верхня половина ущільнена більше), а деякі порошки погано пресуються внаслідок короткочасності циклу стискання. Такі машини малопродуктивні (30-50 таблеток у хвилину).

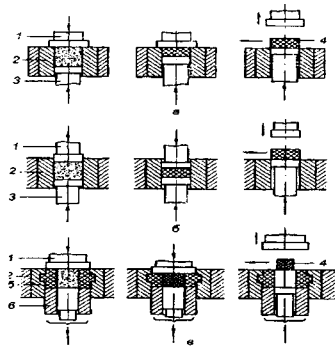


Рис. 7.6. Способи пресування матеріалу в матриці:

а - однобічне, б - двобічне, в - ізостатичне,  
1 - верхній пуансон; 2 - матриця; 3 - нижній пуансон; 4 - таблетка; 5 - гума матриці;  
6 - телескопічний пуансон.

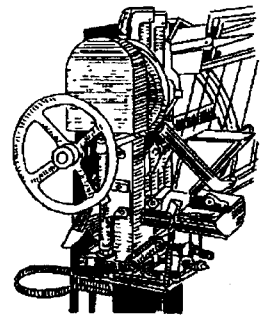
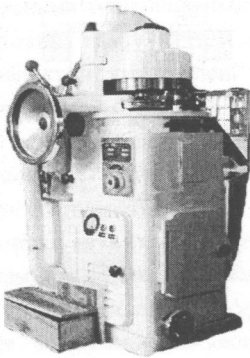


Рис. 7.7. Ползкова машина



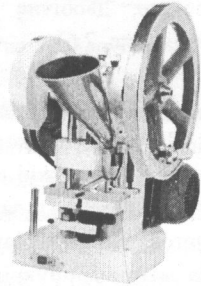
*Рис. 7.9. Роторний  
таблетпрес 3П-19*

**Проміжні таблетувальні машини (башмачні)** за конструкцією й принципом роботи близькі до полозкових, але відрізняються від останніх нерухомістю завантажувальної лійки і матриці. Таблетований матеріал подається у матрицю за допомогою рухливого башмака, приєднаного до лійки за допомогою шарніра. Такий пристрій живильного вузла зменшує можливість руйнування й розшарування грануляту.

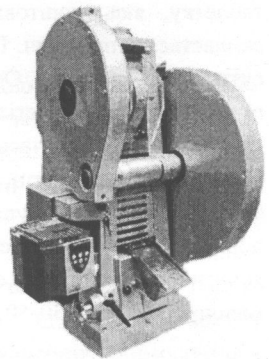
**Ротаційні таблеткові машини (РТМ)** (рис. 7.9, 7.10) широко використовуються фармацевтичною промисловістю України.

На відміну від ударних машин РТМ мають велику кількість матриць і пуансонів (від 12 до 57). Матриці вмонтовані в обертовий матричний стіл. Тиск у РТМ нарастає поступово, що забезпечує м'яке і рівномірне пресування таблеток. РТМ мають високу продуктивність (до 0,5 млн таблеток у годину). Технологічний цикл таблеткування на РТМ

складається з ряду послідовних операцій: заповнення матриць таблетованим матеріалом (об'ємний метод дозування), власне пресування, виштовхування і скидання таблеток. Операції виконуються послідовно і автоматично. Пуансони верхні і нижні ковзають по направляючим і проходять між роликками, що пресують і на них одночасно тиснуть на них. Тиск нарастає й зменшується поступово, що приводить до рівномірного і м'якого пресування таблетки зверху і знизу. У залежності від типу такі машини можуть бути оснащені однією або двома нерухомими завантажувальними лійками, в які може бути встановлена мішалка.



*Прес 1-пуансонний настільний  
таблетковий, модель  
"Таблетпрес 6000S"*



*Рис. 7.10. Роторний  
таблетпрес 3П-33*

Автоматичний високошвидкісний ротаційний таблетковий прес подвійного пресування серії GZPS (GZPS-49/61/73/79) зображено на рис. 7.11. Продуктивність: GZPS-49 – 94000-423000 табл/год, GZPS-61 – 117000-526000 табл/год, GZPS-73 – 140000-630000 табл/год, GZPS-79 – 140000-758000 табл/год.

Преси GZPS мають ряд переваг – високу точність, швидкість виробництва і високий ступінь автоматизації. Вони є ідеальним устаткуванням для масового виробництва таблеток, оскільки створюють високий робочий тиск, формують таблетки великого діаметру, точні і легкі в обслуговуванні та відповідають вимогам GMP. На них можна отримувати двошарові таблетки з різними кольорами, таблетки у вигляді кілець, круглі та таблетки фігурних форм.

Кривошипні таблетувальні машини (КТМ) менш розповсюджені і використовуються на виробництвах малої потужності та для експериментальних робіт. Вони є однопозиційними машинами, в яких, при виконанні основних операцій, об'єкт обробки не здійснює транспортного руху. Кожну операцію технологічного циклу виконує окремий механізм. Загальний вигляд КТМ типу *ТП-1М*, яка найбільш поширена у

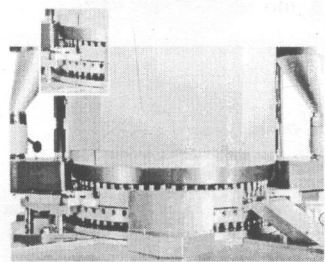


Рис. 7.11. Роторний прес GZPS-49/61/73/79

своєму класі на вітчизняних фармацевтичних виробництвах, показаний на рис. 7.12.

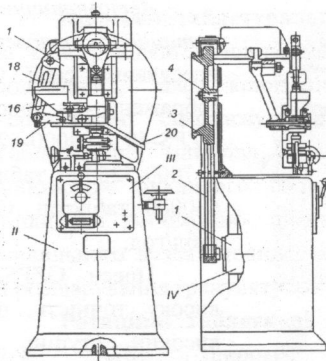


Рис. 7.12. Таблетувальна машина ТП-1М:

- I - корпус; II - станина; III - пульт керування; IV - привід;  
 1 - тришвидкісний електродвигун; 2 - клиноремінна передача; 3 - шків-маховик; 4 - проміжний вал;  
 5 - шестерня; 6 - колесо копіра; 7 - кривошипний вал; 8 - шатун; 9 - повзун; 10 - спрямовуюча;  
 11 - штовхач; 12 - пуансон; 13 - матриця; 14 - блок пресування; 15 - нижній пуансон; 16 - живильник;  
 17 - ролик; 18 - коромисло; 19 - тяга; 20 - лоток; 21 - штанга; 22 - ролик; 23 - виштовхувач;  
 24 - регулювальна гайка; 25 - нижній штовхач

Випускаються таблеткові машини різних марок: РТМ-24; РТМ-3028; РТМ-41; РТМ-41М та ін. Широко використовується РТМ-41 М2В, що має 41 пару прес-інструмента і дозволяє випускати таблетки діаметром 5-15 мм і 20 мм. Для прямого пресування призначена РТМ-3028, що має 57 пар пуансонів. РТМ-300М служить для виробництва таблеток циліндричної форми невеликих діаметрів із плоскими і сферичними торцями.

### Обладнання для покриття таблеток оболонками

Таблетки часто покривають оболонками. Всі покриття, які наносять на таблетки, можна поділити на 3 групи: дражерувальні; плівкові; пресовані.

Дражерування проводиться в дражерувальних котлах (рис. 7.13-7.15). В наш час дражерується значна кількість таблеток, в т.ч. таблетки деяких гормональних препаратів (тиреоїдин); жовчогінних засобів (алахол), препаратів миш'яку (азіатські таблетки), фосфору (лецитин-церебро, ліпоцеребрин-фосфрен) і великої кількості синтетичних препаратів.

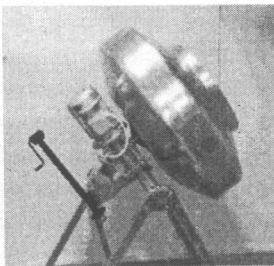


Рис. 7.13. Дражерувальний котел для покриття драже цукровою оболонкою

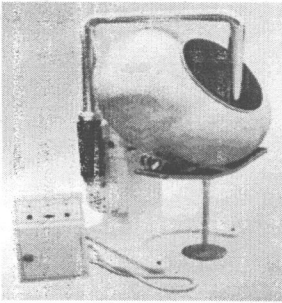


Рис. 7.14. Дращувальний котел серії ВУ із зовнішнім підігрівом і подачею всередину гарячого повітря

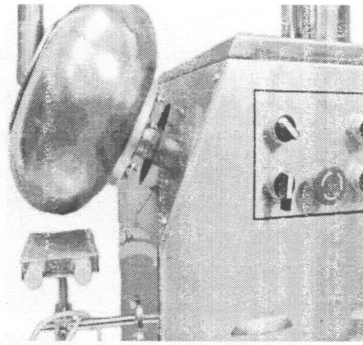


Рис. 7.15. Дращувальний котел D-300 для нанесення полірованих органічних оболонок на основі цукрового сиропу

В якості плівкового покриття для таблеток застосовують 2 групи речовин: розчинні у воді і шлунковому соці та нерозчинні у воді і в шлунковому соці, але розчинні в кишечних рідинах.

Установка для покриття цукровою оболонкою і обгортання в плівку

("коутер") серії GBS (рис. 7.16) використовується зазвичай у фармацевтичній промисловості для покриття таблеток, пілюль цукровою оболонкою, а також для обгортання органічною і водорозчинною плівкою. Установка економічна, безпечна, гігієнічна, зручна в керуванні. Покриття плівкою відбувається протягом 1-2 годин; безперервно і одночасно розпилюється плівковий матеріал, відбувається сушіння, видаляється відпрацьоване повітря. Дана установка є вибухозахищеним пристроєм для роботи з органічними розчинниками і органічною плівкою,

не виділяє пилу, не дає розбризкування. Процес подачі і відведення продукту автоматизований.

Коутер серії ВГ складається з головної установки, комп'ютерної системи керування, камери подачі (гарячого) повітря, камери видалення повітря, розпилювального пристрою, пристрою для автоматичної подачі і відведення продукту.

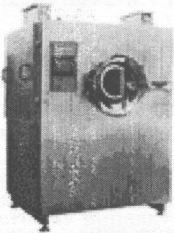
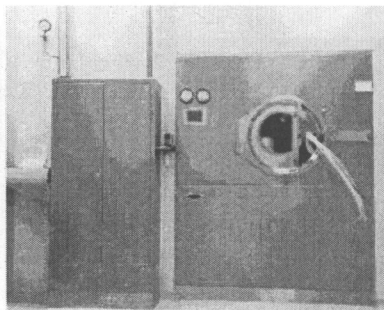
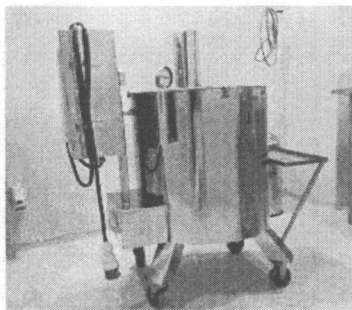


Рис. 7.16. Установка для покриття цукровою оболонкою і обгортання плівкою ("коутер") серії GBS





Установка для нанесення плівкової оболонки VGB-150E

**Пресовані покриття.** Цей спосіб накладання оболонок потребує таблеткових машин спеціальних конструкцій. Таблетки повинні мати гладку однорідну поверхню.

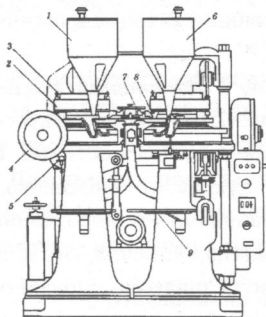


Рис. 7.17. Ротаційна таблетувальна машина РТМ-24Д:

- 1-бункер із гранулятом, 2-ротор,
- 3-пуансон; 4-ролик; 5-регулювальний гвинт, 6-бункер із масою для оболонки;
- 7, 8-передавачі; 9-емність для готових таблеток

Нанесення оболонок пресуванням («сухі» покриття) здійснюють за допомогою *таблеткових машин типу «Драйкота»* англійської фірми Манесті або вітчизняної РТМ-24 Д. Машина є подвосним агрегатом, який складається з двох роторів (рис. 7.17). На першому роторі, звичайним способом, пресуються таблетки – ядра двоопуклої форми, які за допомогою спеціального транспортного пристрою подаються на другий ротор, де відбувається нанесення покриття. Нанесення покриття пресуванням відбувається в два етапи. Спочатку заповнюється гніздо матриці порцією грануляту, що необхідний для утворення нижньої частини (половини) покриття, потім на гранулят по спеціальних направляючих з першого ротора подається таблетка-ядро, на яку наноситься покриття.

Після фіксації таблетки, точно по центру гнізда матриці, нижній пуансон трохи опускається, тоді опускається верхній пуансон, який трохи впресовує таблетку-ядро в порцію грануляту, що знаходиться під нею, або створює над таблеткою простір для заповнення другою порцією грануляту. Після подачі цієї порції остаточно формується покриття шляхом пресування, яке здійснюється одночасно верхнім і нижнім пуансонами. На останній стадії здійснюється виштовхування таблетки, яка вже покрита оболонкою. Продуктивність машини 10-500 табл./год.

## Обладнання для полірування таблеток

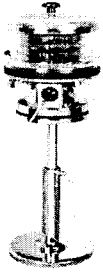


Рис. 7.18. Полірувальник таблеток SZ-300A

*Полірувальник таблеток SZ-300A* (рис. 7.18). Дана машина розроблена, щоб видаляти з поверхні таблеток пил. Зазвичай таким полірувальником комплектують всі роторні таблетпреси. Продуктивність даного обладнання: до 550 000 табл/год. В даній установці використовується електромагнітний принцип для коливання сита вібраціями, проводячи очищення таблеток з високою швидкістю.



Рис. 7.19. Полірувальник таблеток і капсул YPJ-II

*Полірувальник для таблеток і капсул YPJ-II* – це порівняно новий вид фармацевтичного устаткування (рис. 7.19). Його використання відповідає вимогам санітарних норм у фармацевтичній галузі: установка очищає поверхню готових таблеток і капсул від залишків порошку; використовується двигун з плавним перемиканням швидкості. Рама і сита виготовлені з нержавіючої сталі та забезпечують міцність і надійність, а також і довговічність. Може використовуватися для обробки будь-яких видів таблеток і капсул.

## Фасувальне та пакувальне обладнання для таблеток

Вибір виду упаковки й пакувальних матеріалів вирішується в кожному конкретному випадку індивідуально, в залежності від фізико-хімічних властивостей речовин, що входять до складу таблеток. Однією з найважливіших вимог до пакувальних матеріалів є захист таблеток від впливу світла, атмосферної вологи, кисню повітря, мікробної контамінації.

У виробництві таблеток використовують такі види упаковок: скляні й металеві банки, скляні флакони, скляні й металеві пенали. Однак найбільш перспективними є плівкові контурні упаковки, які одержують на основі комбінованих матеріалів методом термозварювання; контурні упаковки і контурні безосередкові упаковки. Всі види упаковок маркують, наносячи такі дані: найменування таблеток, склад (із вказанням дозування діючих речовин), назву підприємства-виробника, номер серії, термін придатності, умови зберігання, кількість таблеток в упаковці.

Для контурних безкоміркових упаковок в різних поєднаннях широко застосовуються ламінована целофанова стрічка, алюмінієва фольга,

ламінований папір, полімерна плівка. Упаковка виробляється термозварюванням двох упаковочних матеріалів.

Коміркові контурні упаковки складаються із двох основних елементів: плівки, з якої термоформуванням одержують осередки, і термозварної або самоклеючої плівки, якою заклеюють комірки після заповнення їх таблетками. У якості термоформованої плівки найчастіше застосовується твердий (непластифікований) або слабопластифікований полівінілхлорид (ПВХ) товщиною 0,2-0,35 мм та більше. Плівка ПВХ добре формується й термосклеюється з різними матеріалами (фольгою, полімерною плівкою, папером, картоном), покритими термолаківим шаром; це найпоширеніший матеріал, який використовують для упаковки негігроскопічних таблеток, драже, капсул. Для гігроскопічних лікарських препаратів рекомендується використовувати поліпропілен, але він важче піддається формуванню; крім того, він твердіший за ПВХ.

Полістирол також добре формується, але через високу вологопроникність застосовується рідше. Для закривання комірок найчастіше використовують алюмінієву фольгу. Із внутрішньої сторони вона покрита клеєм або термосклеюваною плівкою, а з зовнішньої – лаком. Алюмінієва фольга непроникна для парів води й газів, добре захищає препарати від проникнення запахів. Упаковка, що має в якості одного із шарів алюмінієву фольгу, відрізняється меншою проникністю, а така, що складається цілком з алюмінієвої фольги, забезпечує високу герметичність.

Для пакування таблеток у блістери при циклічному формуванні використовують автомат 3004.6, а при безперервному – автомати типу 557, 558 і 213. Для комплектування контурних коміркових упаковок у пачки використовують автомати типу 584 і 3004.7, розроблені НПО "Прогрес", що випускались серійно Маріупольським ЗТО, і автомати "Бегуас 80", "Бегуас 160" (Німеччина).

Термоформована плівка з рулону безупинно змотується й надходить на обертовий барабан формування, де вона розігрівається інфрачервоними променями до пластичного стану, а потім за допомогою вакууму присмоктується до комірок барабана, приймаючи необхідну форму. Далі плівка надходить на напрямний стіл, де відбувається заповнення комірок плівки таблетками. Потім плівка зверху покривається алюмінієвою фольгою або папером, що змотується з рулону, і за допомогою холодного й гарячого барабанів склеюється. Отримана стрічка з таблетками вирубується на вирубному штампі. Готові упаковки по лотку сходять із автомата, а вирубана стрічка, що залишилася, змотується в рулон, який потім видаляється з машини.

Пакування таблеток у скляну тару (банки, флакони, пробірки) забезпечує герметичність упаковки. Для фасування у скляні пробірки використовують автомати типу 472 з одночасним закупорюванням пробірок поліетиленою пробкою з амортизатором.

Для наклеювання етикеток на скляні трубки застосовують автомати типу 450, а для упаковки трубок у пенали – автомати типу 455 НВО "Прогресс". Для фасування таблеток у склотару з різьбовим горлом Маріупольським ЗТО випускається автоматична лінія типу 3012.

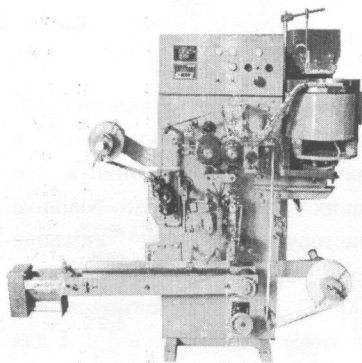


Рис. 7.20. Автомат для безкоміркового пакування таблеток АУТ-2

*Автомат для безкоміркового пакування таблеток між двома стрічками термозварювального матеріалу АУТ-2* (рис. 7.20) призначений для дворядного пакування плоско-циліндричних таблеток між двома стрічками, наприклад, із паперу з поліетиленовим покриттям та інших подібних матеріалів. Автомат виконує такі дії: орієнтована подача таблеток з вібробункера, пакування (термозварювання стрічок), нанесення реквізитів, нарізання, пакування блістерів у картонні коробки з одночасним підрахунком.

### **Блістерні машини**

Принцип дії таких автоматів полягає у:

- розмотуванні хлорвінілової плівки на спеціальному вузлі розмотування;
- подачі плівки на механізм формування комірок, куди змінно подають гаряче повітря, а потім повітря відсмоктують, в результаті чого у плівці формуються комірки;
- заповненні комірок таблетками, які надходять з бункера;
- термосклеюванні пластикової стрічки з таблетками зі стрічкою з алюмінієвою фольгою, на яку нанесено шар харчового лаку, здатний термосклеюватись;
- відтисненні на упаковках реквізитних даних;
- вирубуванні блістерів і відраховуванні необхідної їх кількості у пачку;
- пакуванні пачок блістерів у коробки.

Усі операції проводяться автоматично і під фотоелементним контролем.

На рис. 7.21 наведено схему *автомата С70* фірми "ІМА" (Італія) для пакування таблеток у блістери та блістерів у коробки.

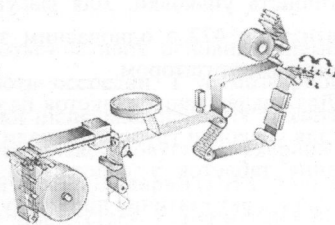
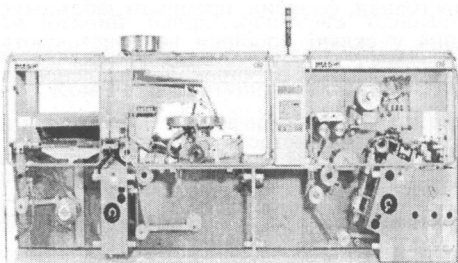


Рис. 7.21. Схема автомата С70.

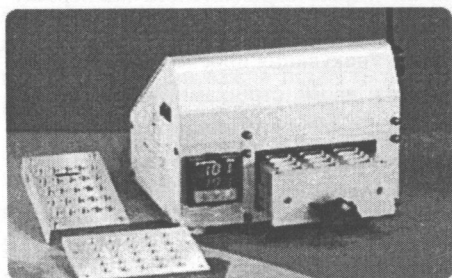


Рис. 7.22. Ручна білістерна машина АВ-1

**Ручна білістерна машина АВ-1**, рис. 7.22, призначена для роботи в умовах невеликих виробництв або дослідних лабораторій. Машина використовується для спікання білістерів і працює при температурах до 200° С і використовується для різних типів матеріалів, в т.ч. і для ALU-ALU білістерів. Розміри білістерів змінюються заміною форматних частин. Машина може бути оснащена пристроєм виводу дати випуску і терміну придатності.

Удосконалена **автоматична білістерна машина** (рис. 7.23) призначена для здійснення повного циклу виробництва білістера: нагрівання і формування плівки ПВХ, наповнення білістера продуктом, спікання, перфорація, нанесення коду та балансування. Як наповнювачі можуть бути використані таблетки, капсули, пігулки і т.п. У машині використовується вал перехресного типу для спікання білістерів, результатом цього є відсутність температурного впливу на медичний препарат, гарний вигляд упаковки та покращення її властивостей.

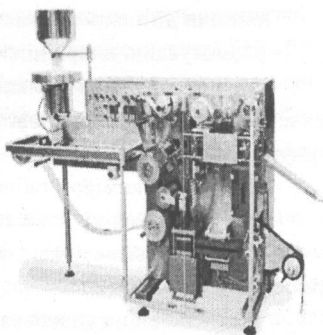


Рис. 7.23. Автоматична білістерна машина KDB-120

Відсутність відходів при поділі сусідніх білістерів дозволяє зберегти кошти на витратні матеріали. Особливостями конструкції автоматичної білістерної машини KDB-120 (рис. 7.23) є:

- автоматичний пристрій завантаження таблеток і капсул;

- система виявлення незаповненого блістера;
- автоматична система орієнтації (для капсул);
- вал перехресного типу захисту комірки від потрапляння гарячого повітря, що забезпечує збереження препарату.

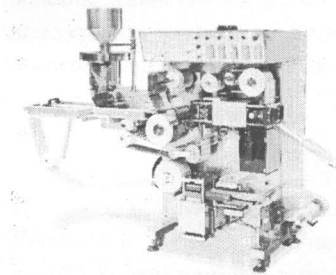


Рис. 7.24. Блістерна машина KDB-120ALU

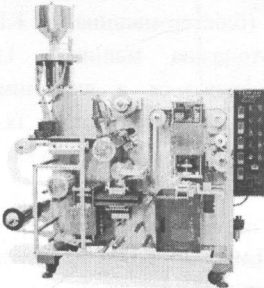


Рис. 7.25. Автоматична блістерна машина KDB-240

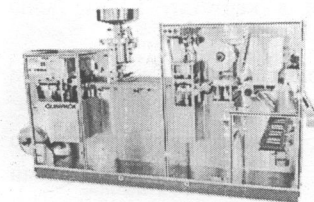


Рис. 7.26. Блістерна машина Clinipack

**Блістерна машина KDB-120ALU** (рис. 7.24) має характеристики, схожі з KDB-120 та, крім того, здатна упаковувати продукцію в алюмінієву плівку з обох сторін, для кращого збереження і захисту від світлових променів.

У циклі виготовлення блістера відбуваються: холодне формування, наповнення блістера продуктом, спікання, перфорація, нанесення коду та балансування.

Відсутність зазору між сусідніми блістерами при обрізанні суттєво зменшує кількість відходів та дозволяє заощадити кошти на витратні матеріали.

Високошвидкісна **автоматична блістерна машина KDB-240** (рис. 7.25) застосовується для здійснення повного циклу виробництва блістера: нагрів і формування плівки ПВХ, наповнення блістера продуктом, спікання, перфорація, нанесення коду та балансування.

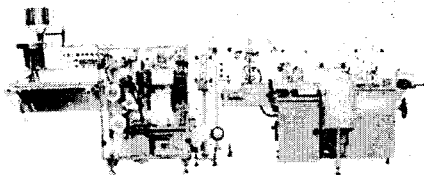
Особливостями конструкції автоматичної блістерної машини KDB-240 є: автоматичний пристрій завантаження таблеток і капсул; система виявлення незаповненого блістера; система виявлення несправностей із зазначенням місця несправності; автоматична система орієнтації (для капсул); вихід продукту в 4 рази більший, ніж у традиційних блістерних машин мозаїчного типу.

Машина **Clinipack** – це компактна, економічна і гнучка в застосуванні блістерна машина, призначена для клінічних випробувань, а також невеликих і середніх виробництв (рис. 7.26). Вона розроблена для дослідження і роботи у фармацевтичній промисловості та призначена для невеликих фармацевтичних

компаній. Зміна формату в машині здійснюється без допомоги інструментів і спеціальних пристосувань та займає 20 хвилин. У машині Clinipack може застосовуватися термоформування або холодне формування блістерів з використанням всіх доступних видів пакувальних матеріалів.

*Перевагами Clinipack є:*

- найбільша економічна машина у своєму класі;
- компактність і проста конструкція;
- армована нержавіючою сталлю;
- відповідність стандартам GMP;
- наявність одинарного і подвійного ряду блістерів.



*Рис. 7.27. Автоматична блістерно-картонажна машина KDM-920*

Модель KDM-920 – це *автоматична блістерно-картонажна машина* (рис. 7.27), що є вдалою конструкторською розробкою з об'єднання моделей KDB-120 (блістер-машина) і KDM-900 (картонажна машина). Цикл роботи складається з виробництва блістерів і переміщення їх у картонажну машину, де відбувається

їх упаковка в картонні коробки.

Максимальна продуктивність: 100 коробок/хв.

*Переваги автоматичної блістерно-картонажної машини KDM-920:*

- всі зовнішні поверхні машини виготовлені з нержавіючої сталі;
- система керування із сенсорним екраном оснащена детекторними системами для виявлення наступних ситуацій:
  - за відсутності фасованого продукту, картонна пачка не буде відкрита,
  - за відсутності картонної пачки, інструкція не буде міститися в коробці,
  - за відсутності картонної пачки та інструкції, машина автоматично зупиняється,
  - якщо продукт і інструкція не завантажені в картонну пачку, вона автоматично відводиться з конвеєра;
- якщо накопичувальний магазин для блістерів переповнений, блістери передаються до резервного контейнеру без зупинки роботи лінії;
- картонажна машина KDM-900 може бути об'єднана, як з блістерною машиною KDB-120, так і з автоматичними рахувально-фасувальними машинами, а також машинами для розливу.

*Автомат для фасування таблеток у скляні трубки, скляні банки і полімерні пенали.* Автомат 472P-K призначений для фасування таблеток у

скляні трубки і закорковування трубок поліетиленовими корками (рис. 7.28). Скляні трубки з бункера 5 за допомогою віброплатки надходять у комірки зірочки механізму подачі 3, який, обертаючись, передає трубки у вирізи ротора 9. Ротор 9, рухаючись з перервами, пересуває трубки на позиції заштовхування таблеток. Таблетки по лотку 8, який має 20 напрямів, надходять на позиції зштовхування, з похило встановленого бункера таблеток 6, за допомогою зубчатого валу живильника і віброплити 2.

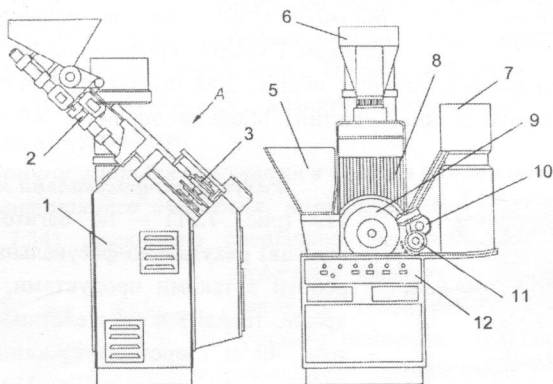


Рис. 7.28. Автомат для фасування таблеток у скляні трубки 472Р-К.

У момент, коли ротор стоїть, штовхач подає їх по одній, 10 або 20 таблеток у трубку, притиснену до ротора 9 стрічкою. На 21-й позиції (на 11-й, якщо фасуються 10 таблеток) кожна трубка підлягає фотоелектронному контролю на повноту заповнення за допомогою пристрою 10, а на наступній позиції механізм 11 закриває трубку корком, після чого за допомогою пристрою 10 контролюється якість коркування трубки. Корки надходять з віробункера 7.

### Рахувально-фасувальне обладнання

**Машина СРЕ-6** – електронна рахувальна машина (рис. 7.29), призначена для відраховування таблеток і капсул та ін. твердих форм лікарських засобів, вітамінів і БАД у флакони з різними геометричними параметрами. Машина має систему управління за допомогою PLC з Touch Screen дисплеєм, за допомогою якого задаються параметри процесу і відображаються дані про налаштування машини.

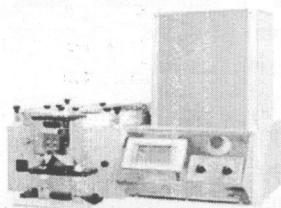


Рис. 7.29. Рахувальна машина СРЕ-6



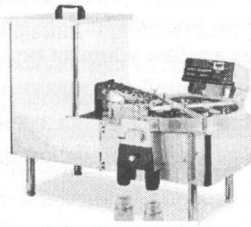


Рис. 7.30. Рахувальна машина KDC-101

дозволяє досягти високої точності обліку. Для продуктів різного розміру необхідно додаткових змінних частин. Машина зручна в обслуговуванні і очистці.

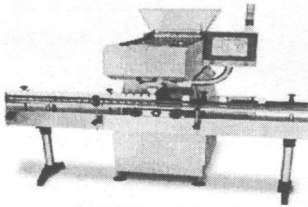


Рис. 7.31. Рахувально-фасувальна машина KDC-212

ефективний підрахунок і наповнення. Максимальна швидкість рахунку – 6000 шт/хв. Оснащена системою видалення пилу і сколів таблеток та автоматичною системою подачі банок.

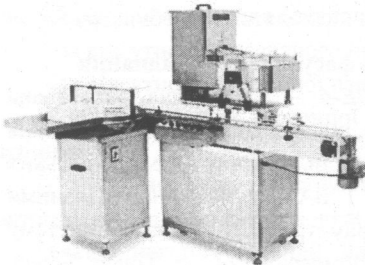


Рис. 7.32. Автоматична рахувальна машина KDV-3

банок/флаконів. Проста в експлуатації та налаштуванні, є можливість регулювання швидкості підрахунку та швидкості конвеєра.

**Рахувальна машина KDC-101** (Рис. 7.30) – високошвидкісна і ефективна рахувальна машина. Розроблена для підрахунку таких типів продуктів, як капсули, таблетки, драже, пігулки і т.п. Дана машина має корозійно-стійкий кожух, завантажувальну ємність зі скловолокна та скляний поворотний стіл, який відповідає вимогам стандартів GMP. Система, оснащена світловим датчиком і комп'ютеризованим лічильником, що

**Рахувально-фасувальна машина KDC-212** (рис. 7.31) – це багатоканальна (12 каналів) рахувально-фасувальна машина для роботи з такими продуктами, як таблетки, драже, тверді і м'які желатинові капсули (у тому числі і прозорі) та наповнення ними банок. Модель KDC-212 оснащена оптичними датчиками і комп'ютерною системою відліку, що забезпечує точний і

**Рахувальна машина KDV-3** (рис. 7.32) – це автоматична машина для точного підрахунку таблеток, капсул, драже і подібних продуктів і наповнення ними банок (контейнерів). Дана машина складається з лічильної машини KDC-101, поворотного столу, конвеєра, систем електричного і пневматичного контролю. Дана машина може бути об'єднана у виробничу лінію з іншими машинами. Вона може працювати з різними типами

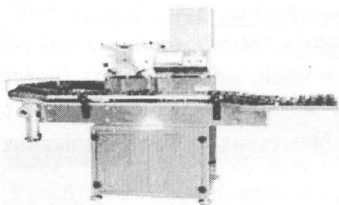


Рис. 7.33. Рахувально-пакувальна машина SAV-1

розміщений конвеєр з транспортуючою стрічкою, рух якого здійснюється двигуном з регульованою швидкістю. Подача флаконів проводиться з поворотного столу. Продуктивність машини залежить від типу і розміру продукту, параметрів упаковки.

**Автоматична лінія для фасування в банки з їх подальшим закриттям з функціями повітряного очищення, наповнення та закупорювання тари KDV-7** (рис. 7.34) розроблена спеціально для автоматичного фасування

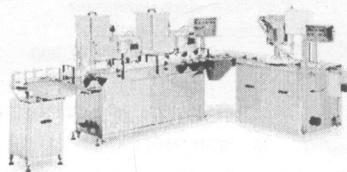


Рис. 7.34. Автоматична лінія для фасування в банки з їх подальшим закриттям з функціями повітряного очищення KDV-7

продуктів фармакологічного виробництва, таких, як таблетки, капсули, драже і т.п. Машина оснащена функціями ретельного очищення тари, точного підрахунку продукту та закриття, а також системою моніторингу. Поворотний стіл, конвеєр, завантажувальна ємність, кожух і робочі поверхні виготовлені з нержавіючої сталі, що відповідає вимогам стандарту GMP. Машина проста в налаштуванні і обслуговуванні, легко регулюється під різні розміри банок і кришок.

### Картонажні машини

**Напіваавтоматична картонажна машина вертикального типу KDM-300** (рис. 7.35) автоматично відкриває картонні коробки для їх подальшого ручного наповнення та подальшого автоматичного закриття.

Машина KDM-300 здатна працювати з різними типами картонних коробок для блістерів, флаконів, пакетиків, саше або туб.

У цьому модельному ряді представлена також картонажна машина для спікання термоклеєм (модель: KDM-300Н-

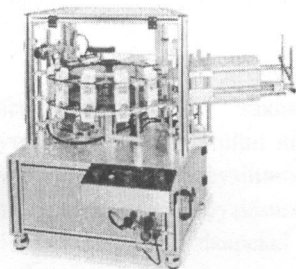


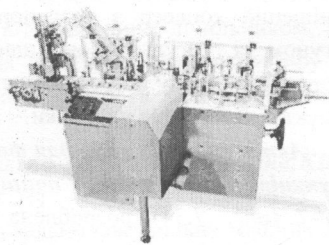
Рис. 7.35. Напіваавтоматична картонажна машина вертикального типу KDM-300

горизонтальний тип). *Переваги* даної моделі: встановлення змінних форматних частин займає близько 20 хв.; малі габарити апарату; регулювання швидкості відбувається в залежності від вимог виробника; є опції, які включають гаряче штампування для друку на коробці дати випуску або номеру серії, регулюють автоматичне заповнення коробок, включають використання технології спікання термоклеєм.

*Автоматична картонажна машина горизонтального типу KDM-900* (рис. 7.36) при роботі здійснює автоматичне відкриття картонних коробок, їх подальше наповнення готовим продуктом, розміщення усередині інструкції до продукту, нанесення коду на коробку і подальше закриття.

Машина KDM-300 здатна працювати з різними типами картонних коробок. В якості продукту можуть бути використані блістери, флакони, пакетики, саше або туби. У машині KDM-300 застосовується одиночна лінія просування продукту з механічним поділом етапів для досягнення високої точності, зносостійкості і збільшення продуктивності. Дана установка може бути використана для пакування в листовій формі, за допомогою спікання термоклеєм і з застосуванням друку на упаковці для найкращої відповідності всім побажанням замовника.

У цьому модельному ряді представлена також картонажна машина для спікання термоклеєм (модель: KDM-900H-горизонтальний тип).



*Рис. 7.36. Автоматична картонажна машина горизонтального типу KDM-900*

## Розділ 8. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ІН'ЄКЦІЙНИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

Згідно NFC-класифікації форм випуску препаратів, а також за підсумками роздрібного і госпітального сегментів фармацевтичного ринку України в 2015 році друге місце займав клас F «Парентеральні». Вони склали відповідно 33 % всіх споживаних лікарських засобів (в упаковках). У грошовому виразі парентеральні звичайні форми приносять більше грошей, ніж оральні тверді звичайні препарати. Серед імпортованих препаратів парентеральні звичайні препарати займають лише третє місце з часткою 11 % (рис. 8.1).

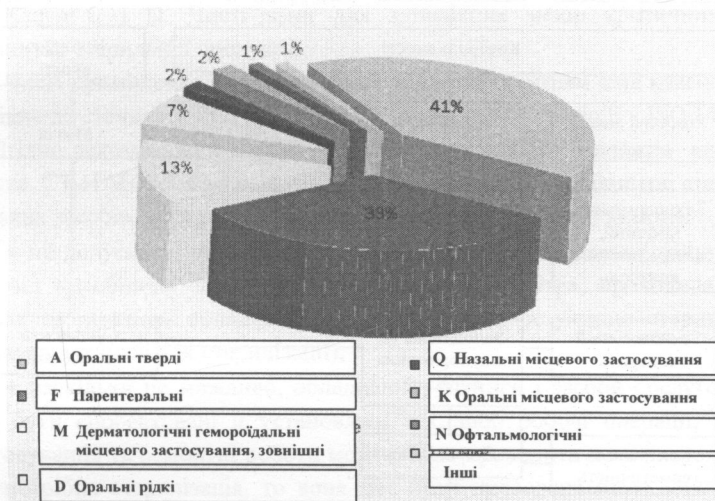


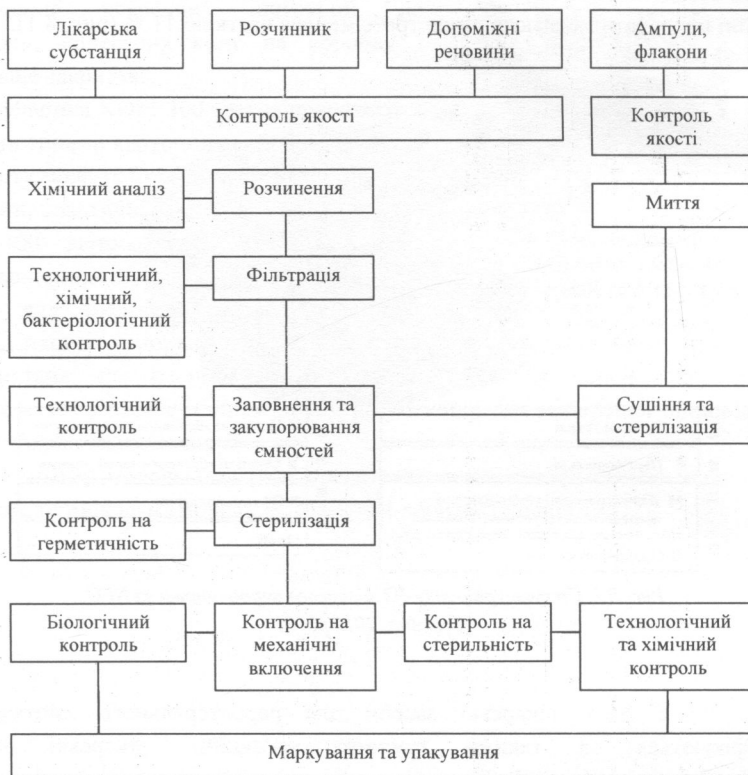
Рис. 8.1. Структура ринку ЛЗ місцевого виробництва за NFC, Україна, 2015 рік %

Згідно з ДФУ лікарські засоби для парентерального застосування класифікуються за такими групами: ін'єкційні лікарські засоби; внутрішньовенні інфузійні лікарські засоби; концентрати для ін'єкційних або внутрішньовенних інфузійних лікарських засобів; порошки для ін'єкційних або внутрішньовенних інфузійних лікарських засобів; імпланти.

Парентеральні лікарські засоби заводського виробництва випускаються в емкостях зі скла (ампули, флакони), прозорих пластмасових упаковках із полімерних матеріалів (флакони, шприц-ампули, гнучкі контейнери).

Виробничий процес інфузійних і ін'єкційних препаратів складається з:

- підготовки сировини, води, грануляту поліетилену для первинної упаковки;
- приготування і фільтрації розчину;
- виготовлення, наповнення, герметизації флаконів і ампул з розчином на машині розливу;
- стерилізації ампул (флаконів) з розчином;
- перевірки ампул (флаконів) на герметичність;
- маркування і упакування готового продукту.



*Загальна схема технологічного виробництва ін'єкційних розчинів в ампулах*

Для виробництва стерильних лікарських засобів виділяють чотири класи.

Клас А: Локальна зона для операцій, що становлять високий ризик для

якості продукції, наприклад: зони дозування, закупорювання ємностей, відкривання ампул і флаконів, змішування в асептичних умовах. Як правило, такі умови забезпечуються ламінарним потоком повітря на робочому місці. Системи ламінарного потоку повітря мають забезпечувати рівномірну швидкість повітря в діапазоні 0,36-0,54 м/с, що застосовується до відкритого робочого місця в чистій кімнаті. Підтримування ламінарності має бути доказаним та валідованим. У закритих ізоляторах та боксах із рукавичками можна використовувати односпрямований потік повітря із меншими швидкостями.

**Клас В:** Навколишнє середовище для зони класу А у разі виготовлення і наповнення в асептичних умовах.

**Класи С і D:** Чисті зони для здійснення менш критичних стадій виробництва стерильної продукції.

Чисті приміщення та устаткування з чистим повітрям слід класифікувати відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ ІСО 14644-1:2004 та/або EN ISO 14644-1.

Згідно рекомендацій Настанови «Лікарські засоби. Належна виробнича практика. СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2010» до обладнання при виробництві стерильних лікарських засобів, крім загальних висуваються ще додаткові вимоги:

- не допускати, щоб через перегородку, що відокремлює зону класу А або В від виробничої зони з нижчою чистотою повітря, проходила стрічка конвеєра за винятком випадків, коли сама стрічка безупинно стерилізується (наприклад, у тунелі для стерилізації);

- наскільки це можливо, обладнання, фітінги і засоби обслуговування мають бути спроектовані й установлені так, щоб робочі операції, технічне обслуговування та ремонтні роботи можна було проводити поза чистою зоною. Якщо потрібна стерилізація, то вона має бути проведена після максимально повного монтажу обладнання.

- якщо обслуговування обладнання було проведене всередині чистої зони, і необхідні норми чистоти (асептики) були порушені під час цієї роботи, то зона має бути очищена, продезінфікована (простерилізована) до поновлення процесу;

- установки для підготовки води і системи її розподілу слід проектувати, конструювати й експлуатувати так, щоб забезпечити надійне постачання води відповідної якості. Їх не можна експлуатувати понад проектну потужність. Воду для ін'єкцій необхідно виробляти, зберігати і розподіляти таким чином, щоб запобігти росту мікроорганізмів, наприклад, за рахунок її постійної циркуляції при температурі вище 70 °С.

- все обладнання (таке, як стерилізатори), системи обробки та фільтрації повітря, душники і газові фільтри, системи обробки, утворення, зберігання і

розподілу води мають підлягати валідації та плановому технічному обслуговуванню; на їх повторне введення в дію має бути виданий дозвіл.

- компоненти, контейнери, обладнання і будь-які інші предмети, що необхідні в чистій зоні, особливо при роботі в асептичних умовах, мають бути простерилізовані й передані туди через вмонтований у стіну стерилізатор із двостороннім доступом або іншим способом, що запобігає контамінації. Необхідно, щоб негорючі гази проходили через фільтри, які затримують мікроорганізми.

- оскільки обладнання, що використовується для обтиснення кришечок на флаконах, може бути джерелом великої кількості невидимих часток, його слід розташовувати як окрему позицію, яку обладнано адекватною системою витяжної вентиляції.

Контейнери для панентеральних лікарських засобів поділяють на дві групи:

- однодозові, що містять певну кількість препарату, призначену для одноразової ін'єкції;

- багатодозові, що забезпечують можливість багаторазового відбору із посудини певної кількості препарату, вміщеного в ній, без порушення стерильності.

Найбільш поширеним представником одноразової посудини є ампула.

### **Види ампул та особливості їх виробництва**

Скляні ампули відповідають всім вимогам міжнародного стандарту ISO 9187-1:2000, а також Українським стандартам, ТУ і ОСТ, сертифіковані і зарекомендували себе як якісна упаковка для використання у фармацевтиці, ветеринарії і інших галузях, пов'язаних з фасуванням в ампулу.

Маркування медичного скла різного призначення:

- НС-3 — нейтральне скло для виготовлення ампул і флаконів для розчинів речовин, що піддаються гідролізу, окисненню і подібним змінам (розчини солей алкалоїдів);

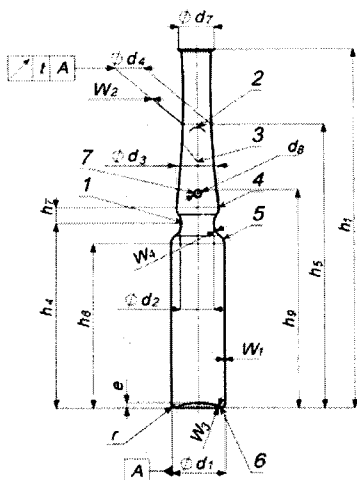
- НС-1 — нейтральне скло для виготовлення ампул для розчинів речовин, менш чутливих до лугів (розчинів кальцію хлориду, магнію сульфату);

- СНС-1 — світлозахисне нейтральне скло для виробництва ампул з розчинами світлочутливих речовин;

- АБ-1 — ампульне безборне лужне скло для ампулювання стійких речовин в масляних розчинах;

- ХТ-1 — хімічно і термічно стійке скло для виробництва шприців, пляшок для зберігання крові, інфузійних і трансфузійних препаратів;
- МТО — медичне тарне знебарвлене скло для флаконів, банок і предметів догляду за хворими;
- ОС і ОС-1 — оранжеве тарне скло для флаконів і банок;
- НС-2 і НС-2А — нейтральне скло для виготовлення флаконів для крові, трансфузійних і інфузійних препаратів.

Ампули виготовляють з нейтрального боросилікатного скла, безбарвними або жовтого кольору, типу В і типу С шприцевого наповнення медичного призначення з нанесенням точки зламу.



Характеристика ампул форми В і С

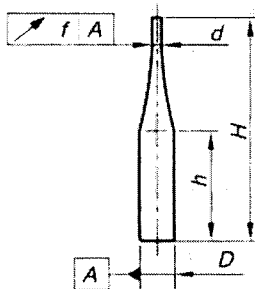
Ном. об. мл.	Зовнішній діаметр										Загальна висота			Висота								
	Корпус		Лінія зламу		Цибулина		Стебло		Воронка		Купол	Розтруб	Форма В		Форма С		Відстань до лінії зламу		Відстань до лінії вимірюваної точки	Висота корп.	Відстань до лінії зламу і цибулини	
	d <sub>1</sub>	доп.	d <sub>2</sub> ±0,5	d <sub>3</sub>	доп.	d <sub>4</sub>	доп.	d <sub>5</sub>	доп.	d <sub>6</sub> ±1	d <sub>7</sub> ±1	h <sub>1</sub> ±1	h <sub>2</sub>	доп.	h <sub>4</sub>	доп.	h <sub>5</sub> ±2	h <sub>6</sub> min.	h <sub>7</sub> max.			
1	11	±0,15	6,5	8,5	±0,5	6	±0,35	9	±0,8	10	8	60	67	±1	26	±0,5	47	21				
2	11	±0,15	6,5	8,5	±0,5	6	±0,35	9	±0,8	10	8	72	79	±1	38	±0,5	57	33				4,5
5	15	±0,15	7	9	±0,5	7	±0,35	12	±1	12	9	83	90	±1	47	±0,5	68	41				5,5
10	18	±0,20	7,5	9,5	±0,5	7,1	±0,35	13	±1	14	9,5	102	109	±1	62	±1	87	55				6



Ном. об. мл.	Основа				Товщина стінки							Об'єм до центру звуження мл.	
	Радіус $r \pm 0,5$		Глибина основи		Товщина скла корпусу		Товщина скла стебла біля калібрування	Товщина скла біля основи	Товщина скла біля звуження		Товщина скла куполу		Допуск на периметр
1	1		$\pm 0,5$	0,5	$\pm 0,03$	0,37	0,3	0,7	$\pm 0,1$	от 0,1 до 0,25	0,6	1,5	
2				0,5	$\pm 0,03$	0,37	0,3				0,6	2,3	
5	1,5			0,55	$\pm 0,03$	0,4	0,4	0,7	$\pm 0,15$		1	5,5	
10	2	1,25	$\pm 0,75$	0,6	$\pm 0,04$	0,47	0,4	0,8	$\pm 0,15$	1	11,5		

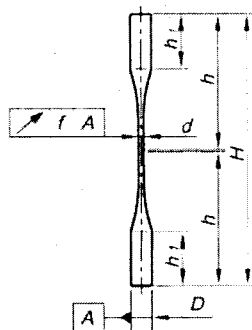
### Типи медичних скляних ампул:

- Ампули типу ВО - вакуумного наповнення без пережиму відкриті, випускаються об'ємом від 1 до 10 мл відповідно до вимог ТУ У 00480945-005-96. Приклад позначення ампул: ампула типу ВО номінального об'єму 1,0 мл зі скла марки УСП-1 - "Ампула ВО-1 УСП-1 - ТУ У 00480945-005-96"



Позначення	V, мл	D, мм	d, мм	H, мм	h, мм	f, мм
ВО-1	1	9,35 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	62 $\pm$ 1	25 $\pm$ 1	1,2
ВО-1МС	1	9,35 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	70 $\pm$ 1	26 $\pm$ 1	1,2
ВО-1 ч.900.675	1	9,75 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	65 $\pm$ 1	25 $\pm$ 1	1,2
ВО-2МС	2	10,25 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	75 $\pm$ 1	35 $\pm$ 1	1,2
ВО-2	2	10,75 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	69 $\pm$ 1	35 $\pm$ 1	1,2
ВО-2 ч.900.677	2	10,75 $\pm$ 0,15	2,70 $\pm$ 0,3	75 $\pm$ 1	35 $\pm$ 1	1,2
ВО-5КД	5	14,00 $\pm$ 0,15	3,80 $\pm$ 0,3	90 <sup>+</sup>	50 <sup>+</sup>	1,5
ВО-5	5	14,25 $\pm$ 0,15	3,80 $\pm$ 0,3	99 $\pm$ 1	46 $\pm$ 1	1,5
ВО-10	10	15,75 $\pm$ 0,20	3,75 $\pm$ 0,5	117 $\pm$ 1	71 $\pm$ 1	1,5

- Ампули типу С - вакуумного наповнення спарені випускаються об'ємом від 1 до 10 мл відповідно до вимог ТУ У 00480945-005-96. Приклад позначення ампул: ампула типу С номінального об'єму 2,0 мл зі скла марки УСП-1 - "Ампула С-2 УСП-1 - ТУ У 00480945-005-96"

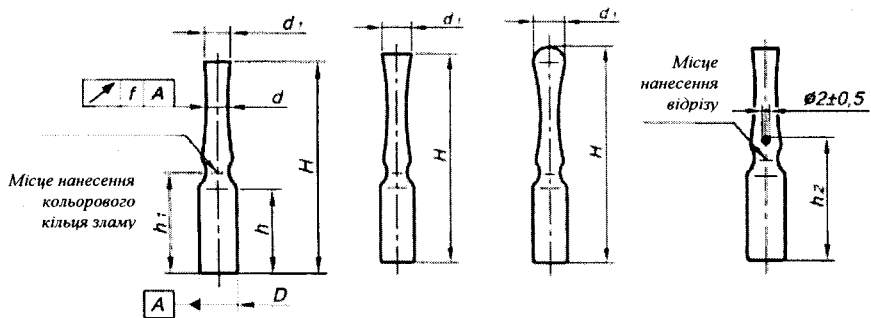


Позначення	V, мл	D, мм	d, мм	H, мм	h, мм	h1, мм	f, мм
C-1	1	9,35 ± 0,15	2,50 ± 0,3	125 ± 1	62 ± 0,5	25 ± 1	1,2
C-2	2	10,75 ± 0,15	2,50 ± 0,3	140 ± 1	69 ± 0,5	35 ± 1	1,2
C-3	3	12,75 ± 0,15	3,00 ± 0,5	155 ± 1	77 ± 0,5	40 ± 1	1,2
C-5	5	14,00 ± 0,15	3,75 ± 0,5	190 ± 1	94 ± 1	50 ± 1	1,5
C-10	10	15,75 ± 0,20	3,75 ± 0,5	228 ± 2	113 ± 1	70 ± 1	2,0

• Ампули типу ИП - шприцевого наповнення випускаються об'ємом від 1 до 20 мл, з кільцем зламу і без нього, форми В і С відповідно до вимог ТУ У 00480945-005-96. Приклад позначення ампул :

- ампула типу ИП об'ємом 5 мл, форми С (з розтрубом), з кільцем зламу, зі скла марки УСП-1, по ТУ У 00480945-005-96: "Ампула ИП-5С КИ УСП-1 ТУ У 00480945-005-96"

- ампула типу ИП об'ємом 2 мл, форми С (з розтрубом), з кольоровим кільцем кодування, зі світлозахисного скла, виготовлена по узгодженому зі споживачем кресленню 900.650-07, по ТУ У 00480945-005-96: "Ампула ИП-2С КК - сз біс. 900.650-07 ТУ У 00480945-005-96"



Форма В

Форма С

Форма D

Ампули з точкою зламу  
(ТЗ)

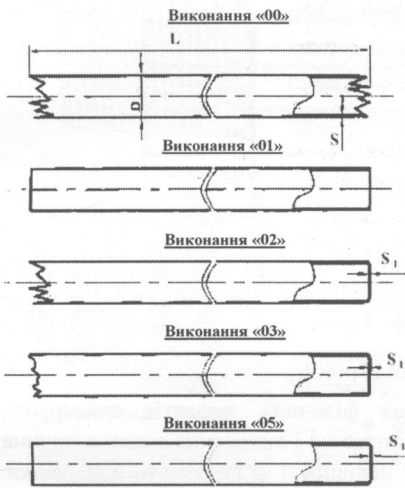
Позначення	V, мм	D, мм		d, мм		d1, мм		H, мм		h, мм		h1, мм		h2, мм, не більше	f				
		ном. знач.	допуст. відхил.	ном. знач.	допуст. відхил.	ном. знач.	допуст. відхил.	ном. знач.	допуст. відхил.	ном. знач.	допуст. відхил.	ном. знач.	допуст. відхил.						
ИП-1В1	1	10,75	± 0,15	6,2	± 0,3	7,0	± 0,8	60	± 1,0	24	± 1,0	28,5	± 0,5	35,5	0,8				
ИП-2В1	2	10,75		6,2		7,0		72		34		37,5		44,5					
ИП-3В1	3	12,75		6,2		8,0		75		35		39,5		46,5					
ИП-5В4	5	14,75		7,0		± 0,5		8,5		83		42		46,5		54,0			
ИП-10В1	10	17,75		± 0,20		7,75		± 0,6		9,0		102		55		62	± 1,0	70,0	1,0
<i>Продовження таблиці</i>																			
ИП-1С	1	10,75	± 0,15	6,2	± 0,3	9,5	± 0,8	67	± 1,0	24	± 1,0	28,5	± 0,5	35,5	0,8				
ИП-1С ч. 900.649	1	10,75		6,2		9,0		60		24		28,5		35,5					
ИП-2С	2	10,75		6,2		9,5		79		34		37,5		44,5					
ИП-2С ч. 900.650	2	10,75		6,2		9,0		72		34		37,5		44,5					
ИП-3С	3	12,75		6,2		11,2		82		35		39,5		46,5					
ИП-5С1	5	14,75		7,0		± 0,5		11,2		90		42		46,5		54,0			
ИП-10С	10	17,75		± 0,20		7,75		± 0,6		13,0		109		55		62	± 1,0	70,0	1,0
ИП-20С	20	22,50		± 0,20		7,80		± 0,8		14,0		± 1,0		120		± 1,5	65	76	± 1,3
ИП-1D ч. 900.624	1	10,75	± 0,15	6,0	± 0,3	10	± 1,0	70	± 1,0	22	± 1,0	25,5	± 0,5	32,5	0,8				
ИП-2D ч. 900.596	2	10,75		6,2		10		83		34		37,5		44,5					
ИП-5D ч. 900.582	5	14,75		7,0		± 0,5		12		95		42		46,5		54,0			
ИП-10D ч. 900.662	10	17,75		± 0,20		7,75		± 0,6		13,5		112		56		62	± 1,0	70,0	1,0

Як в сировина для виробництва ампул використовується складріт, який виготовляється на скляних заводах із медичного скла, зокрема на ВАТ Полтавський завод медичного скла (ВАТ «ПЗМС») та ТОВ "СТЕКЛОФАРМ".



Трубки скляні медичного призначення виготовляють зі скла медичної марки УСП-1. Технічні можливості устаткування ОАО «ПЗМС» дозволяють

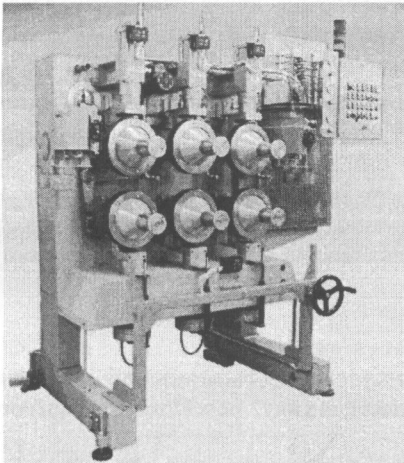
виробляти трубку скляну із зовнішнім діаметром від 4 до 30 мм і товщиною стінки від 0,4 до 2,0 мм при довжині 1500 мм.



Залежно від виду обробки торців трубка виготовляється у наступних виконаннях:

- «00» - без обробки торців;
- «01» - з оплавленими торцями з попереднім вогняним відрізанням;
- «02» - з одним запаяним торцем і необробленим іншим;
- «03» - з одним запаяним торцем і оплавленим іншим;
- «05» - з одним запаяним торцем і оплавленим іншим з попереднім вогняним відрізанням.

Трубка скляна поставляється у вигляді пучків трубок, зв'язаних шпагатом і обгорнутих зі сторони торців в пакувальний папір.



Скловолочильна машина

Одним зі світових лідерів з виробництва складроту є Olivotto glass technologies S.p.A., що нині входить в холдинг Olivotto-Antas-Lynch-Lindner, який налагодив випуск ліній для виробництва скляних трубок по Danner-технології. Дріт, який виробляється за цією технологією з натрієвого, свинцевого, кварцевого і боросилікатного нейтрального скла, використовується для виготовлення медичних ампул, флаконів, картриджів і шприців.

Лінії Olivotto glass technologies для виробництва скляних трубок по Danner-технології включають: муфель з газовим нагрівом; машину Danner; повітродувний блок; камеру формування; роликів конвєсер для охолодження; пристрій безперервного контролю діаметру трубки; машину витягування трубок; вузол попереднього різання; сортувальний вузол і відбір придатної продукції; подрібнюючу установку; машину різання і оплавлення; систему синхронізації і управління.

*Основні характеристики лінії виробництва склотрубок  
за Danner-технологією*

	min	max	
Діаметр трубки	5	50	мм
Довжина трубки	500	2000	мм
Товщина стінки	0.5	1.5	мм
Продуктивність	5	15	тон/день

Лінії формування склотрубки можуть комплектуватися високотехнологічними опціями для підвищення якості продукції, що випускається:

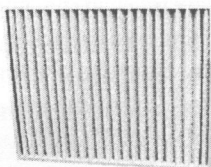
- облаштування муфеля з попереднім підігрівом;
- оптична установка для виявлення фізичних дефектів склотрубки призначена для безперервного поточного контролю і виявлення таких фізичних дефектів на поверхні скла як «камені», нерівності і витягнуті бульбашки. Сигнал, що зчитується з цифрової відеокамери, посилається на сортувальний вузол, де неякісна трубка відбраковується. Високочутливий електронний блок і волоконнооптична головка-датчик в двохосовій конфігурації дозволяють виявляти дефекти в таких výroбах як скловолокно, волоконнооптичні кабелі і склотрубки. Чутливість виявлення дефектів: розмір дефекту, що виявляється, від 0,5 мм на мінімальній ділянці тестованого об'єкту 25 мм;

- установка для безперервного контролю діаметру і товщини стінок формованої склотрубки являє собою телецентричний лазерний сканер, що вимірює зовнішній діаметр, а товщину стінок - по траєкторії спеціального лазерного пучка, що проходить через трубку. Сканер посилає сигнал на сортувальний вузол, де неякісна продукція автоматично відбраковується. Установка розміщена на сталевій рамі, яку можна переміщати за допомогою пневмоциліндру. Точність вимірювань: зовнішній діаметр + 0.010 мм, товщина стінок + 0.005 мм.

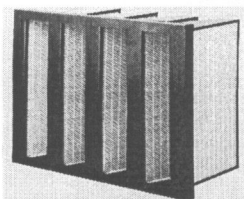
- система диспетчерського управління і збору даних;
- контрольно-вимірювальне пристосування для статичної перевірки діаметру, товщини стінок трубки, наявності вигину, перевірки правильності геометрії і якості оплавлення.

### **Підготовка повітря для виробничих приміщень**

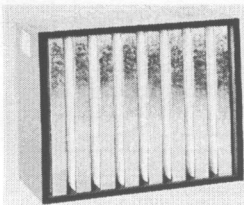
Одним з головних чинників забезпечення чистоти є очищення великих об'ємів повітря, що подається, до вимог технологічних процесів, які проводяться в цих приміщеннях. Це досягається застосуванням декількох ступенів очищення, при чому вирішальне значення має остаточний ступінь, в якому повинні використовуватися фільтри, здатні вловлювати практично всі частинки діаметром більше 0,1 мкм.



Первинний панельний



Вторинний фільтр



HEPA (третинний)

Для визначення ефективності фільтрів для обладнання конкретного виробництва повинні враховуватися наступні чинники: клас чистоти приміщення; об'єм атмосферного повітря, що нагнітається, і концентрація мікрочастинок в ньому; об'єм рециркулюючого повітря і концентрація мікрочастинок в ньому; експлуатаційні витрати.

Існують наступні класи фільтрів:

- фільтри грубого і тонкого очищення, високоефективні фільтри;
- фільтри грубого очищення (клас G1-G4) призначені для утримування крупних аерозольних частинок;
- фільтри тонкого очищення (клас F5-F9) характеризуються значеннями ефективності (відносно атмосферного пилу) в межах від 40 до 60% (клас F5) і від 90 до 95% (клас F8), фільтри класу F9 характеризуються значеннями ефективності 95% і ближчих за своїми характеристиками до фільтрів HEPA;

• високоефективні фільтри типу HEPA (клас H10-H14). Ефективність цих фільтрів в точці MPPS (для найбільш проникаючого розміру частинок, який для фільтрів даного типу складає від 0,1 до 0,2 мкм) складає від 85% (клас H10) до 99,995% (клас H14);

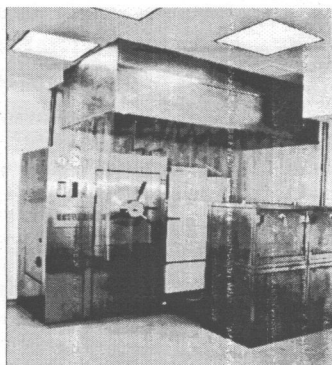
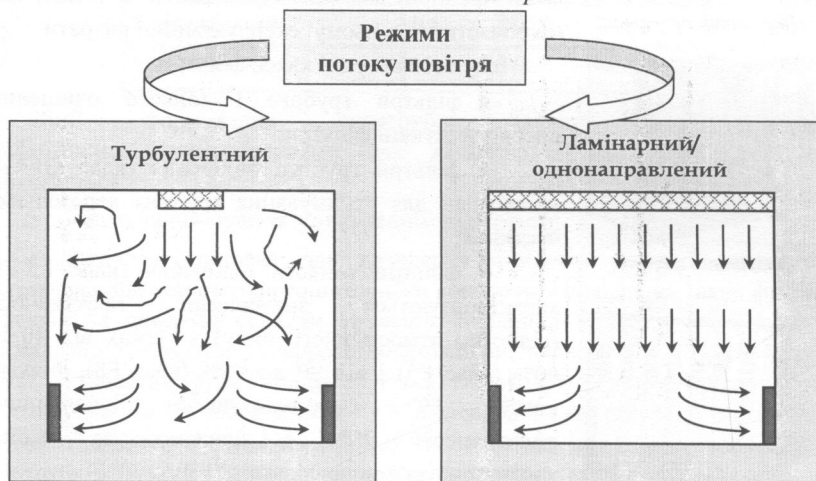
• високоефективні фільтри типу ULPA (клас U15-U17) мають точку MPPS, аналогічну фільтрам HEPA, але характеризуються вищими значеннями ефективності: U 15-99,9995%, U 16-99,99995% Uп 99,999995%.



Класи фільтрів

Для подачі на виробництва стерильних лікарських препаратів потоку знепиленого стерильного повітря, що поступає у виробниче приміщення або охоплює технологічний процес, використовують як звичайні системи турбулентної вентиляції, так і системи з ламінарним (однонаправленим) потоком повітря (може бути горизонтальним або вертикальним).

*Системи подачі повітря*



*Стельовий ламінар*

Для створення локальної зони чистоти класу А у виробничому цеху призначені виробничі ламінари. Їх виробляють у різному виконнанні: бокси, стелеві, на підставках. Ламінари оснащені вентиляртами, передфільтрами, НЕРА-фільтрами, розподільчими решітками, бактерицидними лампами. Як штору використовують плівку з ПВХ.

**Обладнання для водопідготовки**

Воду для фармацевтичних цілей отримують виключно з питтєвої води (рис. 8.2). Вода для ін'єкцій повинна відповідати міжнародним стандартам

«Вода типу II за ASTM, NCCLS, ISO 3696, CAP. У країнах СНД притримуються стандарту USP, ФС 42-2620-97 «Вода для ін'єкцій».

У виробництві ін'єкційних лікарських форм використовується вода різного ступеня очищення:

- вода знесолена (демінералізована);
- вода очищена (дистильована);
- вода для ін'єкцій (апірогенна).

Методи обробки води можуть включати наступні етапи:

- фільтрування;
- іонообмін;
- ультрафільтрування;
- зворотній осмос;
- дистиляцію.

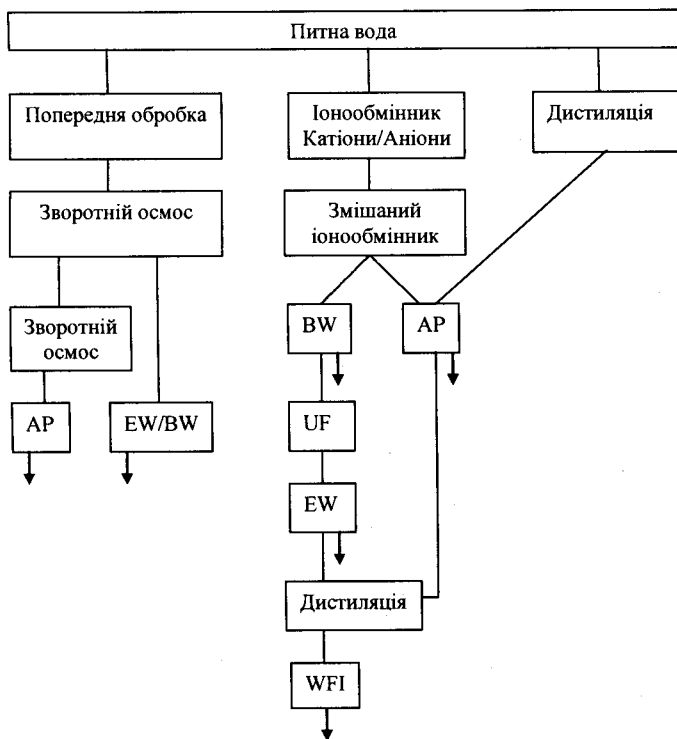
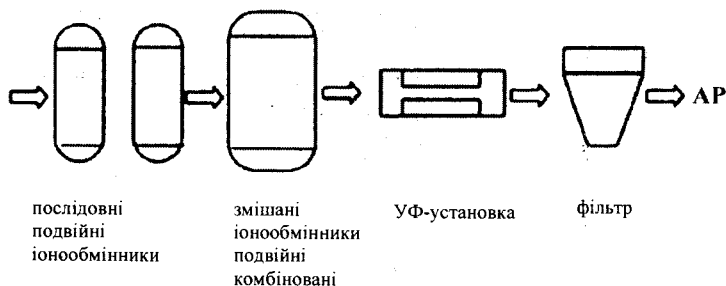


Рис. 8.2. Спосіб отримання води для фармацевтичних цілей з питної води. AP – ақиа Purificata; BW – оброблена вода; EW – вода, що не містить ендотоксинів.



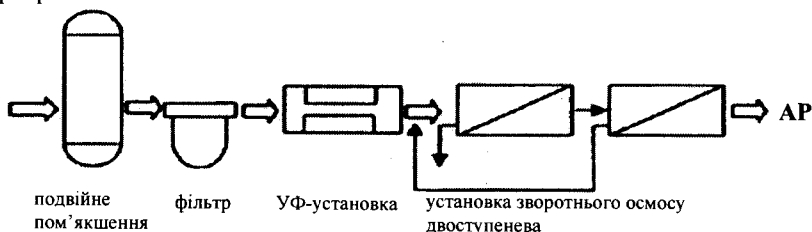
Воду очищену отримують, як правило, шляхом знесолення питтєвої води методом іонообміну або методом зворотнього осмосу. Нижче наведені схеми відповідних установок.



*Отримання води для фармацевтичних цілей за допомогою іонообмінників*

*Переваги:* низька електропровідність, висока продуктивність і гнучкість.

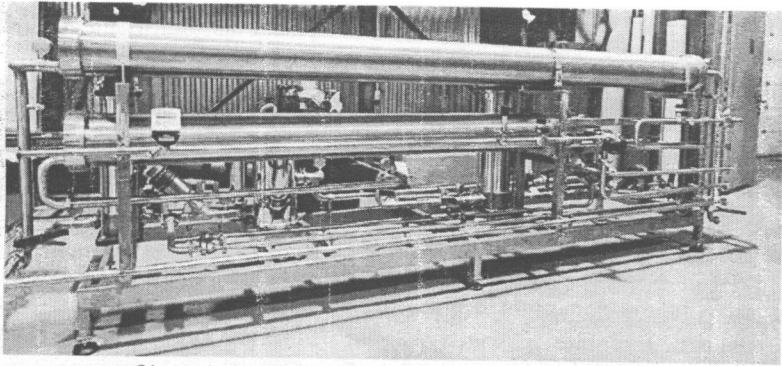
*Недоліки:* не зменшується кількість загального органічного вуглецю, вихід кислоти і лугу, необхідна нейтралізація, небезпека заростання мікроорганізмами.



*Отримання води фармацевтичної якості на установках зворотнього осмосу*

*Переваги:* низький вміст загального органічного вуглецю, відсутність хімікалій, невеликі витрати на сервіс та техдогляд, немає необхідності в проведенні регенерації. *Недоліки:* більш висока електропровідність.

Основним витратним елементом установки зворотнього осмосу є мембрани. Саме вони і обумовлюють вимоги до вихідної води. В даний час застосовують три типи мембран: ацетатцелюлозні, поліамідні (тонкоплівкові) і полісульфонові.



*Одно- і двоступінчаті зворотньоосмотичні установки*

Базова комплектація установки зворотнього осмосу включає:

- устаткування для подачі вихідної води;
- префільтр (блок фільтрів);
- мембранотримачі зі зворотньо-осмотичними рулонними елементами. Встановлюються корпуси з включеними в них рулонними елементами; кожен з корпусів зазвичай містить від 1 до 7 елементів;
- насос (блок насосів високого тиску);
- регулюючі вентиля (дозатори кислоти);
- датчики;
- порт підключення хімічного промивання (блок промивання).

Додатково до складу установки зворотнього осмосу можуть входити різні пристрої автоматизації і стеження за якістю реагентів, що актуально для промислового застосування.

*Переваги і недоліки* застосування зворотньо-осмотичних установок: велика і незаперечною перевагою застосування установок зворотнього осмосу є якість отримуваної води. У ряді випадків сьогодні такий варіант підготовки води залишається практично єдиним, таким, що дозволяє отримати воду необхідної якості. До *переваг* зворотньоосмотичних установок можна віднести також:

- досить чисті стоки, що скидаються в дренаж;
- відсутність великого реагентного господарства;
- можливість змінювати продуктивність установки і якість отримуваної води, застосовуючи мембрани різної селективності;
- низькі в порівнянні з рядом інших установок експлуатаційні витрати;
- компактність;

- можливість варіювати до певної межі рівень автоматизації процесу і відповідно розмір установки.

Проте необхідно врахувати і *недоліки* застосування установок зворотного осмосу:

- висока вартість;
- низька продуктивність - у ряді випадків не обійтися без накопичувальної ємкості, а також низький ККД за фільтрованою водою (у дренаж скидається до 50–75 % води, що очищається);
- необхідність попередньої підготовки води (до цього ж пункту можна віднести і те, що колоїдні і зважені речовини, якщо вони присутні у воді, приводять до забруднення мембран і пов'язаним з цим негативним наслідком);
- проблемою може стати низька стійкість ряду мембран до окислювачів, а полімерні мембрани легко піддаються мікробіологічному руйнуванню.

### Дистиллятори

Воду для ін'єкцій одержують дистилляцією знесоленої або очищеної води.

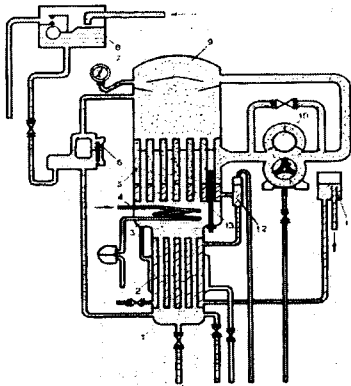


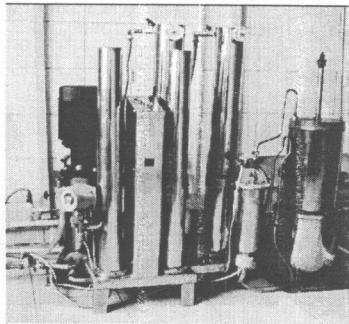
Рис. 8.3. Супердистиллятор:

- 1 - основа теплообмінника;
- 2 - теплообмінник; 3 - основа конденсатора; 4 - паронагрівача;
- 5 - конденсатор; 6 - регулятор рівня води;
- 7 - манометр; 8 - водозбірник;
- 9 - випарник; 10 - компресор; 11 - збірник дистилату; 12 - колона тиску;
- 13 - електронагрівачі

На рис. 8.3 наведена схема одноступеневого супердистиллятора. Вода з трубопроводу поступає у водозбірник 8 і заповнює регулятор рівня води 6, звідки поступає в основу теплообмінника 1. По трубах теплообмінника 2 вода піднімається вгору, заповнює основу конденсатора 3 і конденсатор 5. За допомогою електронагрівача 13 або паронагрівача 4 вода в трубках конденсатора 5 доводиться до кипіння. Пара, що утворилася, піднімається вгору, проходить відбиваючі перегородки випарника 9, на яких затримуються захоплені з паром частинки води, і збирається у верхній частині випарника 9. Після прогріву супердистиллятора запускається компресор 10, за допомогою якого пара з випарника 9 нагнітається в міжтрубний простір конденсатора 5. З огляду на те, що в паровому просторі випарника 9

створюється розрідження, вода закипає при 96°. Після стиснення компресором 10 температура пари піднімається до 120°. В результаті того, що температура

пари, яка конденсується навколо пучка трубок, вище, ніж температура киплячої води; вода в трубках перетворюється на пару. Різниця температур (біля 6°) достатня, щоб повністю використовувати приховану теплоту паротворення для випаровування води, що поступає. Кількість пари, що утворилася, у випарнику 9 дорівнює (по вазі) кількості конденсату в конденсаторі 5. Конденсат, що збирається в нижній частині конденсатора, поступає в колону тиску 12, в якій відділяються неконденсовані гази, і поступає в теплообмінник 2, де передає залишкове тепло холодній воді, що поступає. По трубопроводу дистилат стікає в збірник дистилату 11.



*Установка УВИ-0,15*

Для вищого ступеня очистки води для парентеральних лікарських засобів використовують багатоступеневі установки дистиляції. Серед таких установок УВИ-0,15, в якій проводиться ступенева очистка, включаючи подвійну очистку на мембранних елементах. Продуктивність даної установки складає 150 л/год.

### *Деіонізуюче устаткування*

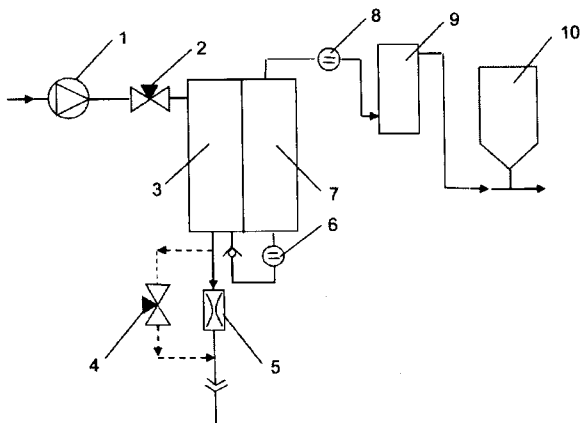
Для підготовки води також використовують деіонізуюче обладнання. Система Ri0s-DI3 фірми Millipore (Франція) виробляє деіонізовану фармакопейну воду типу II вищої якості, ніж бідистилат безпосередньо з водопровідної води і розрахована на добуве водоспоживання від 5 до 20 л/доба в комплекті разом з картриджем. Дана установка комбінує технології зворотнього осмосу, електродеіонізації на регенованих електричним струмом іонообмінних смолах і (при необхідності) фотоокиснення за допомогою ультрафіолетової лампи з довжиною хвилі 254 нм. Продуктивність системи 2,5 л/год.

Принцип дії полягає в наступному. Питна водопровідна вода поступає в SmartPak RODI від нагнітального насосу. Картридж SmartPak RODI є моноблочним подвійним картриджем, що реалізує три технології очищення води. Перший картридж містить очищаючий елемент для попередньої обробки води і мембрану зворотного осмосу. Другий картридж містить іонообмінну смолу. Картридж SmartPak RODI відноситься до витратних матеріалів і вимагає періодичної заміни в процесі технічного обслуговування системи.

Водопровідна вода піддається попередній обробці для захисту мембрани зворотнього осмосу від органічних забруднень і окиснення хлором. Після проходження мембрани зворотнього осмосу вода розділяється на два потоки. Очищена вода з фільтру зворотнього осмосу прямує в картридж іонообмінного фільтру глибокого очищення для деіонізації. Іони, частинки, молекули органічних сполук і бактерії, затримані мембраною зворотнього осмосу, прямують в каналізацію через зливний трубопровід.

Вода, що пройшла деіонізацію, протікає через камеру УФ-лампи (для систем обладнаних УФ-лампюю). УФ-лампа випромінює світло з довжиною хвилі 254 нм, яка використовується для знищення бактерій. Очищена вода зазвичай зберігається для використання при проведенні типових робіт, що виконуються в лабораторіях, крім того, вона може використовуватися для подачі в систему для виробництва особливо чистої води.

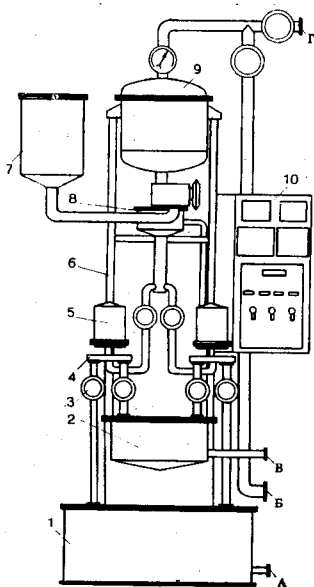
При заповненні резервуару система автоматично відключається і переходить в черговий режим Standby і автоматично включається при відборі з резервуару заданої кількості води. На екран системи виводяться технічні параметри системи, дані за якістю води і рівнем заповнення резервуару. Мікропроцесор постійно інформує оператора про всі планові технічні заходи, наприклад, санітарну обробку або заміну картриджа. Установка компактна, її можна підвісити над столом або поставити під стіл.



*Принципова схема отримання деіонізованої води з використанням системи RiOs-DI 3:*  
 1 - нагнітальний насос; 2 - вхідний електромагнітний клапан; 3 - картридж попередньої обробки і зворотнього осмосу; 4 - електромагнітний клапан зливу води зворотнього осмосу; 5 - капілярна система зливу води зворотнього осмосу; 6 - датчик вимірювання провідності фільтрату зворотнього осмосу; 7 - картридж іонообмінного фільтру глибокої очистки; 8 - датчик вимірювання титаного опору очищеної води; 9 - УФ-лампа з довжиною хвилі випромінювання 254 нм; 10 - резервуар об'ємом 6 л

## Фільтраційні установки для ін'єкційних розчинів

**Установка для фільтрації ін'єкційних розчинів.** Напірний бак 9 заповнюється розчином за допомогою вакууму. Коли рівень розчину сягне до верхнього датчика рівнеміра, надходження розчину автоматично припиняється. З напірного бака 9 розчин поступає в проміжну ємність 7 за принципом сполучених посудин. Потім відкривають вентиль подачі розчину в ємність постійного рівня 8. Як тільки розчин в ній досягне верхнього рівня, відкривають вентиль подачі розчину на фільтр 5. Розчин через фільтр 5 поступає в колектор 4 і зливну ємність 1, після чого відбувається виведення фільтру на режим. Час фільтрування коливається від 20 хвилин до 2 годин залежно від властивостей фільтрувального розчину. При виході фільтру на



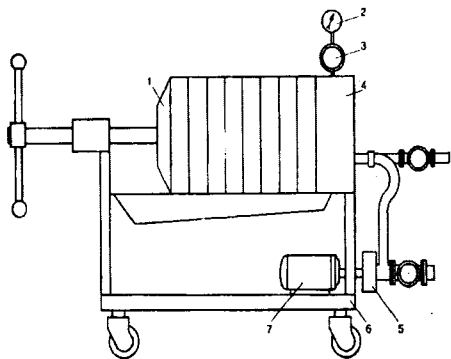
Установка для фільтрації ін'єкційних розчинів

- 1 - ємність зливна; 2 - збірка фільтрату;
  - 3 - вентиль; 4 - колектор;
  - 5 - фільтри; 6 - рама; 7 - ємність проміжна; 8 - ємність постійного рівня;
  - 9 - бак напірний; 10 - пульт управління
- А, Б, В, Г - штуцера

режим, відкривають вентиль для подачі профільтрованого розчину в збірник фільтрату 2. Як тільки відфільтрований розчин у збірнику фільтрату піднімається вище датчика рівнеміра, про що сигналізує червона лампа, розчин відбирають в ампульне виробництво. При заповненні збірника фільтрату 2 надлишки розчину поступатимуть в зливну ємність 1. За рівнем розчину в збірнику фільтрату 2 стежать за вказівником рівня. При зниженні рівня розчину до датчика рівнеміра спалахує червона сигнальна лампа, яка вказує, що в збірнику 2 розчину залишилося тільки на один цикл роботи вакуум-апарату в ампульному виробництві. Другий фільтр включається в роботу так само, при цьому необхідно відрегулювати надходження розчину в ємність постійного рівня 8 так, щоб завжди невеликий надлишок розчину переливався в зливну ємність 1, що забезпечує постійний тиск на фільтри 5. При зниженні рівня розчину в напірному баку 9 до нижнього датчика рівня автоматично відбувається його заповнення із збірника розчину або зі зливної ємності 1.

Якщо розчин в зливній ємності 1 піднявся до верхнього датчика рівня, то подальше заповнення напірного баку проводиться із зливної ємності 1 до тих пір, поки рівень розчину в ній не знизиться до нижнього датчика. Заповнення

напірного баку 9 проводиться зі збірника розчину, поки в зливній ємності 1 розчин не підніметься до верхнього датчика і т. д. Таким чином, вся партія розчину буде відфільтрована.



*Фільтр-прес*

- 1 - плита рухома; 2 - манометр; 3 - оглядовий ліхтар;
- 4 - плита нерухома; 5 - насос; 6 - візок;
- 7 - електродвигун; 8 - трубопровід для пари;
- 9 - пластини з опорними листами; 10 - пластина, що фільтрує;
- 11 - трубопровід для фільтрату; 12 - патрон, що фільтрує;
- 13 - трубопровід для розчину;
- 14 - заглушка

**Фільтр-прес для ін'єкційних розчинів.** Ін'єкційний розчин або вода трубопроводом 13 поступає на фільтр-прес, проходить через пластини з опорними листами 9 і пластини 10, що фільтрують, для очищення від твердих частинок, а потім через титанові фільтри 12, де відбувається остаточне очищення розчину; після чого фільтрат потрапляє в трубопровід 11. Залежно від типу збірника фільтр-прес можна використовувати для послідовної фільтрації через азбестоцелюлозні пластини 10 і титанові фільтри 12, для подвійної фільтрації через азбестоцелюлозні

пластини 10 або для подвійної фільтрації через азбестоцелюлозні пластини з подальшою фільтрацією через титанові патрони.

### **Обладнання виробництва ампул**

Всі ампули однієї серії, що виготовляються, повинні бути однакового розміру, оскільки при об'ємному наповненні їх під вакуумом в одних ампулах може опинитися розчину більше необхідного, а в інших – менше. Щоб цього не трапилось, перед виготовленням порожніх ампул скляні трубки піддають калібруванню, тобто їх сортують по зовнішньому діаметру.

Для того, щоб внутрішні частини ампул під час зберігання і транспортування зі скляних заводів не забруднювалися, кінчики їх капілярів зазвичай запаюють. Але перед миттям запаяні кінчики необхідно відрізувати. Це роблять за допомогою сталевих ножів, сталевих дисків, що обертаються, алундових або карборундових брусків, шліфувальних напильників, а також розжареним дротом (ниткою). Найбільш зручні дрібнозернисті алундові або карборундові тригранні бруски. Сталеві ножі і диски швидко затупляються і вимагають частого заточування, а диски іноді обертаються неплavno, внаслідок чого капіляри не відрізаються, а просто розбиваються.

Але найчастіше застосовують спеціальні пристосування, що складаються з одного або двох карборундових або алундових брусків і упора, до якого прикладають денця ампул для забезпечення однакової довжини відрізуваних капілярів. Пристосування прикріплюють до столу в трохи похилому положенні так, щоб денця ампул під час нанесення подряпини були трохи припідняті. Для запобігання розповсюдженню скляного пилу і пилу від брусків в навколишньому середовищі з цього робочого місця відсмоктують повітря. Крім того, на деяких заводах алундові бруски автоматично безперервно змочуються водою. Нанесення подряпини і відламування капілярів необхідно проводити так, щоб лінія зрізу виходила рівною.

Підготовка ампул до наповнення включає такі операції: розкриття капілярів, відпалювання ампул, їх миття, висушування та стерилізацію:



Сьогодні на заводах капіляри спарених ампул обрізають у процесі їх виготовлення на склоформуючих автоматах, для цього застосовують спеціальні пристрої (приставки), що монтуються безпосередньо на автоматах або поруч із ними.

Для різання капілярів застосовують автомати, один з яких, запропонований П. І. Резепінім, зображений на рис. 8.5. Він працює таким чином. Касету з ампулами вставляють в бункер 1. Ампули поступають в отвір барабану 2, що обертається і підводить кожну ампулу до бруска для підрізування капілярів 3. У цей момент у зворотньому напрямку барабану обертається зубчатий гумовий диск 4, який надає ампулі обертове прискорення і брусок наносить на капіляр рівний штрих. Після цього капіляр обламлюється обламувачем 5 і розкрита ампула по лотку 6 поступає в приймач. За 8 год автомат обрізає до 100 000 малооб'ємних ампул.



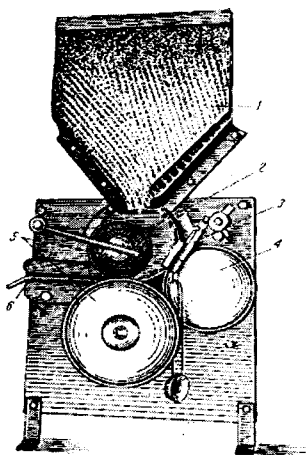


Рис. 8.5. Автомат Резепіна для відрізування капілярів:

- 1 - бункер; 2 - обертовий складальний барабан; 3 - брусок для підрізування капілярів; 4 - зубчатий гумовий диск; 5 - обламувач; 6 - лоток

Для різання, оплавлення капілярів та набору ампул в касети використовують нижче наведені автомати (рис. 8.6). У бункер 5 завантажують з касет необрізані ампули. Барабан подачі 6 захоплює їх і передає на барабан різання 7. Ампула, переміщаючись в барабані, обертається, при цьому металевий диск установки ножа 3 дотикається до капіляру ампули і наносить на нього лінію. Потім кінець капіляру обломлюється і ампула подається до пальника 1, що оплавляє кінець капіляра. Транспортний барабан 9 подає ампулу до першого калібруючого барабану 10, який захоплює ампули більшого діаметру і по направляючих 11 подає їх в перший перекладальник 12. Ампули меншого діаметру передаються іншим транспортним барабаном до другого калібруючого барабану і т. д. Після заповнення перекладальника 12 спалахує

сигнальна лампочка і автомат зупиняється. Вручну приєднують до перекладальника 12 касету з отворами для капілярів ампул і нахилиють її до себе.

Ампули капілярами потрапляють в отвори касети, затискач касети відкривають і перекладальник 12 встановлюють в первинне положення, на ампули надягають обйому і знімають касету. На її місце ставлять порожню касету.

Виготовлення ампул на карусельних автоматах (рис. 8.8) проводиться за наступною схемою (рис. 8.7). Оператор вставляє в кулачок верхнього патрона 1 скляну трубку 9, яка в положенні 1 опускається при розтисненому кулачку на пластинку 3, що регулює довжину майбутньої ампули. Нижній кулачок 4, спираючись на шток і ролик 5, рухається по копиру 6. У

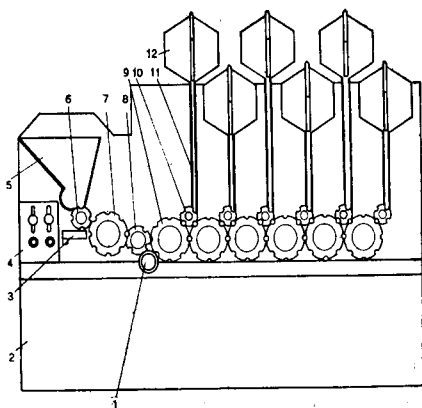


Рис. 8.6. Автомати для різання, оплавлення капілярів і набору ампул в касети:

- 1 - пальник; 2 - станина; 3 - установка ножа; 4 - пульт управління; 5 - завантажувальний бункер; 6 - барабан подачі; 7 - барабан різання; 8 - барабан проміжний; 9 - барабани транспортні; 10 - барабани калібрують; 11 - напрямні; 12 - перекладчі

положенні II нижній кулачок підводиться і захоплює кінець скляної трубки (з денцем або без денця). Обертаючись навколо власної осі, трубка нагрівається полум'ям пальника 2 до розм'якшення скла.

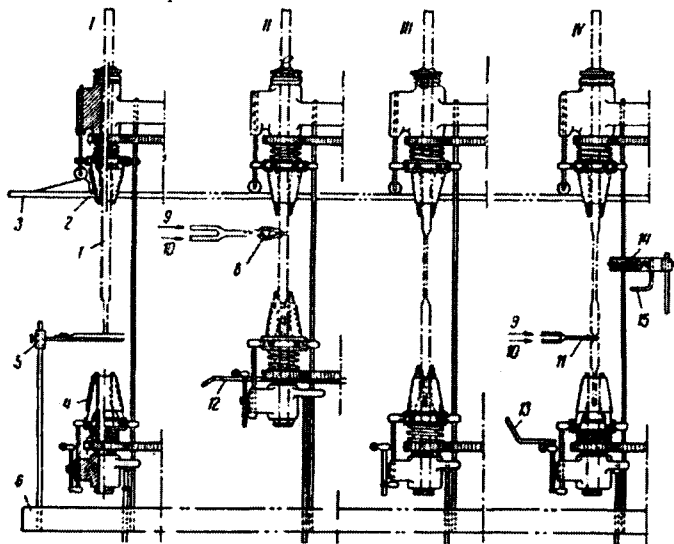


Рис. 8.7. Виготовлення ампул на карусельних автоматах

У положенні III пальник 2 гасне, нижній кулачок опускається і розтягує скляну трубку, утворюючи при цьому капіляр.

У положенні IV запалюються пальники 7, що дають гостре полум'я (у вигляді голки), яке в положенні V настільки сильно розігріває скло, що трубка перерізується таким чином, що з одного боку у неї виходить денце для майбутньої ампули, а з іншого боку запаюється капіляр отриманої ампули, яка випадає з автомата внаслідок розтискання нижнього кулачка (положення IV) і по лотку скочується в підставлений приймач. Після цього нижній копир піднімається, а разом з ним піднімається нижній кулачок 4 і захоплює трубку з денцем, оскільки в автоматі всі трубки обертаються по колу. Потім всі операції повторюються знову.

Для пуску повітря всередину ампул капіляр в одному місці гострим полум'ям нагрівають до розм'якшення скла. Під тиском повітря в цьому місці скло продавлюється і утворюється невеликий отвір, через який в ампулу надходить зовнішнє повітря.

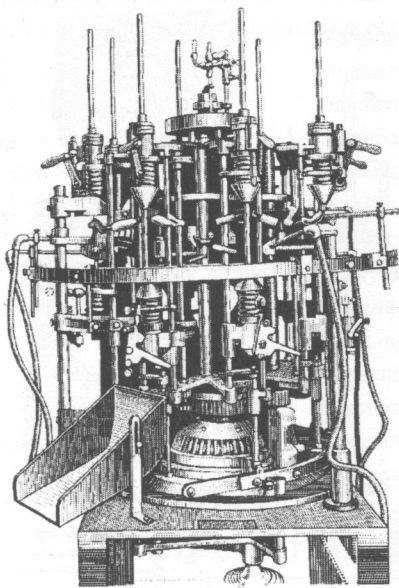


Рис. 8.8. Карусельний автомат «Амберг» для виготовлення ампул

Майже так само виготовляють відразу дві ампули. Автомат встановлений на столі 6. Сляна трубка з одним капіляром з позиції IV по круговому копиру поступає на позицію I. Якщо трубка 1 нова, то оператор вставляє її в розтиснений кулачок верхнього патрона 2. Трубка падає до упору 5, за допомогою якого встановлюють розмір ампул. Рухаючись по верхньому копиру 3, кулачок затискає трубку.

В той же час розтиснений кулачок 4 рухається по нижньому копиру 7 і, піднімаючись вгору, затискає кулачком 12 сляну трубку з капіляром або без нього (поз. II). При постійному обертанні трубка розігрівається до розм'якшення пальниками, в яких поступають газ по трубопроводу і повітря по

трубопроводу. Потім ці пальники гаснуть, і нижній кулачок, впираючись в копир, опускається на необхідну відстань, розтягнути тим самим розм'якшене скло в капіляр (поз. III). Після цього (поз. IV) запалюються пальники II з гострим полум'ям, що розігрівають скло у дуже обмеженому просторі. Внаслідок того, що розплавлене скло під впливом поверхневого натягу прагне зменшити свою внутрішню і зовнішню поверхні, розм'якшені плівки стягуються і утворюють денця одночасно у двох ампул. Тоді під дією копира розтиснений кулачок, і готова ампула випадає з автомату. В той же час карборундовий брусок 14 наносить невелику подряпину (лінію) в середині капіляру. Після цього за допомогою упору 15 ампула віддіається і падає в приймач.

Таким чином, виходять відразу дві ампули. Після цього сляна трубка з верхнім і нижнім кулачками з позиції IV переходить на позицію I, і операції повторюються.

Щоб усунути залишкову напругу або зменшити її до практично допустимої величини, сляні вироби піддають процесу відпалювання, тобто особливий тепловій обробці, що складається з наступних основних стадій:

- нагрівання виробів (ампул) до температури, при якій скло починає розм'якшуватися;
- витримка при цій температурі до зникнення напруги;
- повільне охолодження для запобігання виникнення небажаної залишкової напруги;
- швидке охолодження до кімнатної температури.

З цією метою проводять відпалювання ампул у спеціальних печах (рис. 8.9). Касети з ампулами встановлюють на стіл завантаження 2. По верхній частині столу проходить ланцюговий замкнутий конвеєр 3, який, безперервно рухаючись, подає касети в камеру нагріву 4, де ампули нагріваються до температури 600-620 °С. У камері 5 ампули витримують при цій температурі, а в камері 6 охолоджують до 60 °С. Потім касети з ампулами подаються на стіл вивантаження 8, звідки вони знімаються і направляються на наступну операцію.

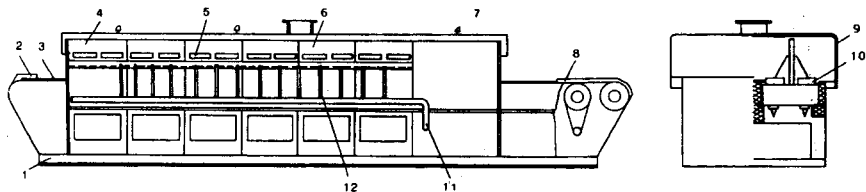
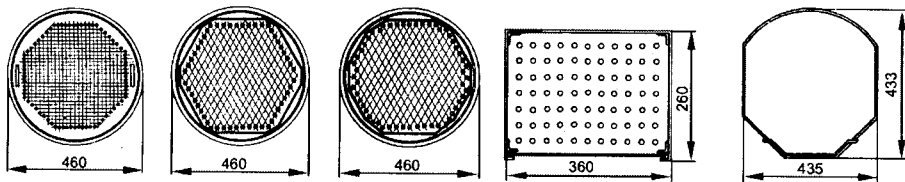


Рис. 8.9: Печі для відпалу ампул:

1 - корпус печі; 2 - стіл завантаження; 3 - конвеєр; 4 - камера нагріву; 5 - камера витримки; 6 - камера охолодження; 7 - термопара; 8 - стіл вивантаження; 9 - кожух; 10 - пальник; 11 - колектор; 11 - газопроводи

Після цього ампули встановлюють в спеціальні касети (рис. 8.10) обрізаними і оплавленими кінцями капілярами вниз.



Касета АП-16-5-0 Касета АП-16-6-0 Касета АП-16-7-0 Касета АП-16-4-0 Касета АП-16-8-0

Рис. 8.10. Касети типу АП для ампул

## Типи касет

Тип	Об'єм ампул, мл	Призначення
АП 16-4-0	1; 2; 5; 10; 20	Для утримування ампул на операціях заповнення, стерилізації, контролю на герметичність і перегляду
АП 16-5-0	1; 2	Для транспортування ампул і утримування їх капілярами вниз на операціях миття, наповнення і сушіння
АП 16-6-0	20	Для транспортування ампул і утримування їх капілярами вниз на операціях миття, наповнення і сушіння
АП 16-7-0	5; 10	Для транспортування ампул і утримування їх капілярами вниз на операціях миття, наповнення і сушіння
АП 16-8-0	1; 2; 5; 10; 20	Для транспортування ампул і утримування їх на операціях заповнення і маркування

Наступним кроком у підготовці ампул до процесу їх наповнення є миття ампул, яке є однією з найважливіших стадій ампульного виробництва. Розрізняють зовнішнє та внутрішнє миття. Внутрішнє миття здійснюють вакуумним, ультразвуковим, віброультраузвуковим, термічним та шприцевим методами. Різновидом вакуумного способу миття є турбовакуумний, вихровий та пароконденсаційний.

Для зовнішнього миття ампул використовують *напівавтомат АП-2М2* (рис. 8.11). Касету з ампулами, набраними капілярами вниз, встановлюють в робочу ємність 6 напівавтомату і закривають кришкою 5. Через розбризкуючий пристрій 4 в ємність 6 подається струмінь мийочної рідини, яка примушує касети з ампулами обертатися.

Для внутрішнього миття використовують *напівавтомати АП-30М* для пароконденсаційного миття (рис. 8.12) та *АП-3М2* (рис. 8.13).

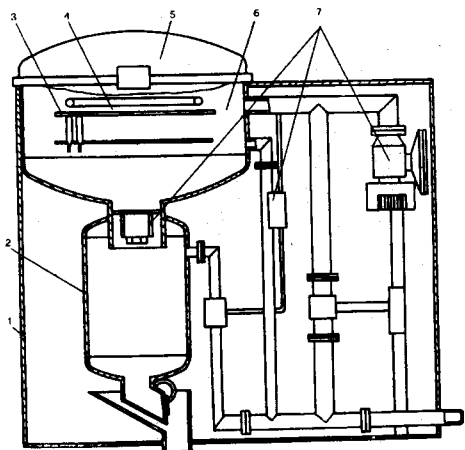


Рис. 8.11. Напівавтомат АП-2М2:  
1 - корпус; 2 - проміжна ємність; 3 - касета з ампулами;  
4 - розбризкуючий пристрій; 5 - кришка; 6 - робоча ємність;  
7 - система клапанів

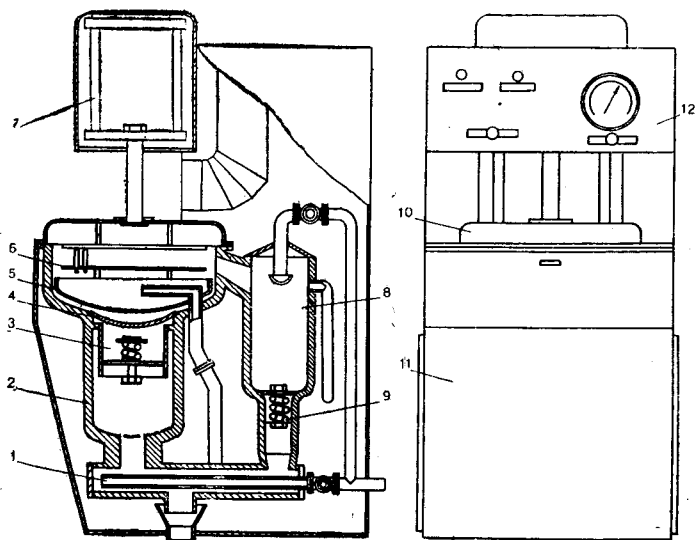


Рис. 8.12. Напівавтомат АП-30М для пароконденсаційного миття:

1 - душові труби; 2 - ємність проміжна; 3, 9 - зворотний клапан;

4 - вловлювач скла; 5 - вкладка для ампул; 6 - касета з ампулами;

7 - пневмоциліндр, 8 - конденсатор, 10 - кришка, 11 - станина, 12 - пульта управління

У напівавтоматі АП-3М2 для зовнішнього миття (рис. 8.13) касету з

ампулами 5, набраними капілярами вниз, встановлюють в робочу ємність 7 напівавтомату і закривають кришкою 6. З робочої ємності через трубопровід відсмоктується повітря, при цьому кінці капілярів ампул занурюються в миючу рідину. Принцип миття заснований на різниці тиску в робочій ємності і ампулах. При встановленні в робочій ємності 7 через клапан 9 атмосферного тиску миюча рідина поступає в ампули.

Для запобігання вторинного забруднення після миття ампули достатньо швидко передаються на сушіння або стерилізацію в залежності від умов ампулювання.

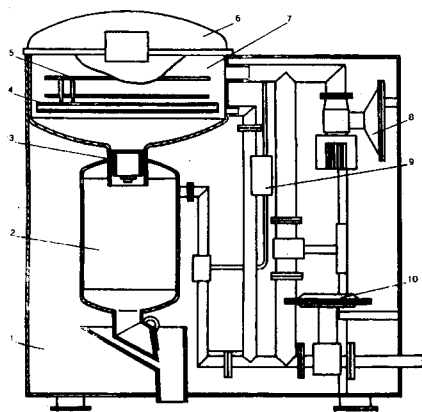


Рис. 8.13. Напівавтомат АП-3М2 для зовнішнього миття: 1 - корпус; 2 - проміжна ємність; 3 - зворотний

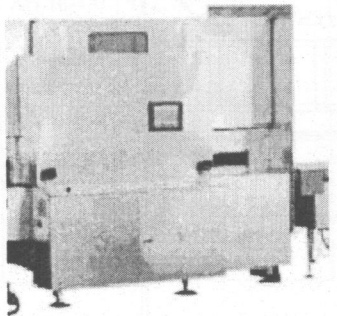
клапан; 4 - піджасетник; 5 - касета з ампулами;

6 - кришка; 7 - робоча ємність; 8 - клапан

електромагнітний з фільтром; 9 - клапан повітря;

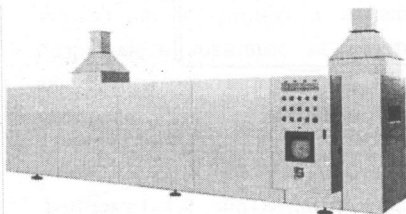
10 - клапан двоходовий

Сушіння проводиться в спеціальних сушільних шафах при температурі 120-130 °С 15-20 хв. Якщо необхідна стерилізація, то обидві стадії об'єднують та ампули витримують в сухоповітряному стерилізаторі при 180 °С протягом 60 хв.

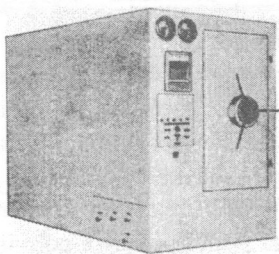


Апарат для стерилізації і сушіння ампул

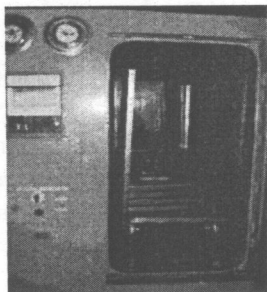
Апарати для стерилізації і сушіння ампул є тунелем, в якому виділена зона попереднього нагріву, зона високотемпературної стерилізації і зона охолодження. Використовуючи принцип пошарової стерилізації гарячого повітря, в тунелі здійснюється стерилізація вмісту шляхом короткострокової високо-температурної дії.



Крім цього використовують інфрачервоний стерилізатор та паровий стерилізатор. *Інфрачервоний стерилізатор* має структуру тунельного типу. Обладнання складається з сегменту попереднього підігріву, нагріваючого сегмента і охолоджуючого сегмента. Він працює за



принципом сухої стерилізації для миттєвої високотемпературної стерилізації в контейнері. Даний інфрачервоний стерилізатор підходить для сушіння і стерилізації ампул, а також флаконів з під антибіотиків, пляшок з під рідких медичних препаратів та інших фармацевтичних скляних пляшок.



Стерилізатор паровий

*Стерилізатор паровий ГПСД-1700А, ГПСД-1000* вітчизняного виробництва призначений для стерилізації паром ампул об'ємом 1, 2, 3, 5, 10 і 20 мл, наповнених ін'єкційними розчинами і покладених у спеціальні касети, а також для стерилізації рідин у посудинах об'ємом до 2000 мл, бутлів з сироватками об'ємом до 9000 мл, інструментів, одягу, перев'язувальних засобів.

Стерилізатор комплектується двома завантажувальними стелажми і двома візками. Касетами стерилізатор не комплектується.

Оператор укладає касети АП16-4-0 з ампулами або іншими об'єктами стерилізації на полиці двох пересувних стелажів, встановлених на візках. Завантажені стелажі вручну заочуються в камеру стерилізатора. Обидві двері стерилізатора герметично закриваються з допомогою центральних затворів. Двері представляють собою конструкцію, оснащену одним центральним затвором і мають запобіжний пристрій діафрагмового типу, який запобігає відкриванню дверей при наявності тиску всередині стерилізаційної камери. Після завантаження стелажів в стерилізаційну камеру і за умови, що двері повністю закриті - на обох сторонах стерилізатора повинні загорятися сигнальні лампочки «Процес закінчено». Після цього відкриваються вентиля на трубопроводах пари, вакууму, зливу конденсату.

Цикл стерилізації починається включенням кнопки «Пуск» і виконується автоматично за заданою програмою, при цьому повинні загорятися сигнальні лампочки «Процес іде». Режим стерилізації задається на пульті управління.

Схема управління стерилізатора (рис. 8.14) – релейно-контактна і дозволяє вести процес у трьох режимах:

- а) без вакуумування;
- б) з вакуумуванням камери перед нагріванням;
- в) з вакуумуванням камери перед нагріванням і після стерилізації.

На стінці стерилізатора вмонтований електрощиток. Корпус електрощитка металевий, захищений від попадання вологи всередину. У щитку розміщений блок автоматики, на лицьовій стороні винесені кнопки управління і сигнальні лампи.

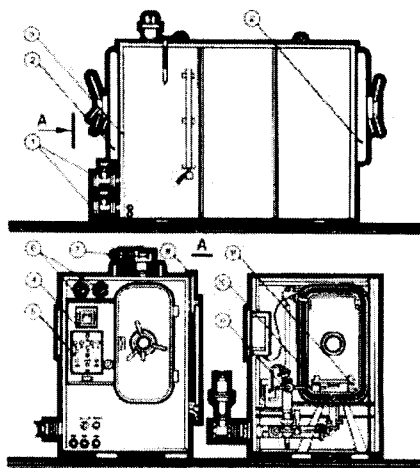


Рис. 8.14. Схема стерилізатора парового:

- 1- система трубопроводів; 2 - двері, 3 - корпус, 4 - електронний місток; 5 - електрощиток;
- 6 - мановакуумметри; 7 - запобіжний клапан; 8-ртутний термометр; 9 - клапани;
- 10 - ізоляція; 11 - направляючі стерилізаційної камери

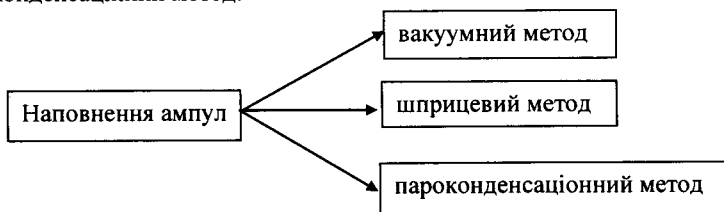


На цій же стінці знаходяться два мановакуумметри: один призначений для підтримання тиску пари в камері, інший - для отримання звукового та світлового сигналу в разі аварійного перевищення тиску, а також для подачі сигналу про відсутність тиску в камері. Також на стінці розміщений електронний місток для запису зміни температури в камері під час всього процесу стерилізації і для візуального контролю температури. На розсуд замовника-виробника датчик температури встановлюється у верхній або в нижній частині камери. Регулювання температури стерилізації з точністю  $\pm 1$  °C здійснюється електромагнітним клапаном подачі пари, який регулюється за тиском пари в камері.

Відлік часу проводиться за допомогою програмного електромеханічного реле часу з установкою витримок часу до 60 хв на кожному барабані. Стерилізатор забезпечений запобіжним клапаном, який спрацьовує при надлишковому тиску 0,22 МПа (2,2 кгс/см<sup>2</sup>).

### Устаткування для наповнення ампул

У технологічному процесі ампулування застосовують два відомі способи наповнення ампул: вакуумний та шприцевий, а також різновид вакуумного – пароконденсаційний метод.



Для забезпечення належної якості лікарських засобів в провідних країнах світу і на території країн-членів PIC/S використовується тільки метод шприцевого наповнення ампул. Це пояснюється наявністю обов'язкових вимог щодо відповідності виробництва лікарських засобів вимогам GMP в країнах з суворю регуляторною системою (ЄС, Японія, США, країни-члени PIC/S). Метод вакуумного наповнення широко використовувався в радянські часи, і в даний час застосовується окремими виробниками лікарських засобів на території країн СНД.

### Устаткування для вакуумного наповнення ампул

**Вакуумний спосіб** є найбільш поширеним у вітчизняній промисловості. Цей спосіб порівняно зі шприцевим у 2 рази більш продуктивний при точності дозування  $\pm 10-15$  %. Продуктивність апарату Маріупольського заводу досягає

25 тис. малооб'ємних ампул за годину, тоді як автомата шприцевого наповнення – лише 12 тис. ампул.

Вакуумний спосіб наповнення полягає в тому, що ампули в касетах поміщають у герметичний апарат, в смість якого заливають розчин для наповнення ампул і створюють вакуум; при цьому повітря з ампул всмоктується, і після стравлювання вакууму розчин заповнює ампули.

Дозування розчину в ампули при вакуумному способі виконується за допомогою зміни величини розрідження, тобто фактично регулюється об'єм, що підлягає заповненню, при цьому сама ампула є дозувальною смістю. Ампули з різними об'ємами заповнюються при відповідно створеній глибині вакууму в апараті.

Для точного наповнення ампул за допомогою вакууму попередньо визначають величину розрідження, яке створюється. Звичайно на заводах складають таблиці необхідного ступеню розрідження в залежності від атмосферного тиску, розмірів ампул і необхідного об'єму наповнення. У тих випадках, коли таких таблиць немає, ампули наповнюють при робочому розрідженні, що дає об'єм наповнення дещо більший чи менший від необхідного, і методом інтерполяції розраховують потрібну величину розрідження. При знайденому значенні проводять контрольне наповнення і вимірюють об'єм рідини за допомогою калібрувального шприца.

Відсутність точного дозування розчину є *основним недоліком* вакуумного способу наповнення. Серед *недоліків* можна також назвати те, що ампули при наповненні занурюються капілярами в дозований розчин, через який при створенні вакууму проходять бульбашки відсмоктуваного повітря і в ампули потрапляє тільки частина розчину, а решта – залишається в апараті і після циклу наповнення зливається з апарату на перефільтрування; усе це приводить до додаткового забруднення і неекономної витрати розчину. Крім того, при наповненні забруднюються капіляри ампул, у результаті чого при запаюванні утворюються небажані «чорні» головки від пригорання розчину на кінці капіляру. Недоліком вакуумного способу наповнення є також і те, що після наповнення до проведення операції запаювання ампул проходить порівняно зі шприцевим методом наповнення проміжок часу, що негативно позначається на чистоті розчину і потребує застосування спеціальних пристроїв для заповнення капіляра інертним газом. За вітчизняною технологією, яка застосовується сьогодні, між наповненням і запаюванням ампул проходить більше 3 хв. Великий проміжок часу створює додаткові умови для забруднення розчину в ампулах механічними частинками і мікрофлорою з навколишнього середовища.

До переваг вакуумного способу наповнення ампул, крім високої продуктивності, можна віднести невибагливість цього процесу до розмірів і форми капілярів ампул. За кордоном вакуумний спосіб наповнення ампул застосовується тільки для недорогих препаратів і питних розчинів.

**Напівавтомат для наповнення ампул АП-4М2** (рис. 8.15) складається з корпусу із закріпленою в ньому ємністю апарата, всередині якого є псевдодно, яке утримується на патрубку для подачі розчину. Патрубок обладнаний насадкою з бічними щілинами безпосередньо над верхньою площиною несправжнього днища.

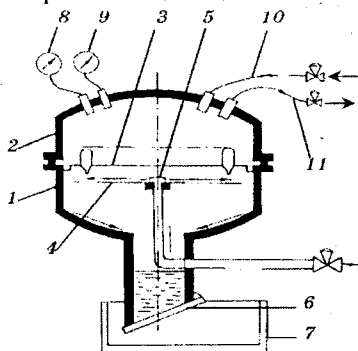


Рис. 8.15. Схема напівавтомату для наповнення ампул (модель АП-4М2).  
 1 - корпус, 2 - кришка, 3 - кассета з ампулами,  
 4 - несправжнє днище, 5 - патрубок подачі розчину, 6 - клапан нижнього спуску,  
 7 - ємність для зливу розчину з апарату,  
 8 - контактний вакуумметр (наповнення апарату), 9 - контактний вакуумметр (дозування розчину при наповненні ампул),  
 10 - трубопровід подачі розчину,  
 11 - вакуумпровід

Ємність апарату має нижній злив із клапаном і на бічній стінці - опори для установки на них касети з ампулами. Зверху апарат закритий кришкою, яка має автоматичний пневмопривід для її відкриття і закриття.

Нижній злив виведений у приймальну ємність. Для вимірювання вакууму автомат обладнаний контактними вакуум-манометрами. До ємності апарату присьєднані трубопроводи подачі розчину із вакуумної магістралі цеху. Процес роботи автоматизований. В ємність встановлюють касету з ампулами, закривають кришку та в апараті створюють вакуум, при цьому клапаном на нижньому зливі герметизують апарат. Подають розчин. Під дією вакууму розчин струменями надходить із щілин насадки, омиваючи верхню поверхню несправжнього днища, стікає під нього, змиваючи туди

механічні частинки. Потім в апараті створюють необхідне розрідження, що відповідає дозі розчину, який заповнює ампулу, і стравлюють вакуум. Розчин, що залишився в апараті, зливається в збірник та потрапляє на перефільтрування.

Продуктивність напівавтомату – 60 касет за годину. Тривалість циклу наповнення – 50 с. Після наповнення ампул вакуумним способом у капілярах ампул залишається розчин, що заважає якісному запаюванню і забруднює ін'єкційний розчин продуктами згорання.

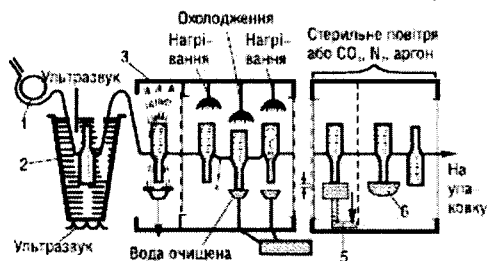
Розчини з капілярів ампул можна видалити багатьма різними способами:

- відсмоктуванням розчину під вакуумом;
- продавлюванням розчину стерильним повітрям або інертним газом (у напівавтоматі АП-5М2);
- обробкою струменем пари або апірогенною водою.

**Напівавтомат для продавлювання розчину з капілярів в ампулу типу АП-5М2.** У корпусі напівавтомата встановлена ємність із кришкою. До ємності приєднані системи подачі стиснутого повітря, інертного газу, вакууму; вона також з'єднана з атмосферою. Ємність має нижній злив. Кришка апарата має привід і запірні пристрої. Цикл роботи автоматизований. В ємність встановлюють касету з ампулами, потім заповнюють фільтрованим повітрям, а далі вакуумом, закривають кришку апарата, створюють в апараті тиск. У напівавтоматі можна проводити продавлювання розчину з капілярів в ампули об'ємом 1-20 мл. Продуктивність апарату (ампули 1-2 мл) складає 40 тис. ампул за годину. Тиск повітря при продавлюванні розчину становить 195-490 кПа.

**Параконденсацийний спосіб** — це різновид вакуумного методу наповнення ампул. На основі параконденсацийного способу миття ампул співробітниками ДНЦЛЗ була запропонована принципово нова технологічна лінія ампулування ін'єкційних розчинів. Ампули після різання повністю занурюють капілярами вгору в ємність з водою, оснащену ультразвуковими випромінювачами. Під дією ультразвуку ампули швидко заповнюються водою і відразу додатково обробляються ультразвуком. Після цього ампули переводять у положення «капілярами вниз» і направляють у камеру, де промивають спочатку зовнішню поверхню душенням, а потім внутрішню - пароконденсацийним способом. Під час виходу води з ампул їх піддають вібрації для максимального видалення з них механічних частинок. Ампули після промивання надходять у камеру для дозованого заповнення розчином пароконденсацийним способом і запаюванням. Промивна вода безперервно фільтрується і повертається в цикл.

Ампули перед запаюванням трохи охолоджують для того, щоб розчин вийшов з капілярів, після чого їх кінці опускають у ємність із рідкою пластмасою і відразу виймають; краплі пластмаси, які утримуються на кінцях капілярів, тверднуть і герметично закупорюють ампули з розчином.



Принципова схема ампулування ін'єкційних розчинів на основі пароконденсацийного способу: 1 - різання; 2 - ємність з водою; 3 - душення; 4 - вібрація; 5 - пароконденсацийне миття; 6 - запаювання

Окремі елементи пароконденсаційного способу знайшли застосування при створенні автоматизованих ліній ампулування типу «АП-30», установки для термічного миття ампул, безперервно діючої лінії для миття, висушування і стерилізації флаконів у виробництві очних крапель. Після наповнення контролюють фактичний об'єм розчину.

У посудинах об'ємом до 50 мл наповнення перевіряють калібрувальним шприцем, у посудинах об'ємом 50 мл і більше - калібрувальним циліндром при температурі  $(20 \pm 2)$  °С. Об'єм розчину, набраного з ампули шприцем, після витіснення з нього повітря і заповнення голки або після виливання в циліндр повинен бути не меншим за номінальний об'єм.

### Устаткування для шприцевого методу наповнення ампул

*Шприцевий спосіб* наповнення ампул (рис. 8.16) набув поширення за кордоном і здійснюється за допомогою установок зі спеціальними дозаторами (поршневими, мембранними та ін.). Метод має більш складне апаратне оформлення, ніж вакуумний, і більш жорсткі вимоги до розмірів і форми капілярів ампул, але завдяки ряду переваг він є найкращим для застосування в

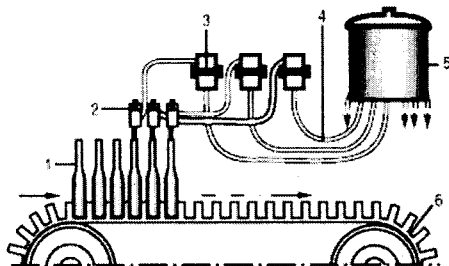


Рис. 8.16. Шприцевий метод наповнення ампул:  
1 - ампули; 2 - поршневий дозатор; 3 - фільтр; 4 - шланг;  
5 - смісць із розчином для заповнення ампул; 6 - транспортер

технології ампулування. Особливо ці переваги виявляються при проведенні операцій наповнення і запаювання в одному автоматі.

До суттєвих переваг шприцевого способу наповнення слід віднести також можливість точного дозування розчину (2 %) і невеликий проміжок часу між наповненням

і запаюванням (5-10 с), який дозволяє ефективно використовувати заповнення їх вільного об'єму інертним газом, що значно продовжує термін придатності препарату. При наповненні в ампулу вводиться тільки необхідна кількість розчину, при цьому капіляр ампули не змочується розчином, залишається чистим, завдяки чому поліпшуються умови запайки ампул, особливо це важливо для густих і в'язких розчинів.

В технології ампулування в струмені інертних газів ампула, яка підлягає наповненню, попередньо заповнюється газом, і розчин при наповненні практично не контактує з навколишнім середовищем (атмосферою) приміщення. Це приводить до підвищення стабільності багатьох ін'єкційних розчинів. Декілька порожніх голок опускаються всередину ампул,

розташованих на конвеєрі. Спочатку в ампулу подається інертний газ, витісняючи повітря, потім подається розчин за допомогою дозатора, і знову - струмінь інертного газу, після чого ампула одразу поступає на позицію запаювання.

*Недолік* методу – низька продуктивність, що складає до 10 тис. ампул за годину.

На сьогодні створено ряд конструкцій дозувальних елементів, які працюють без рухомих частин що дозволяє повністю уникнути забруднення розчину в процесі дозування. Ряд закордонних фірм використовують для цього перистальтичні насоси, різні дозатори мембранного типу. Введення дози в ампулу під тиском дозволяє застосовувати при наповненні додаткову фільтрацію розчину безпосередньо в момент наповнення, що дає можливість гарантувати чистоту, а при фільтрації за допомогою ультрафільтрації і стерильність розчину в ампулі.

### *Устаткування для запаювання ампул*

Операція запаювання ампул найбільш відповідальна операція в технологічному процесі ампулування, оскільки неякісне або тривале запаювання приводить до браку продукції. На сьогодні відомо два основні способи запаювання ампул із застосуванням газових пальників:

- *оплавленням кінчиків* капілярів, коли в ампулі, яка безперервно обертається, нагрівають кінчик капіляра, і скло, розм'якшуючись, само запливає отвір капіляру;

- *відтягуванням капілярів*, коли капіляри ампули опалюють з відтягуванням частини капіляра та у процесі відпаювання запаюють ампулу.

Для рівномірного розігрівання капіляру ампулу обертають при запаюванні. Вибір способу запаювання визначається діаметром капіляру. При вакуумному наповненні, коли капіляр ампули тонкий і крихкий, найбільш прийнятною технологією дотепер є спосіб запаювання оплавленням. При використанні шприцевої технології наповнення, коли застосовують ампули з широкою шийкою та розтрубом, спосіб запаювання оплавленням неприйнятний, тому застосовують спосіб відтягування частини капіляра ампули.

Спосіб запаювання ампул оплавленням має ряд *недоліків*. У результаті оплавлення кінця капіляра запаювання ампул супроводжується напливом скла. При значному напливі через напруги, які виникають у склі, викликані різною швидкістю застигання скла, у місці запаювання можуть утворитися тріщини, що приводять до розгерметизації ампули. При тонкому капілярі

запаювання супроводжується утворенням гачка на кінці капіляра, що вважається браком. При капілярі великого діаметра оплавлення не відбувається повною мірою, тому що залишається капілярний отвір у місці запаювання. У даному способі необхідним є, щоб ампули були однієї довжини. При відхиленнях довжини ампул понад  $\pm 1$  мм якість запаювання різко погіршується, і брак при запаюванні може бути значним. При запаюванні ампул, наповнених розчином, в капілярі утворюється пригорання – «чорні головки», тому капіляри ампул перед запаюванням промивають. Капіляри промивають за допомогою розпилювальної форсунки, направляючи розпилену воду для ін'єкцій в отвори капілярів ампул.

За кордоном, завдяки застосуванню шприцевої технології миття і наповнення, запаювання виконують способом відтягування частини капіляра ампул. При цьому способі спочатку розігрівають капіляр ампули, яка безперервно обертається, а потім, охоплюючи спеціальними щипцями частину капіляра і відтягуючи, відпаюють і викидають відходи. У цей же час дещо відводять полум'я пальника вбік для перепалу скляної нитки, що утворюється в місці відпаювання, і для оплавлення запаяної частини. Процес запаювання ведеться, як правило, за жорстким часовим циклом. У цьому випадку особливо важливого значення набуває маса скла, що вводиться в полум'я і на яку налаштовується пальник запаювального вузла. Якщо в полум'я пальника буде введена ампула з масою капіляра, більшою за масу, на яку налаштований пальник, то за відведення на циклограмі проміжок часу скло не встигне досить розігрітися, і щипці при відтягуванні зісковзнуть із капіляра, тобто така ампула не буде запаяна. Якщо в зону пальника буде введена ампула з меншою за необхідну масу капіляра, то ампула розігріється за проміжок часу, менший від заданого циклограмою. У результаті цього вона перегріється, відпаювана частина відхилиться від осі ампули, щипці не захоплять капіляр, і запаювання не буде виконане якісно. Для якісного запаювання ампули спеціально сортують при виготовленні за діаметром капіляра на групи, і настроювання операції запаювання виконують залежно від використовуваної у виробництві групи ампул. У добре організованому виробництві брак при використанні цього способу не перевищує 1 %.

Запаювання з відтягуванням забезпечує привабливий зовнішній вигляд ампули, і високу якість завдяки однакової товщині стінки запаяної частини і стінки капіляру ампули. За останній час розроблені інші способи запаювання, які забезпечують високу якість та продуктивність.

Запропоновано нові схеми процесу запаювання, наприклад: проводити таку операцію з вимірюванням температури скла в зоні запаювання. При досягненні пластичності скла і заданої температури спрацьовують

електромуфта і привід щипців відтягування, одночасно соленоїд відводить пальник; пропонується спеціальна головка, в якій під впливом обертального моменту, переданого холодним капіляром на головку, відтягування капіляра не відбувається; по мірі нагрівання і при досягненні пластичності скла капіляр перестає передавати достатній обертальний момент та під дією гнучкого елемента всередині головки, що має постійний і протинаправлений обертовий момент, головка повертається і дає команду на відтягування капіляру. Розроблено конструкцію для запаювання способом відтягування, яка автоматично виконує відрив капіляру при досягненні необхідної пластичності скла в місці його розігріву. Ця конструкція складається з вільно насаджених на вісь щипців із роликками.

Застосування роликів завдяки їх малій масі значно зменшує небезпеку скручування капіляра в місці запаювання в момент розм'якшення скла.

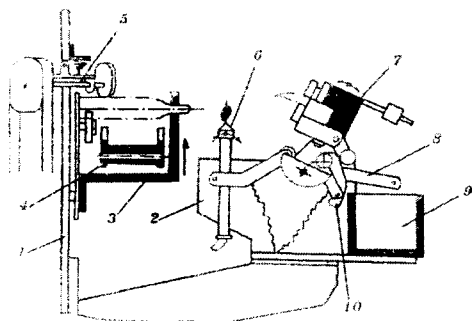


Рис. 8.17. Схема роботи запаювального вузла:

- 1 - корпус; 2 - утримувач запаювального пристрою;
- 3 - рухомі лінійки для встановлювання ампул на робочу позицію; 4 - транспортні лінійки; 5 - привід обертання ампул;
- 6 - газовий пальник; 7 - відкидні щипці;
- 8 - важіль для зводу щипців; 9 - ящик для збору відходів; 10 - копир для відкривання щипців

Система рухомих, поворотних копирів і важелів забезпечує автоматичне підведення щипців, захоплення відпаюваної частини капіляра, його відкидання після запаювання, підведення і відведення пальника. До щипців прикладений постійний момент у вигляді тягарця для відтягування. Протидіючий момент, що утримує щипці, досягається за рахунок розвороту осей роликів щодо осі обертового капіляра ампули. У міру розм'якшення скла

протидіючий момент зменшується, і щипці, відтягуючи капіляр, відводять пальник. Така конструкція успішно застосовується для запаювання пробірок із кетгуттом і хірургічним шовком, повністю замінивши ручну працю на цій операції. На рис. 8.17 схематично показано будову такого запаювального вузла. Однак, застосування всіх описаних раніше способів запаювання ампул з малим діаметром і тонкими стінками капіляра не дає очікуваного ефекту, тому що останній, при механічній дії на нього засобу відтягування, або скручується, створюючи наплив скла в місці запаювання, або руйнується.

Зараз розроблений новий (рис. 8.18) спосіб запаювання з відтягуванням капіляра під дією струменя стиснутого повітря 2. Спосіб позбавлений недоліків, тому що при запайці відсутній механічний контакт із капіляром.



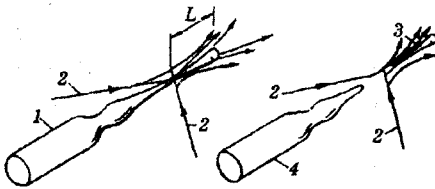


Рис. 8.18. Схема дії струменів стиснутого повітря на капіляр ампули при запайці.

1 - ампула, яку запаяють, 2 - напрямки струменів стиснутого повітря, 3 - частина капіляру ампули, яка відпаяється, 4 - запаяна ампула

Крім того, з'являється ряд нових переваг, що полягають у можливості пневмотранспортування відходів, збільшенні продуктивності за рахунок створення закритої зони нагрівання для капіляра ампули, спрощення конструкції запаювального вузла без рухомих частин і в ряду інших. Запаювання методом відтягування за допомогою струменя стиснутого повітря

дозволяє якісно запаювати капіляри ампул як великого, так і малого діаметрів, має за своєю природою саморегулюючий процес нагрівання і відтягування частини капіляра ампули.

**Апарат для запаювання ампул типу АП-6М** (рис. 8.19). На автоматі системи Резепіна ампули запаюють способом оплавлення вільного кінця капіляра. З підживлювача, ампули надходять у комірки верхньої частини безперервного транспортеру, який проходить під ним. При необхідності в цей час капіляри збризкуються очищеною водою з розпилювальної форсунки.

Потім ампули проходять через ділянку підігріву і висушування капіляру і переводяться на нижню частину, яка переміщає ампули над газовим пальником, який запаює.

В комірках під час руху, від тертя по нерухомій опорі, ампули починають обертатися, а кінець капіляру, що знаходиться у полум'ї пальника,

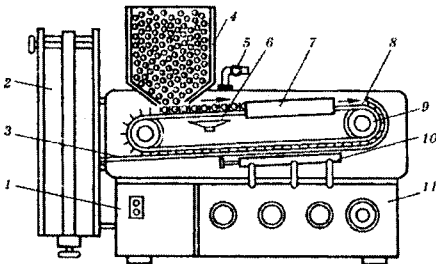


Рис. 8.19. Машина для запаювання ампул АП-6М:

1 - корпус; 2 - укладальник ампул у касети; 3 - напрямлююча; 4 - бункер; 5 - зрошувач; 6 - ванна; 7 - шиток; 8 - транспортерна стрічка; 9 - шків; 10 - пальник; 11 - панель управління

заплавляється. Збір запаяних ампул проводиться в касету, яка знаходиться зліва від машини. По мірі заповнення ампулами касети поступово опускаються вниз, звільняючи місце для установки порожньої касети, і цим досягається безперервна робота машини. Машина запаює ампули об'ємом 1-20 мл. Продуктивність від 7,7 тис. до 19 тис. ампул за годину.

**Машина для запаювання ампул з інертним середовищем типу 432** (рис. 8.20) призначена для заміни повітряного середовища в ампулах інертним газом (азотом або вуглекислим газом) і запаювання ампул способом оплавлення. Ампули, заповнені лікарською речовиною, з бункера 7 прямують в пристрій 8, де відбувається заміщення повітря інертним газом. Потім через проміжний ротор 10 ампули потрапляють в ротор запаювання 4 і, проходячи по направляючій 3 над полум'ям пальника 2, запаюються, після чого укладаються в касету, встановлену на панелі 5.

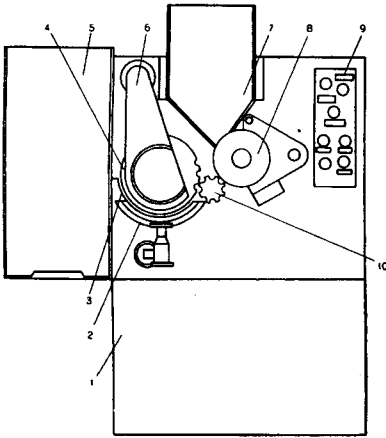


Рис. 8.20. Машина для запаювання ампул з інертним середовищем типу 432

- 1 - станина, 2 - пальник, 3 - направляюча, 4 - ротор для запаювання, 5 - панель для касет, 6 - короб витяжний, 7 - бункер, 8 - пристрій для заміщення повітря інертним газом, 9 - пульта управління, 10 - проміжний ротор

Машина забезпечує невеликий проміжок часу між виходом ампул, заповнених інертним газом, і їх запаюванням, що дозволяє одержувати запаяні ампули з великим відсотком вмісту інертного газу у вільному об'ємі ампул. Застосування цієї машини значно збільшує термін придатності ін'єкційних препаратів. Ампули, які обробляються, мають об'єм 1 і 2 мл. Продуктивність

машини - від 8600 до 13 200 ампул за годину.

Для закупорювання флаконів з ін'єкційними лікарськими формами використовують корки, виготовлені зі спеціальних сортів гуми:

- IP-21 (силіконова);
- 25 ПІ (натуральний каучук);
- 2-369, 52-369/1, 52-369/2 (бутиловий каучук);
- IP-119, IP-119А (бутиловий каучук).

Гумові корки спеціально обробляють для видалення з їх поверхні сірки, цинку та інших речовин відповідно до НТД. Флакони, закупорені гумовими корками, додатково «обкатують» металевими ковпачками. При цьому використовують **напівавтомат типу ЗП-1**, який призначений для закатування алюмінієвих ковпачків і кришок при закупорюванні посудин об'ємом від 50 до 500 мл. Продуктивність – до 500 флаконів за годину.

#### **Автоматизовані лінії процесу ампулювання**

Одним із шляхів вирішення завдань поєднання кількох процесів в одному виробничому блоці є застосування сучасних **автоматичних ліній ампулювання**

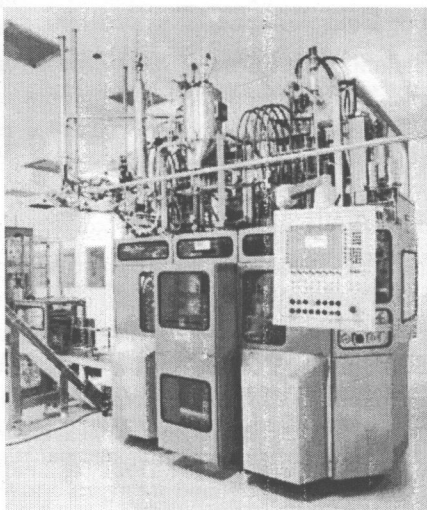
ін'єкційних препаратів. Такі потоково-автоматичні лінії мають очевидні переваги над устаткуванням, призначеним для виконання тільки однієї якоїсь операції. Використання автоматичних ліній дозволяє практично повністю виключити ручну працю людини через застосування приладів, автоматів і машин, об'єднаних автоматичним засобом транспортування предметів й автоматизації всього виробничого процесу.

Як комплексні лінії для приготування розчинів, так і окремі компоненти і модульні технологічні системи для стерильного виробництва ін'єкційних і інфузійних препаратів, очних крапель і інших рідких продуктів, інтеграція в адаптовані концепції для різних рівнів чистоти включають:

- ручні і автоматичні системи завантаження ємності для приготування розчину;
- ємності для приготування розчину різних розмірів і типів, від простих мобільних ємностей до стаціонарної ємності з мішалками;
- подача активної речовини за допомогою вакууму з бочок;
- автоматизовані процеси CIP/SIP для всіх дотичних з продуктом компонентів і магістралей (трубопроводів);
- специфічні для кожного продукту режими укладання суміші і підтримки температури;
- транспортування розчину за допомогою надлишкового тиску/вакууму або за допомогою насосів;
- системи фільтрації для стерильної фільтрації в процесі виробництва зі специфічними для продукту мембранами, декількома ступенями фільтрації і перевіркою фільтрів в ході процесу.

Розлив ін'єкційних і інфузійних лікарських препаратів в ємності великого (LVP) або маленького (SVP) об'єму або в найменші ємності (одиничні дози), наприклад, для очних, назальних і вушних крапель включають:

- установки для розливу в одноразові шприци, ампули, пляшки і бульбашки, як окремі компоненти або у складі лінії з ізоляторами або без них;



*Установка для розливу в пляшки інфузійних розчинів за технологією Blow-Fill-Seal*

- установки для розливу в пляшки або пакети (технологія Blow-Fill-Seal) у модульному виконанні, з однією або декількома формами, стерильним повітряним душем і з стерилізуючою парою ASR-приміщення зони розливу;
- машини для наварювання ковпачків, що забезпечують стерильність;
- повністю автоматичні закупорювальні машини для встановлення корків, крапельниць, розпилювачів, піпеток, для загвинчування, установки кришок, відбродкування;
- системи завантаження;
- транспортні накопичувачі;
- ефективні електронні системи для введення, візуалізації, управління і архівації всіх даних, релевантних для процесу і установки, автономні або з інтеграцією в мережі більш за високим рівнем ієрархії.

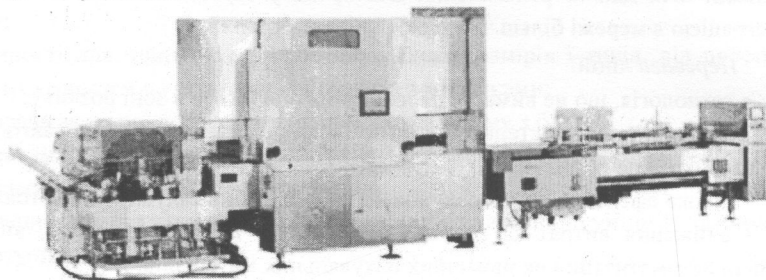
#### *Переваги ліній:*

- технологія, що не вимагає перебування оператора в зоні розливу;
- найвищий рівень стерильності, оскільки речовина, яку розливають ніколи не взаємодіє з нестерильним оточенням;
- висока ефективність за рахунок коротких циклів запуску і підготовки;
- зниження витрат за рахунок мінімальної потреби в площі, високому ступені автоматизації і економічних пакувальних матеріалів;
- подовження терміну придатності продуктів за рахунок роботи в повністю асептичних умовах і пов'язаної з цим відмови від консервантів;
- оптимальна адаптація процесів до високопродуктивної концепції установки з надійними системними інтерфейсами;
- продуктивність до 30 тис. ємностей в годину;
- гнучкість в дизайні упаковки.

Типовий ряд машин *ALF розливо-закупорювальних машин для ампул і флаконів Robert Bosch GMBH* містить всі передумови для сучасного виробництва ампул. Одна основна машина для різних варіантів комплектування, які можна також доукомплектувати.

Ампули передаються безпосередньо з тунелю стерилізації на приймальний транспортер. Через шнековий конвеєр і передавальний диск ампули поступають на транспортну систему, яка проводить їх через всі робочі станції: газация, наповнення, запаювання. Безконтактний контроль верхніх частин ампул управляє кожною позицією наповнення «немає ампули - немає наповнення». Верхні частини ампул заздалегідь центруються цангами, які знімаються, після чого захоплюються ними і прямують в приймальну ємність. Під час запаювання може бути виконана газация. Заповнені і запаєні ампули майже без застосування сили зрушуються в приймальну касету.

Автоматична лінія для миття, сушіння, наповнення і запаювання ампул – устаткування нового покоління, відноситься до обладнання, створеного на основі передових світових технологій у виробництві ін'єкційних форм. Її представником є *автоматична лінія для миття, сушіння, наповнення і запаювання ампул*, яка складається з трьох установок: ультразвукової миючої машини; установки сушіння і стерилізації ампул; установки наповнення і запаювання ампул, керованих з єдиного пульта управління. Таким чином, здійснюються операції миття, сушіння, стерилізації, наповнення і запаювання ампул. При цьому кожна з машин може використовуватися як самостійно, для виконання властивих нею операцій, так і у складі автоматичної потокової лінії.



*Автоматична лінія для миття, сушіння, наповнення і запаювання ампул*

Дана автоматична ампульна лінія здійснює 20 операцій, таких як фільтрування води, ультразвукове миття, промивання водою, обдування, сушіння, стерилізація, охолодження, наповнення рідким препаратом, вдування азоту, запаювання і деякі інші операції. Лінія може використовуватися на фармацевтичних фабриках в ін'єкційному цеху у виробництві ампульних форм ін'єкційних препаратів. Лінія раціональна за конструкцією і дизайном, надійна, стабільна, високопродуктивна.

### **Обладнання для контролю якості запаювання**

Для визначення герметичності посудин застосовують три методи.

Суть *першого методу* полягає в тому, що касети з ампулами поміщують у вакуум-камеру капілярами вниз. У камері створюють розрідження, при цьому з негерметичних ампул розчин виливається. Такі ампули і флакони відбраковуються.

Герметичність ампул можна перевірити за допомогою *другого методу* - забарвленого розчину метиленового синього (0,0005 %). Якщо ін'єкційний розчин піддають тепловій стерилізації, то гарячі ампули поміщують у ванну із забарвленим розчином. При різкому охолодженні в ампулах створюється

розрідження і забарвлена рідина потрапляє всередину негерметичних ампул, які відбраковуються. Якщо ж ін'єкційний розчин не піддають тепловій обробці, то в апараті з ампулами, зануреними в забарвлений розчин, створюють тиск  $100 \pm 20$  кПа, потім його знімають. Ампули і флакони із забарвленим розчином відбраковують.

Для визначення герметичності ампул із масляними розчинами використовують воду або водний розчин мила. При потраплянні розчину всередину ампули відбувається зміна прозорості і кольору масляного розчину за рахунок утворення емульсії і продуктів реакції омилення. В *апараті АП-18* (рис. 8.21) проводять стерилізацію та контроль ампул на герметичність. Ампули

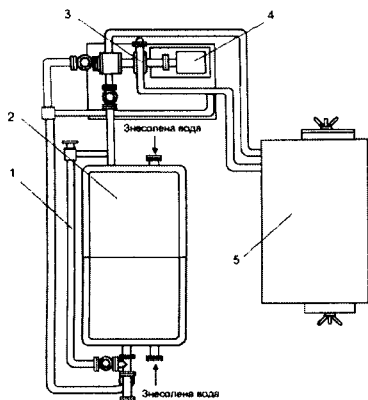


Рис. 8.21. Установа для стерилізації та контролю ампул на герметичність АП-18  
1 - трубопровод; 2 - ємність; 3 - насос;  
4 - електровигин; 5 - автоклав

в касетах завантажують на стелаж-візок, який заковчують в автоклав 5. Стерилізація ампул проводиться насиченою парою при температурі  $100-132$  °С. Потім в автоклав 5 з ємності 2 подається контрольна рідина. Контроль на герметичність заснований на зміні забарвлення ін'єкційного розчину в ампулах при попаданні в ампулу контрольної рідини.

*Третій метод* ґрунтується на візуальному спостереженні за забарвленням газового середовища всередині ампули під дією височастотного електричного поля  $20-50$  МГц. Залежно від розміру залишкового тиску всередині ампули спостерігається

різний колір забарвлення. Визначення проводять при  $20$  °С і діапазоні вимірів від  $10$  до  $100$  кПа. *Машина для візуального контролю ампул* (рис. 8.22) призначена для механізації даного процесу. Як видно з рисунка, транспортер з комірками механізму подачі ампул 3, що розташований під завантажувальним бункером 4, забирає ампули по одній з нього і подає їх до механізму перегляду ампул 5. Поворотна рамка 6 механізму перегляду 5 під час простоювання транспортера затискає п'ять-вісім ампул і повертає їх у вертикальне положення, в якому оператор проглядає ампули.

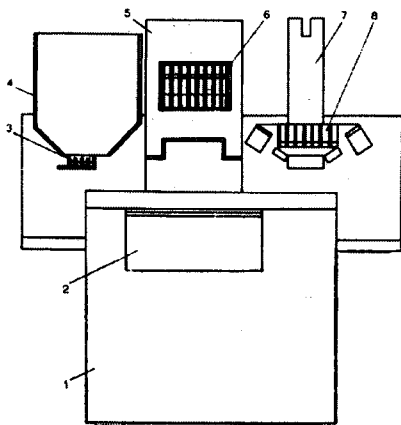


Рис. 8.22. Машина для візуального контролю ампул: 1 - корпус, 2 - пульт управління, 3 - механізм подачі ампул; 4 - завантажувальний бункер, 5 - механізм проглядання ампул, 6 - поворотна рамка; 7 - змінна касета, 8 - механізм завантаження ампул в касету

Браковані ампули оператор, натискаючи кнопки на пульті управління 2, скидає в збірник бракованих ампул, розташований під рамкою. При необхідності можна повторно повернути рамку. Після закінчення перегляду рамка 6 повертається в початкове положення, транспортер виносить проглянуті ампули з рамки 6 і подає їх у механізм завантаження ампул у касету 8. Одночасно непереглянуті ампули подаються в рамку 6. Під час простоювання транспортера штовхач механізму завантаження 8 заштовхує переглянуті ампули в касету. Після повного заповнення касети 7 машина зупиняється, і заповнена касета з

переглянутими ампулами прямує на наступну технологічну операцію. Ампули можна проглядати в ручному і автоматичному режимах. В автоматичному режимі необхідно встановити час перегляду на шкалі за допомогою регулятора часу, розташованого на лівій стінці приводу. При необхідності можна включити додатковий поворот рамки 6 під час перегляду. У ручному режимі час перегляду ампул визначається оператором, а управління зміною ампул і поворотом рамки 6 проводиться з пульта управління 2. Викидання бракованих ампул з затискачів рамки в збірку бракованих ампул здійснюється вручну.

### Обладнання для маркування і пакування

Для маркування ампул об'ємом 1, 2, 3, 5 мл та флаконів 5, 10, 20 мл використовують *автомат для нанесення друку на ампулах і флаконах безконтактним методом*. В автоматі використаний електрокапеструменевий спосіб друку. Для заміни даних маркування інформація оновлюється шляхом введення символів з клавіатури. Для переналаштування на ампули необхідного об'єму автомат може забезпечуватися змінним інструментом згідно комплексу постачання. Зубчатий барабан, що обертається, переносить ампули (флакони) з бункера по направляючих на стрічку транспортера. В процесі руху ампули (флакона) орієнтуються вздовж руху транспортної стрічки. Фотодатчик фіксує наявність ампули (флакона) перед друкарською голівкою маркератора і запускає друк тексту. Набір необхідного тексту здійснюється на клавіатурі

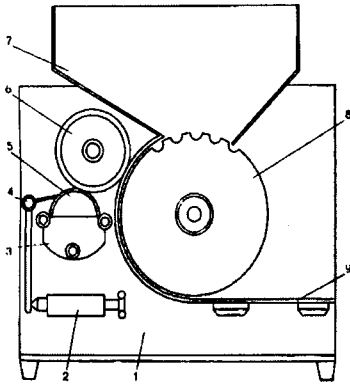


Рис. 8.23. Машина для маркування ампул АП-20М: 1 - корпус; 2 - регулюючий пристрій; 3 - ванна; 4 - ракель; 5 - формовий циліндр; 6 - офсетний циліндр; 7 - бункер; 8 - барабан подачі ампул; 9 - направляючі

переноситься з металевого кліше. Лоток служить для транспортування промаркованих ампул в тару. Продуктивність – 15000 амп/год.

В машині для маркування ампул АП-20М (рис. 8.23) запаяні ампули завантажують в бункер 7, звідки гніздами барабану 8, що обертається, вони подаються до офсетного циліндра 6, притискаються до нього і на ампулах залишається відбиток. Далі ампули по направляючих 9 подаються в приймальну тару. Фарба на офсетний циліндр 6 подається з формового циліндра 5, змочуваного фарбою у ванні 3. Зайва фарба знімається ракелем 4.

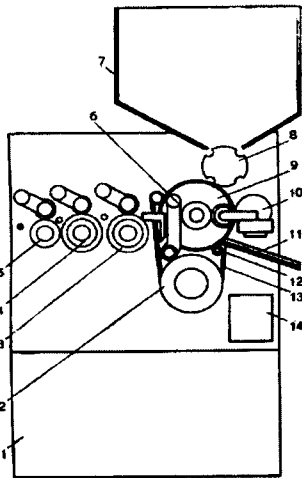


Рис. 8.24. Машина для оплетення капілярів ампул: 1 - станина; 2 - привідний шків; 3, 4, 5 - ролики; 6, 10 - змочувальні ролики; 7 - бункер; 8 - ротор; 9 - барабан з комітками; 11 - лоток; 12 - натяжний ролик; 13 - ремінь; 14 - пульт управління

маркератора. Промарковані ампули (флакони) лотком прямують в тару. Продуктивність – 5 500-6 000 ампул (флаконів)/год.

Для нанесення глибокого друку на ампулах 1, 2 і 5 мл використовують установку для нанесення глибокого друку на ампулах. Автомат складається із станини, на якій закріплені електропривід, редуктор, пристрій комутації. З бункера ампули поступають на барабан, що обертається. Зубчатий барабан переносить ампули до друкуючої поверхні офсет – кліше. При взаємному обкатуванні офсет – кліше і ампули, на останню переноситься текст. На офсет – кліше зображення тексту

Для оплетення капілярів ампул використовують машину, наведену на рис. 8.24. Барабан з комітками 9, розташований під бункером 7, за допомогою ротора 8 забирає ампули по одній з бункера і подає їх до позиції намотування, при цьому ампули спираються на ролики барабану і приводяться в обертання ремнем 13, що охоплює барабан 9. При проходженні ампул біля першого змочуваного ролика 6 капіляр ампули змочується фіксативом. Механізм



подачі волокна витягує віскозний джгут, перетворює його в стрічку, відриває відміряну частину волокна і подає до позиції намотування. На позиції намотування частина волокна зустрічається з ампулою, капіляр якої змочений фіксативом. В результаті обертання ампули волокно прилипає до капіляра і намотується на нього. При подальшому русі ампули другий змочуваний ролик 10 змочує фіксативом отримане оплетення зверху. В результаті обертання ампули і взаємодії оплетення з направляючими, відбувається формування оплетення. Готова продукція виноситься ременем 13 з машини.

**Автомат для пакування ампул об'ємом 1 мл в полімерну плівку та фольгу** (рис.8.25) працює за наступним принципом: з вузла 1 термопластична плівка, оброблена нагрітим до 130 °С повітрям, подається в барабан формату 4. Пластифікована плівка проходить над зоною вакуумування форматного барабану 4 і приймає форму комірок барабану.

У наступній зоні в комірці подається холодне повітря, внаслідок чого плівка легко відділяється від барабану 4. Плівка з відформованими комірками проходить по направляючих під бункерами живильників, з яких ротором 5 ампули подаються в комірки. Наявність ампул в комірках контролюється датчиком 7. Плівка, заповнена ампулами, і фольга склеюються валиками термосклеювача 8. У зоні склеювання спеціальним валиком 9 наносяться номери серії. Всі перераховані вище процеси відбуваються безперервно.

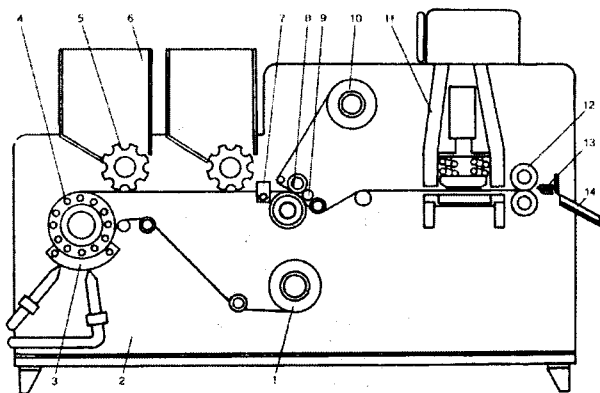
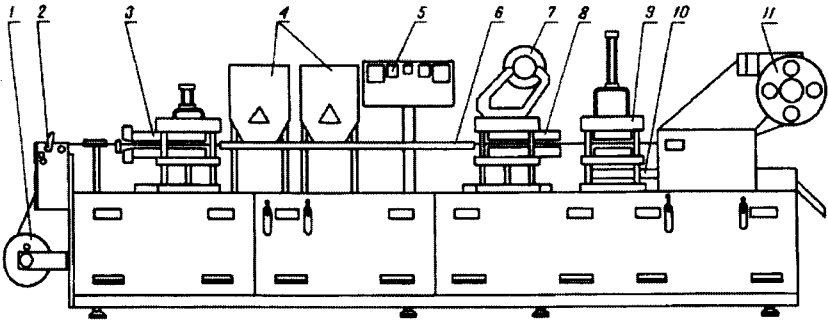


Рис. 8.25. Автомат для пакування ампул об'ємом 1 мл  
 1 - вузла розмотування плівки; 2 - станина; 3 - нагрівач; 4 - барабан формату;  
 5 - ротор; 6 - живильник; 7 - датчик; 8 - валик термосклеювача; 9 - валик маркування; 10 - вузол розмотування фольги; 11 - вирубний штамп; 12 - валики, які тягнуть; 13 - ніж; 14 - лоток

Остання операція - вирубування упаковки зі стрічки - проводиться вирубним штампом 11 і здійснюється періодично. Вирубані упаковки по лотку 14 потрапляють в приймальну тару. Продуктивність – 3000 уп./год.

*Автомат для пакування ампул об'ємом 5 мл в полімерну плівку та фольгу (рис. 8.26). Полімерна плівка циклічно змотується з бобини 1 механізмом розмотування 2 до утворення петлі, протягується грейфером уздовж автомату на один крок за цикл, при цьому плівка проходить послідовно всі технологічні позиції автомату. Поступаючи у вузол формування 3, плівка розігрівається нагрівальними плитами при стисненні пресу. Розігріта ділянка плівки потрапляє на позицію формування, де відбувається попереднє витягування комірок пуансонами. Потім під плівку подається стиснене повітря, яке притискає її до стінок холодної матриці і надає їй остаточну форму. Пуансони повертаються в початкове положення, штамп розкривається, нагрівальні плити розходяться.*



*Рис. 8.26. Автомат для пакування ампул об'ємом 5 мл  
1 - бобина; 2 - механізм розмотування плівки; 3 - вузол формування; 4 - вузол завантаження комірок ампулами; 5 - пульт керування; 6 - механізм контролю заповнення осередків; 7 - механізм розмотування фольги; 8 - вузол термосклеювання; 9 - вузол вирізання з механізмом передачі упаковок; 10 - кроковий транспортер; 11 - механізм намотування*

З боку матриці в штамп подається стиснене повітря, допомагаючи плівці з зформованими комірками відірватися від матриці. Плівка грейфером переміщається на крок. Нагріта між плитами частина плівки поступає в штамп, а зформована частина плівки з комірками поступає у вузол завантаження комірок ампулами 4. На позиції завантаження комірки заповнюються ампулами з бункерів. На наступній позиції механізм 6 контролює заповнення комірок ампулами. За відсутності в комірці ампули, або її зламі, механізм дає сигнал на пристрій, що запам'ятовує, а також на позиції крокового транспортера, і браковані упаковки скидаються.

Фольга або ламінуючий папір через систему роликів і важелів змотується з бобини механізму 7, накладається на плівку і у вузлі 8 відбувається термосклеювання при стисканні пресу. Одночасно у момент простоювання пресу в зімкнутому стані здійснюється охолодження склеєної ділянки. На

позиції вирубування у вузлі 9 у момент змикання пресу вирубувані упаковки підхоплюються вакуум-присосками і передаються на транспортер 10. Кроковий транспортер 10 виносить готові упаковки з машини на вивідний лоток і браковані упаковки на позицію скидання браку. Вирубана плівка підмотується на барабан механізмом 11 у міру витягування її з машини.

### Альтернативні форми упаковки ін'єкційних лікарських засобів

Як упаковку для ін'єкційних розчинів використовують також *шприц-тюбик*. Шприц-тюбики, що містять стерильний розчин лікарської речовини, дуже зручні для одноразового використання в польових умовах і при наданні невідкладної допомоги. Шприц-тюбик (рис. 8.27) складається з ампули 3 з поліетилену, в яку запресована голка 2. У голку вставляють мандрен і герметично закривають ампулу ковпачком 1. Виготовлення шприц-тюбиків починають з формування при нагріванні з гранул поліетилену ампул і

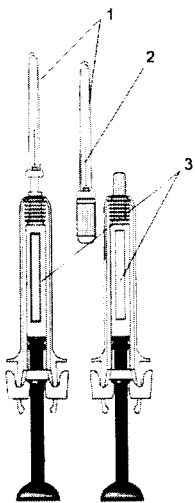


Рис. 8.27. Шприц-тюбик:  
1 - ковпачок; 2 - голка;  
3 - ампула з поліетилену

ковпачків. Потім в ампулу шляхом обкатування запресовують заздалегідь простерилізовану в автоклаві голку. Шприц-тюбики збирають в касети і очищають від забруднень за допомогою ультразвуку, після чого їх обробляють розчином карболової кислоти. Всі подальші операції укомплектування проводять в асептичних умовах. У голку вставляють мандрен і зверху надягають ковпачок.

Шприц-тюбики заповнюють розчинами лікарських речовин в асептичних умовах за допомогою дозуючих напівавтоматів, які знаходяться в стерильному приміщенні - боксі. У цьому ж приміщенні проводять запаювання ампул шприц-тюбиків. Заповнені розчином лікарської речовини шприц-тюбики вставляють в тюбикотримач і запаюють при температурі 290-300 °С. Одночасно з запаюванням нижньої частини шприц-тюбика наносять тиснений напис з

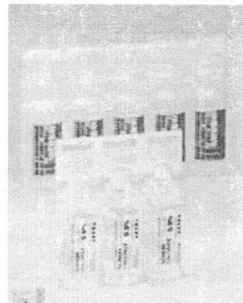
найменуванням лікарської речовини.

Заповнені шприц-тюбики тиндалізують; двічі через добу нагрівають до 60 °С протягом 30 хв. Окрім хімічного і бактеріологічного контролю, готові шприц-тюбики перевіряють на герметичність під пресом при тиску 6 кг і упаковують в коробки по 100 шт. При використанні шприц-тюбика для ін'єкції знімають ковпачок, виймають мандрен і вводять ліки підшкірно або внутрішньом'язово.

Ще однією альтернативою скляним ампулам ін'єкційних лікарських засобів є використання технології *Blow-Fill-Seal* - blow-fill-seal – видування-наповнення-запаювання - (компанії Rommelag AG), яка має ряд переваг над традиційними системами наповнення:

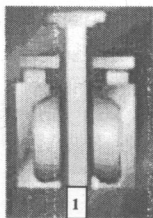
- ампули легко відкриваються швидким відкручуванням;
- унікальна система з'єднання ампули і шприца робить можливим прямий відбір вмісту, відбір продукту без голки;
- безголькове витягування усуває ризик порізів і травмування;
- ампульний корпус швидко і повністю стискається, залишаючись порожнім;
- ампула залишається приєднаною до шприца перед застосуванням, дозволяючи легко ідентифікувати продукт;
- відсутність скла, бактерій і частинок пластику в розчині;
- відсутність бою при застосуванні;
- зручне зберігання і транспортування.

Процес BFS дуже простий. Пластиковим гранулам надають форму, заповнюють і закупорюють в стерильних умовах. Потім контейнери тестують на герметичність, перевіряють, автоклавують, маркують і упаковують.

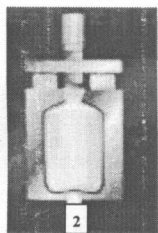


*Ампули технології BFS*

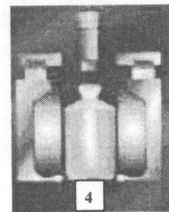
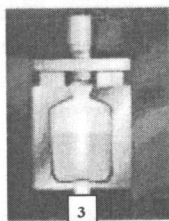
*Першим етапом* є видування. При температурі 170-220 °С з грануляту екструдуються рукав (паризон), який потрапляє в прес-форму, де формується сама ємність за допомогою вдування стисненого повітря або створення вакууму або за допомогою комбінації цих двох способів. Ємність приймає форму гнізда прес-форми. Верхня частина, виготовленого таким чином контейнера, залишається відкритою і знаходиться в гарячому пластичному стані до моменту наповнення і запаювання контейнера.



*Другим етапом* є наповнення сформованого контейнера. Наповнюючі форсунки вводяться у верхню частину контейнера, після чого здійснюється наповнення. Вони сконструйовані так, щоб полегшити автоматичне очищення і стерилізацію. Ці форсунки служать також для продування контейнерів і створюють умови для виходу повітря з них. Процес наповнення може здійснюватися під струменем стерилізованого, профільтрованого повітря, що гарантує стерильність даного процесу. Подача стисненого і стерильного повітря



регулюються автоматично. Це дозволяє забезпечити постійну швидкість подачі повітря в різних ситуаціях.



*Третім етапом* є запаювання. Верхня частина контейнера, яка залишається відкритою і знаходиться в гарячому пластичному стані, стискається в прес-формі, його верхня частина заварюється і одночасно охолоджується. В результаті виходить герметично закритий контейнер. Далі відбувається видалення відходів, обрізання контейнера і вихід його з машини. Весь процес екструзії-формування-наповнення-запаювання і видалення відходів займає від 12 до 18 секунд, залежно від типу і розміру контейнеру.

Оскільки контейнер виготовляється, наповнюється і запаюється всередині однієї машини під струменем стерильного повітря, а всі технологічні середовища (розчин, повітря і т. д.) стерилізуються, тому можливість забруднення практично рівна нулю. Слід зазначити, що впродовж всього циклу контейнер знаходиться у контакті з повітрям приміщення менше 5 секунд; тому вибір цієї технології стає особливо актуальним тоді, коли першочерговим завданням є неприпустимість мікробного зараження або забруднення чужорідними включеннями.

Первинна упаковка або контейнер захищає вміст від забруднень мікроорганізмами, чужорідними включеннями, забезпечує стабільність продукту, запобігаючи зменшенню об'єму продукту під дією дифузії. Він також захищає вміст від світла і діє, як бар'єр для захисту вмісту від газів навколишнього середовища. Наповнення і запаювання можуть здійснюватися в модифікованій атмосфері за наявності азоту, двооксиду вуглецю або інших інертних газів. У простір над рівнем рідини в контейнері може вводитися інертний газ для захисту рідини від окислення.

## РОЗДІЛ 9. ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

### Теплообмінні апарати

*Теплообмінники* – це апарати, в яких здійснюється теплообмін між теплоносіями та речовинами, які нагріваються.

У теплообмінних апаратах здійснюються майже всі види теплових процесів, тому залежно від виконуваних функцій їх поділяють на такі основні групи: нагрівачі, випарники і кип'ятильники, холодильники і конденсатори, випарні апарати, пастеризатори, регенератори, деаератори та ін.

Залежно від виду робочих середовищ розрізняються теплообмінники:

- рідинно-рідинні – при теплообміні між двома рідкими середовищами;
- парорідинні – при теплообміні між паром і рідиною;
- газорідинні – при теплообміні між газом і рідиною.

За способом передачі теплоти розрізняються теплообмінники поверхневі і змішувальні.

У поверхневих теплообмінниках відбувається передача теплоти через поверхню нагрівання. У змішувальних теплообмінниках здійснюється обмін теплою при безпосередньому змішуванні теплоносіїв. Поверхневі теплообмінники бувають рекуперативні та регенеративні.

У рекуператорах теплоносій і продукт, між якими відбувається теплообмін, знаходяться по різні боки стінки, що їх розділяє. В регенераторах одна й та же поверхня апарату омивається по чергово теплоносієм та продуктом. Ці теплообмінники в промисловості значного поширення не отримали. Тому далі під назвою "поверхневі теплообмінники" або просто "теплообмінники" будемо розуміти рекуперативні теплообмінники.

За тепловим режимом розрізняються теплообмінники періодичної дії, в яких спостерігається нестационарний тепловий процес, і безперервної дії з процесом, що встановився в часі.

За конфігурацією поверхні теплообміну розрізняються теплообмінники: трубчасті, пластинчасті, спіральні, оболонкові і з оребреною поверхнею. Трубчасті теплообмінники, в свою чергу поділяються на кожухотрубні, змійовикові, типу "труба в трубі", елементні секційні, зрошувальні і комбіновані.

Окрім наведених основних класифікаційних ознак теплообмінних апаратів, їх можна класифікувати за додатковими ознаками. Так, за напрямом руху робочих середовищ розрізняють теплообмінники проточні, протитечійні, з перехресною течією і зі змішаною течією; за числом ходів теплоносія розрізняють теплообмінники одноходові і багатходові; за жорсткістю конструкції – теплообмінники жорсткого, напівжорсткого і нежорсткого типу.

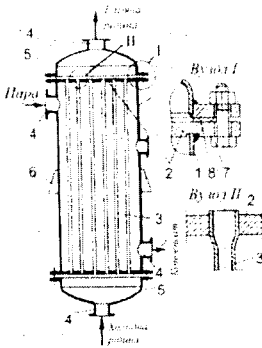


Рис. 9.1. Кожухотрубний теплообмінник

Кожухотрубні теплообмінники можуть бути виготовлені одно-, дво-, чотири-, шестиходовими по трубному простору, з перегородками у міжтрубному просторі або без них.

Кожухотрубні теплообмінники отримали в промисловості найбільше застосування завдяки своїй компактності, простоті у виготовленні та надійності в роботі. Вони використовуються для теплообміну між потоками в різноманітних агрегатних станах: пара-рідина, рідина-рідина, газ-газ, газ-рідина. На рис. 9.1 показано вертикальний одноходовий теплообмінник жорсткої конструкції, що складається з циліндричного корпусу (або кожуха) 1 і приварених до нього

трубних ґраток 2 з пучком труб 3.

Пучок труб ділить весь об'єм корпусу теплообмінника на трубний простір, укладений всередині гріючих труб, і міжтрубний. До корпусу приєднані з допомогою болтового сполучення два днища 5. Для введення і виведення теплоносіїв корпус і днища мають патрубки 4. Один потік теплоносія, наприклад рідина, спрямовується в трубний простір, проходить по трубках і виходить з теплообмінника через патрубок у верхньому днищі. Інший потік теплоносія, наприклад пара, рухається у міжтрубному просторі теплообмінника, омиваючи ззовні пучок гріючих труб. При цьому середовище, що гріється, спрямовують знизу вгору, а середовище, що віддає теплоту, – в протилежному напрямку.

Гріючі труби з'єднуються з трубними решітками зварюванням, пайкою або розвальцьовані в ній. Гріючі труби виробляють зі сталі, міді або латуні. Труби в решітках звичайно розміщують рівномірно по периметрах правильних шестикутників, що забезпечує компактність розташування. Інколи труби

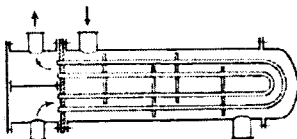


Рис. 9.2. Багатоходовий кожухотрубний теплообмінник з П-подібними трубками

розміщують по концентричних колах. За необхідності забезпечення очистки зовнішніх поверхонь труб застосовують коридорне розташування - по боках квадратів. Внаслідок великого сумарного прохідного перерізу труб і міжтрубного простору швидкості протікання теплоносіїв невеликі і коефіцієнти тепловіддачі в цьому теплообміннику порівняно низькі. Для збільшення швидкості

протікання (інтенсифікації теплообміну) в трубному і міжтрубному просторах встановлюють перегородки, зменшуючи товщину потоку теплоносіїв. На рис. 9.2 представлено такий багатоходовий теплообмінник, що має два ходи по трубному простору і п'ять ходів по міжтрубному.

Кожухотрунні теплообмінники розташовуються вертикально або горизонтально. При різниці температур між теплоносіями понад  $50^{\circ}\text{C}$  за рахунок різних температурних подовжень у зварювальних швах приєднання кожухів до трубних решіток, а також у місці приєднань труб у решітках виникають значні напруження, що можуть перевищити границю міцності матеріалу. В результаті з'являються нещільності, порушується герметичність. Для компенсації неоднакового подовження труб і корпусу апарата застосовують конструкції теплообмінників з лінзовими компенсаторами, з плаваючою голівкою, з П-подібними трубами (рис. 9.2), а також із сальниковими пристроями. Поверхня нагрівання кожухотрубних теплообмінників може становити до  $1200\text{ м}^2$  при довжині труб від 1 до 9 м; умовний тиск досягає 6,4 МПа.

*Елементні теплообмінники.* Найпростіший двотрубний теплообмінник типу "труба в трубі" (рис. 9.3) складається з двох труб: внутрішньої 1, меншого діаметра, і зовнішньої 4, більшого діаметра.

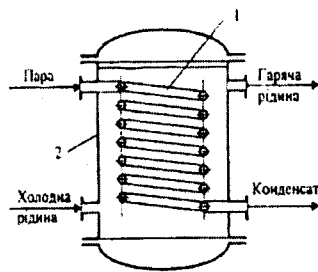


Рис. 9.4. Змійовиковий теплообмінник

Звичайно декілька таких простих теплообмінних елементів з'єднують послідовно один з одним у батарею, за допомогою фланцевих з'єднань 3 і колін 2. У двотрубних теплообмінниках можна створити високі швидкості теплоносія і продукту. У зв'язку з цим апарати характеризуються порівняно високим коефіцієнтом теплопередачі. Однак ці теплообмінники громіздкі і металомісткі.

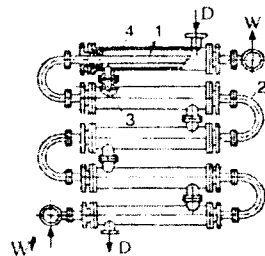


Рис. 9.3. Теплообмінник типу "труба в трубі"

*Змійовиковий теплообмінник.* Теплообмінним елементом є змійовик – труба 1, зігнута певним чином і розміщена в ємкості 2. Змійовик занурено в рідину, що нагрівається або охолоджується. Теплоносій рухається в середині змійовика (рис. 9.4.). Змійовикові теплообмінники виготовляються з плоским змійовиком або зігнутим по гвинтовій лінії. Ці теплообмінники відрізняються простотою конструкції. Проте у них ускладнено очищення внутрішньої поверхні зігнутої труби, змійовик створює великий гідравлічний опір.



Зрошувальний теплообмінник складається з змійовика 2 (рис. 9.5), зігнутого у вертикальній площині, розподільного жолобу з отворами 1 та піддону 3. Рідина з розподільного жолобу витікає на верхній виток, омиває зовнішню поверхню труб змійовика і стікає в піддон під змійовиком. Залежно від температури речовини, що рухається всередині змійовика, рідина, що омиває трубки, нагрівається або охолоджується. Позитивна якість цих

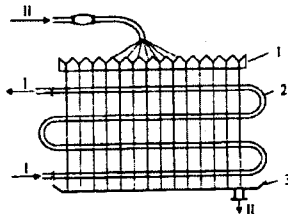


Рис. 9.5. Зрошувальний теплообмінник

теплообмінників полягає в простоті обслуговування і невеликій витраті охолоджувального агента (води), що використовується багаторазово.

Недоліки зрошувальних теплообмінників: громіздкість, значна металомісткість та низькі значення коефіцієнта теплопередачі.

У спіральному теплообміннику поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами 1 і 2, згорнутими у вигляді спіралі (рис. 9.6). Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки 3, а їхні зовнішні кінці зварені один з одним. Торці спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками 4. Біля зовнішніх кінців спіралей та в центрі кришки приварені патрубки для введення і виведення теплоносіїв. Спіральний теплообмінник має високий коефіцієнт теплопередачі, незначний гідравлічний опір і є компактним.

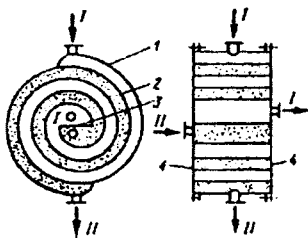


Рис. 9.6. Спіральний теплообмінник

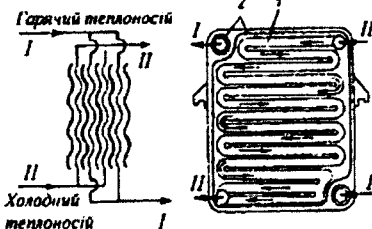


Рис. 9.7. Пластинчастий теплообмінник

Однак він складний у виготовленні і непридатний для роботи під тиском понад 1 МПа.

Пластинчасті теплообмінники широко застосовуються для охолодження і підігрівання різноманітних рідин з робочими температурами до 300 °С при тиску до 1,6 МПа (рис. 9.7). Теплообмінник складається з пакету гофрованих металевих пластин. Між пластинами утворюються герметичні канали 1, у яких здійснюється протитічний рух гарячого і холодного

теплоносіїв. Пластини гофровані для того, щоб збільшити поверхню теплообміну і створити турбулентну течію рідини в вузьких каналах, відстань між якими дорівнює 3-10 мм. Пластини відокремлюються одна від одної прокладками 2 і мають два отвори по кутах для входу і виходу одного теплоносія, що циркулює в герметичному каналі. Через два інших кутових отвори в пластині втікає і витікає інший теплоносіїв. Пластини стягнуті зажимами.

Внаслідок високих швидкостей руху рідини між пластинами досягається високе значення коефіцієнта теплопередачі з малим гідравлічним опором.

Паралельне розташування плоских пластин з малими проміжками між ними дає змогу розмістити в просторі робочу поверхню теплообмінника найбільш компактно, завдяки чому значно зменшуються габарити пластинчастого апарата порівняно з іншими типами рідинних теплообмінників. Наприклад, коефіцієнт компактності пластинчастих апаратів (відношення робочої поверхні до об'єму робочої зони) досягає  $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , що в 5-10 разів більше, ніж для трубчастих.

Пластинчастий теплообмінник дає можливість зробити різноманітні компоуючі варіанти і легко допускає збільшення (або зменшення) робочої поверхні апарата, що знаходиться в експлуатації, допускає вільне внесення різноманітних коригувань у схему руху потоків і дає змогу зосереджувати на одній станині теплообмінні секції різноманітного призначення для виконання в одному апараті усього комплексу операцій теплового оброблення продуктів, що є надзвичайно важливим фактором.

Випускаються різноманітні модифікації теплообмінників цього типу з пластинами зі сталі різних марок, алюмінію, титану та інших металів, розбірної та нерозбірної конструкції з поверхнями теплообміну від  $0,4$  до  $600 \text{ м}^2$ .

Розрізняють два види *розрахунку теплообмінників*: проектний і перевірний. Проектний розрахунок виконується при проектуванні нового теплообмінника, коли задано кількість продукту, що охолоджується або нагрівається, і його параметри. Мета проектного розрахунку – визначення необхідної поверхні теплообміну, витрати теплоносія або холодоагенту, конструктивних розмірів вибраного апарата, його гідравлічного опору та механічної міцності.

За допомогою перевірного розрахунку виявляють можливість використання існуючих теплообмінників в умовах заданого процесу і визначають умови, що забезпечують оптимальний режим роботи апарата.

Проектний розрахунок включає вибір типу і конструкції теплообмінного апарата, тепловий, конструктивний, гідравлічний, механічний та техніко-економічний розрахунки.

Тепловий розрахунок теплообмінників полягає у визначенні необхідної поверхні теплообміну з основного рівняння теплопередачі:

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{сер}}},$$

де  $Q$  – теплове навантаження теплообмінного апарата, Вт;  $K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> К);  $\Delta t_{\text{сер}}$  – середній температурний напір, °С.

Теплове навантаження теплообмінника визначають з рівняння теплового балансу. Залежно від конкретного процесу теплові баланси мають різний вигляд.

Як приклад розглянемо випадок, коли теплообмін протікає без зміни агрегатного стану теплоносіїв. Тоді

$$Q = G_i c_i (t_{i\text{ноч}} - t_{i\text{кін}}),$$

де  $G$  – витрата  $i$ -ого теплоносія, кг/с;  $c_i$  – середня питома теплоємність  $i$ -ого теплоносія, Дж/(кг К);  $t_{i\text{ноч}}$  і  $t_{i\text{кін}}$  – початкова і кінцева температури  $i$ -ого теплоносія, °С.

Величина середнього температурного напору залежить від схеми руху теплоносіїв уздовж поверхні теплообміну. Середній температурний напір під час прямого та протитечії, а також з постійною температурою одного з теплоносіїв визначається як середньологарифмічна різниця:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}},$$

де  $\Delta t_{\text{б}}$ ,  $\Delta t_{\text{м}}$  – більша і менша різниці температур між гарячим і холодним теплоносіями на кінцях теплообмінника.

Якщо  $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} < 2$ , то середній температурний напір визначається як середньоарифметична величина:

$$\Delta t_{\text{сер}} = (\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}) / 2$$

### Основні теплоносії і холодоагенти та вимоги до них

До найрозповсюдженіших **теплоносіїв** належать:

1. Насичена водяна пара.

Насичена водяна пара буває високого і низького тиску.

Насичена водяна пара низького тиску не дозволяє нагріти реакційну суміш до температури 200°C і вище (її максимальна температура 160°C), але має такі переваги:

- доступність і дешевизна;
- високий коефіцієнт теплопередачі;
- при її використанні легко і точно регулюється температура, а установки є дешевими і компактними;
- відсутність токсичної дії і хімічна стійкість;
- легко транспортувати навіть на значні віддалі;
- висока теплота випаровування, а отже, і висока теплота конденсації;
- велике значення ККД.

Насичена водяна пара високого тиску ( $P = 2\text{--}4$  МПа) дає можливість нагрівати реакційну масу до температури 200°C і вище. Однак для таких високих тисків потрібне використання дорогої і дуже великої апаратури апаратури, тому цю пару використовують дуже рідко.

## 2. Нагріті рідини.

Якщо потрібно нагріти реакційну масу до порівняно невисокої температури 20–80°C, то можна використати нагріту воду, яка має менший коефіцієнт тепловіддачі, ніж в пари. Можна спочатку у виробничому процесі використовувати пару, а далі і воду.

Для досягнення вищих температур (до 150–300°C) використовують високиплячі органічні теплоносії (ВОТ). Найрозповсюдженішою з них є дифенільна суміш (~26,5% дифенілу  $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$  і 73,5% дифенілоксиду  $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}$ ), її температура топлення 12,3°C, кипіння – 258°C, а розкладання –  $\approx 400^\circ\text{C}$ . При 240°C дифенільна суміш є ще в рідкому стані, за вищих температур її можна перевести в пару. Однак не рекомендується її гріти вище 350°C.

Також до ВОТ відносять трансформаторне і силіконове масло ( $t_{\text{кип}} \approx 300^\circ\text{C}$ ), гліцерин та ін. Утім, всі ВОТ під час нагрівання мають поганий запах, тому обладнання має бути герметичним.

## 3. Обігрів із використанням електричного струму.

Зручний метод нагрівання, який дає можливість нагрівати до дуже високих (до 1200°C) температур. Установки є компактними, легко регулюються, мають високий ККД (до 95%). Інколи спіралі опускають безпосередньо в реакційну масу, але найчастіше спіралі розміщують ззовні сорочки апарату, покривають теплоізоляцією, а в сорочку заливають високипучі органічні теплоносії.

## 4. Нагріте повітря.

Інколи як теплоносії використовують нагріте в калориферах повітря. Як правило, його застосовують для сушіння речовин у сушарках різного типу.

До теплоносіїв висуваються такі наступні вимоги:

- досягнення високих температур за низьких тисків;
- висока хімічна стійкість;
- відсутність корозійної дії;
- високий коефіцієнт тепловіддачі;
- велика теплота випаровування;
- низька температура топлення;
- вогне- і вибухобезпека;
- відсутність токсичних властивостей;
- дешевизна і доступність.

Найрозповсюдженіші **холодоагенти**:

1. Якщо потрібно охолодити до кімнатної температури (17-18°C), то можна використовувати звичайну воду з системи водопостачання. Недоліком є те, що вода містить багато солей і газів та може викликати корозію.

2. Якщо потрібно охолодити до ще нижчих температур, використовують розпу (розсіл) – 20% розчин NaCl або CaCl<sub>2</sub> у воді. Ці розчини мають температуру замерзання –15°C ÷ 20°C. Їх попередньо охолоджують в холодильній машині і подають в сорочку реактора для охолодження реакційної маси до –8°C ÷ –12°C. Розчини солей викликають сильну корозію!

3. Інколи використовують рідкий аміак, який випаровується і забирає велику кількість тепла, використовується в холодильних машинах.

4. Якщо потрібно охолодити суміш до дуже низьких температур, то використовують рідкий азот, який отримують при ректифікації рідкого замороженого повітря (при одержанні чистого кисню), або суху вуглекислоту (стиснутий вуглекислий газ – білий порошок); їх зберігають в дюарах (сталевих термосах). В дюари з вуглекислотою заливають спирт або ацетон, які розчиняють CO<sub>2</sub>; випаровуються і охолоджуються до –30°C ÷ –40°C.

5. Деколи використовують просто звичайний лід (часто в суміші з сіллю). Його завантажують безпосередньо в реакційну масу (реактор), коли вміст та концентрація води не має значення і вода не вступає в хімічну взаємодію (наприклад: при діазотуванні або азосполученні, коли наявність води в реакційній суміші допускається).

### **Випарювання та обладнання**

*Випарюванням* називається процес концентрування розчинів твердих нелетких речовин шляхом вилучення леткого розчинника під час кипіння. За допомогою випарювання одержують і перенасичені розчини, в яких після цього проводять кристалізацію, наприклад, розчини сахарози, фруктози, молочного цукру та ін.

Випарювання широко застосовується в органічному синтезі, у фармацевтичному, біотехнологічному та інших виробництвах для концентрування розчинів, цукрових та вітамінних сиропів, плодових і овочевих соків, молока, вершків та ін.

У процесі випарювання рідкий леткий розчинник випаровується із розчину, внаслідок чого концентрація сухих речовин у ньому безперервно збільшується. Перетворення рідини в пароподібний стан відбувається за будь-якої температури. Однак розрізняють два процеси: випаровування і кипіння.

*Випарювання* – це перехід речовини з рідкого або твердого стану в газоподібний шляхом підведення до неї теплоти.

Причиною випаровування з вільної поверхні рідини є тепловий рух її молекул. Після нагрівання рідини до відповідної температури в ній з'являються молекули, що мають надлишкову енергію, яка дозволяє їм подолати сили зчеплення і піти в довкілля. Проте не всі ці молекули залишаються в навколишньому середовищі: після зіткнення з молекулами газу їх частина повертається до поверхні випаровування. Молекули, що повертаються, можна розділити на дві частини. Молекули з достатньо високою кінетичною енергією, які, переборюючи значні сили зчеплення поверхневого шару рідини, проникають усередину та залишаються в ній. Інша частина молекул – з меншим запасом енергії – відбивається від поверхні рідини і остаточно залишаються в довкіллі.

*Кипінням* називається процес переходу рідини, що знаходиться при температурі насичення або дещо перегрітої відносно цієї температури, в пару всередині її об'єму з утворенням парових бульбашок. Процес пароутворення пов'язаний з підведенням теплоти, необхідної для фазового переходу рідини в пару, що називається теплою пароутворення. Необхідна кількість підведеної теплоти (в Дж) визначається рівнянням

$$Q = G \cdot q,$$

де  $G$  – маса пари, що утворюється, кг;  $q$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг.

Температура киплячої рідини непостійна, вона зменшується в міру віддалення від поверхні нагрівання.

Розрізняють кипіння в об'ємі рідини (об'ємне кипіння) і на поверхні нагрівання (поверхневе кипіння). У першому випадку бульбашки пари зароджуються в будь-якій точці об'єму рідини під час значного її перегрівання відносно температури насичення ( $T_p > T_s$ ), що можливо або при різкому зниженні тиску над рідиною, або за наявності в рідині внутрішніх джерел теплоти. У випадку поверхневого кипіння бульбашки пари утворюються тільки на поверхні нагрівання в окремих її точках – центрах пароутворення. Центрами

пароутворення є нерівності поверхні нагрівання (мікробупадини, шорсткості, тріщини), бульбашки газу або пари і найдрібніші тверді частинки. Для сучасної теплоенергетики характерне поверхнєве кипіння на стінках труб, каналів, циліндричних, сферичних та інших поверхонь. Встановлене існування двох основних видів поверхнєвого кипіння: бульбашкового і плівкового. Під час бульбашкового кипіння на поверхні нагрівання періодично утворюються бульбашки пари, для зародження яких рідина повинна бути перегрітою. Бульбашки перегрітої пари, досягнувши розмірів 2-3 мм, відриваються від стінки і починають рухатися вгору під впливом підйомної архімедової сили, збільшуючись в об'ємі в десятки разів за рахунок інтенсивного випаровування навколишньої рідини. Об'єм бульбашки пари тим більший, чим вищий перегрів рідини і чим більший час спливання бульбашки. Встановлено, що приблизно 95% пари утворюється під час руху бульбашок у товщі рідини та 5% – під час розвитку їх на поверхні нагрівання. Коли парових бульбашок стає дуже багато, то вони починають зливатися між собою, утворюючи на поверхні нагрівання парову плівку. Такий вид кипіння називають плівковим.

Існують три методи випарювання:

- *поверхнєве випарювання*, що проводиться шляхом нагрівання розчину на теплообмінній поверхні за рахунок підведення теплоти до розчину через стінку теплообмінного апарата від гріючої пари;
- *адіабатичне випарювання*, що відбувається шляхом миттєвого випаровування перегрітого розчину в камері, де тиск нижчий, ніж тиск насиченої пари;
- *випарювання шляхом контактного випаровування*, під час якого розчин нагрівається під час прямого контакту між розчином та гарячим теплоносієм (газом або рідиною), які рухаються.

Найчастіше використовують поверхнєве випарювання.

Для нагрівання розчинів до температури кипіння використовують різноманітні теплоносії, але найбільше застосовують водяну пару, яка в цьому випадку називається *гріючою*. Утворена під час випарювання розчину пара називається *вторинною*, її теплоту може бути використано в теплообмінних апаратах, які працюють під меншим тиском.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, за атмосферним та підвищеним тиском.

Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарату пару низького тиску. Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання розчинів фармацевтичних препаратів, чутливих до високих температур. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є зменшення втрат теплоти в навколишнє

середовище, а також збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та кип'ячим розчином. Це дає змогу зменшити поверхню теплообміну та габарити всього вакуум-випарного апарата.

При випарюванні під атмосферним тиском утворена вторинна пара звичайно не використовується і викидається в атмосферу.

Випарювання при підвищеному тиску викликає підвищення температури кипіння розчину і дає можливість використання вторинної пари як теплоносія в інших теплообмінниках. Можливість застосування цього способу випарювання залежить від стійкості компонентів розчину, що випарюється.

Процес випарювання можна здійснювати в одному апараті (однокорпусна установка) або в ряді послідовно з'єднаних випарних апаратів (багатокорпусна установка). В однокорпусній випарній установці теплота гріючої пари використовується одноразово, а теплота вторинної пари звичайно не використовується. У багатокорпусній випарній установці вторинна пара, яка виходить з будь-якого попереднього корпусу, є гріючою парою для наступного, в якому розчин кипить за більш низького тиску. Цей метод проведення процесу забезпечує значну економію теплоти і тому має широке розповсюдження у промисловості. За методом ведення процесу розрізняють періодичне та безперервне випарювання. Апарати і установки періодичної дії використовуються у виробництвах малого масштабу, коли економія теплоти не має великого значення, або для випарювання розчинів до високих залишкових концентрацій.

*Випарні апарати* призначені для проведення процесів випарювання. Їх класифікують за певними ознаками: природою теплоносіїв або методом обігрівання; розташуванням і видом поверхні теплообміну (компонуванням та конструкцією поверхні нагрівання); розташуванням робочих середовищ; режимом і кратністю циркуляції розчину та ін.

Найбільше застосовуються випарні апарати з паровим обігріванням, тому що водяна пара характеризується високою теплоотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі при конденсації; парове обігрівання характеризується гнучкістю регулювання.

За розміщенням поверхні теплообміну апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними та похилими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, змієвика, кільцевих елементів або у вигляді парової оболонки.

За режимом руху киплячої рідини випарні апарати бувають з вільною, природною, примусовою циркуляцією і плівкові. За кратністю циркуляції розрізняють випарні апарати з однократною і багатократною циркуляцією киплячого розчину.



Існує велика різноманітність конструкцій випарних апаратів. Нині є тенденція до зменшення кількості типів і конструктивних різновидів апаратів за рахунок уніфікації вузлів та деталей. Розглянемо деякі з них.

Для випарювання в'язких продуктів та продуктів, що кристалізуються в малотоннажних виробництвах, застосовують оболонкові випарні апарати періодичної дії з вільною циркуляцією і паровим обігрівом (рис. 9.3.1). Малоконцентрований розчин подається в апарат 1, де внаслідок обігрівання виникає вільна циркуляція. Підігрівання ведеться паром, яка надходить в оболонку 2, до температури кипіння. Після випарювання до необхідної концентрації випарений розчин виводиться з апарата через нижній спуск і апарат знову наповнюється неконцентрованим розчином.

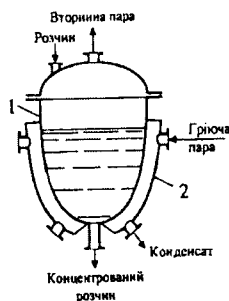


Рис. 9.3.1. Випарний апарат з паровою оболонкою

Для безперервних процесів використовують роторно-плівкові випарні апарати (рис. 9.3.2), які все частіше застосовуються для випарювання

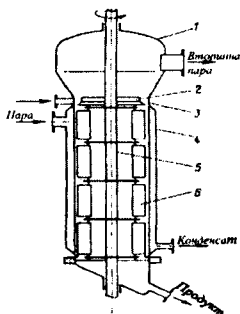


Рис. 9.3.2. Роторно-плівковий випарний апарат

високов'язких і пастоподібних термолабільних розчинів. Всередині гріючої камери 3, яка оточена нагрівальною паровою оболонкою 4, є ротор 5 з лопатками 6. Ротор приводиться в обертання з частотою 1-3 с<sup>-1</sup>. Надходячи в апарат, розчин розбризкується диском 2, що обертається разом з валом ротора, на стінки корпусу апарату і стікає у вигляді тонкої плівки під дією сили тяжіння. Під час стікання розчин концентрується внаслідок випарювання розчинника. Вторинна пара виходить з апарата через сепаратор 1. У міру випарювання розчинника на стінці корпусу утворюється пастоподібний або навіть сухий залишок розчиненої речовини, що знімається з поверхні, яка обігривається лопатками 6. Проміжок між лопаткою і стінкою апарата становить 0,4-1,5 мм. Час перебування рідини в апараті (залежно від продуктивності, фізичних властивостей розчину, частоти обертання ротора тощо) становить 10-30 с, що є головною перевагою апарата.

Апарати мають площу робочої поверхні до 40 м<sup>2</sup> і рекомендуються для проведення процесів випарювання широкої номенклатури фармацевтичних продуктів.

## Розділ 10. МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ

### Процеси масообміну

Масообмінні – це процеси переходу однієї або декількох речовин з однієї фази в іншу через межу їх розділу в напрямку досягнення системою рівноважного стану, відповідно апарати для проведення цих процесів називають *масообмінними*.

Розрізняють два варіанти масообміну: односторонній і двосторонній. У першому варіанті процес завершується переходом речовини з однієї фази в іншу, а в другому – зустрічним переходом речовин із однієї фази в протилежну.

Відповідно до більшості технологічних схем, сировина надходить у реактор, де лише частково перетворюється в продукти реакції. Одержана в реакторі суміш продуктів реакції і сировини, яка не прореагувала, направляється в масообмінну розділювальну апаратуру, у якій проводиться відділення продуктів реакції від непрореагованої сировини. Сировина, яка не прореагувала, повертається в реактор, а продукти реакції надходять на подальшу переробку. Також може відбуватись і відділення основного продукту від суміжних (неосновних) продуктів реакції.

Таким чином, у розділювальному апараті можуть проводитися різноманітні процеси, основними і найважливішими з яких є: абсорбція, ректифікація, екстракція, кристалізація, адсорбція, сушіння, перегонка, розчинення та інші. Наведемо стисло характеристику деяких з них.

*Абсорбція* – процес вибіркового поглинання компонентів газової (парової) суміші рідким поглиначем - абсорбентом, тобто має місце перехід речовини з газової (або парової) фази в рідку.

*Адсорбція* – процес вибіркового поглинання компонентів газової, парової або рідкої суміші твердим поглиначем - адсорбентом.

Процеси абсорбції та адсорбції часто об'єднують загальною назвою - процеси сорбції. В свою чергу, зворотний процес виділення газу з рідини чи твердого тіла називається *десорбцією*.

*Екстрагування* – процес вибіркового добування речовини з рідкої суміші або твердого тіла рідиною – екстрагентом; при цьому речовина з рідкої або твердої фази переходить у рідку.

*Перегонка* – процес розділення рідких (газових, парових) сумішей шляхом випаровування (конденсації) частини вихідної рідкої (газової, парової) суміші. Перегонка реалізується за наявності парової (газової) і рідкої фаз у системі.

*Ректифікація* – процес розділення рідких сумішей на окремі компоненти або суміші (фракції) шляхом взаємодії потоку пари і рідини. Під час ректифікації завжди існує дві фази – рідка і парова.

*Кристалізація* – виділення твердої фази у вигляді кристалів з перенасичених розчинів.

*Розчинення* – перехід твердої фази в рідку (розчинник).

*Сушіння* – вилучення вологи з твердих, пластичних і рідких матеріалів шляхом її випаровування; при цьому волога переходить з матеріалу, який висушується, у парову або газову фазу.

Для всіх перерахованих процесів загальним є перехід речовини з однієї фази в іншу в напрямку досягнення рівноваги, або масопередача. Перехід речовини з однієї фази в іншу пов'язаний із явищем конвективного переносу і молекулярної дифузії, тому перераховані вище процеси одержали назву масообмінних, або дифузійних, процесів.

*За видом фаз* масообмін класифікується на процеси в системі:

- газ (пара) - рідина: абсорбція, ректифікація;
- газ (пара) - тверде тіло: сушіння, адсорбція газів;
- рідина - тверде тіло: екстрагування з твердих тіл, кристалізація, розчинення;
- рідина - рідина: рідинна екстракція.

*За способом контакту між фазами* процеси можуть здійснюватися:

- безпосереднім контактом фаз;
- контактом через напівпроникні мембрани;
- без межі розділу фаз.

*За способом взаємодії фаз* розрізняють масообмін прямиотечійний, протитечійний та змішаний.

*За структурою робочого циклу* розрізняють масообмінні процеси періодичні та безперервні.

Процеси можуть бути також стаціонарними і нестаціонарними. Як правило всі періодичні процеси є нестаціонарними.

### ***Абсорбція та апаратура***

*Абсорбцією* називається масообмінний процес поглинання газу (пари) чи вибіркового поглинання окремих компонентів з газової (парової) суміші рідкими поглиначами. Компоненти газової (парової) суміші, що абсорбуються, називаються *абсорбтивом*, рідкий поглинач – *абсорбентом*, частина газової (парової) суміші, що не абсорбується – *інерт*. Якщо поглинання абсорбтива здійснюється шляхом його розчинення в абсорбенті, то такий процес називається *фізичною абсорбцією*. Коли розчинення абсорбтива супроводжується хімічною реакцією між ним і абсорбентом, то цей процес називається *хемосорбцією*. Зворотний процес виділення з абсорбенту поглинутих газів або окремих компонентів називається *десорбцією*. При цьому відбувається регенерація абсорбенту. У промисловості десорбцію здійснюють у

тому випадку, якщо поглинута речовина є цінним продуктом або абсорбент є дефіцитним чи дорогим матеріалом, що використовується повторно.

Для проведення процесів абсорбції застосовують абсорбенти, які мають вибірку (селективну) здатність по відношенню до певних речовин. Тобто вибіркова здатність абсорбентів дозволяє проводити розподіл найскладніших газових сумішей шляхом підбору таких абсорбентів, що абсорбують тільки один певний компонент.

Абсорбцію широко застосовують у фармацевтичних і біотехнологічних виробництвах для таких процесів, як:

- насичення води, безалкогольних напоїв, пива і деяких інших рідин вуглекислим газом;
- для вловлювання пари етилового спирту з газів, що виділяються під час бродіння в спиртовому і виноробному та ін. виробництвах;
- для одержання розчину сірчистої кислоти з сірчаного газу, що використовується під час сульфатації цукрового соку і сиропу (з метою зниження їх кольоровості), плодів і овочів при їх зберіганні для подальшої переробки (з метою консервування і запобігання від потемніння);
- для зменшення вологості повітря в сховищах, складських приміщеннях, лабораторному обладнанні з використанням абсорбентів – концентрованих кислот;
- для очистки виробничих приміщень та охорони навколишнього повітряного середовища від шкідливих газів (HCl, HBr, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, оксидів азоту і сірки), які виділяються при проведенні різноманітних фізико-хімічних та хімічних процесів;
- процеси абсорбції (поглинання) газоподібного аміаку водою і десорбції водоаміачного розчину лежать в основі роботи абсорбційної холодильної машини.

Фізична сутність процесу абсорбції полягає в розчиненні газів у рідині, що залежить від природи абсорбенту і абсорбтиву, парціального тиску газу, або окремого компонента в газовій (або паровій) суміші, що розчиняється, а також від температури процесу.

Відповідно, в стані рівноваги за сталих температури і загального тиску залежність між парціальним тиском газу  $A$  (або його концентрацією) і складом рідкої фази є однозначною. Ця залежність виражається законом Генрі: парціальний тиск  $p_A^*$  розчиненого газу є пропорційним до його мольної частки  $x_A$  в розчині,

$$p_A^* = E \cdot x_A, \quad (10.1.1)$$

або розчинність газу (компоненту  $A$ , що поглинається) в рідині за заданої температури є пропорційною до його парціального тиску над рідиною

$$x_A^* = \frac{1}{E} \cdot p_A, \quad (10.1.1a)$$

де  $p_A^*$  - парціальний тиск поглинутого газу (в мм рт.ст.), який знаходиться в рівновазі з розчином та має концентрацію в ньому  $x_A$  (в мольних частках);

$x_A^*$  - концентрація газу в розчині (в мольних частках), що є рівноважним з газовою фазою, в якій парціальний тиск поглинутого компоненту дорівнює  $p_A$ ;

$E$  - коефіцієнт пропорційності, який називають коефіцієнтом або константою Генрі (в мм. рт. ст.).

Числові значення коефіцієнта Генрі для заданого газу залежать від природи поглинача і газу і від температури, але не залежать від загального тиску в системі.

Рівняння залежності  $E$  від температури запишеться:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C, \quad (10.1.2)$$

де  $q$  - диференційна теплота розчинення газу;  $R$  - газова стала;  $C$  - стала, що залежить від природи газу та поглинача.

Для ідеальних розчинів на діаграмі  $p-x$  (рис. 10.1) залежність рівноважних концентрацій від тиску зображається прямою, що має нахил, який дорівнює  $E$  - коефіцієнту Генрі.

З рис. 10.1.1 та рівняння (10.1.2) видно, що з підвищенням температури (за інших рівних умов) збільшується значення  $E$  і відповідно зменшується, згідно з рівнянням (1a), розчинність газу в рідині. Якщо  $y_A$  - мольна частка вилученого компонента  $A$  в газовій суміші і  $P$  - загальний тиск в системі, то парціальний тиск  $p_A$ , за законом Дальтона виражають залежністю

$$p_A = P \cdot y_A \quad (10.1.3)$$

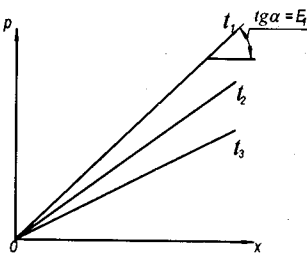


Рис. 10.1.1. Розчинність газу в рідині за різних температур ( $t_1 > t_2 > t_3$  і відповідно  $E_1 > E_2 > E_3$ )

Підставимо значення  $p_A$  в рівняння (10.1.1) і отримаємо

$$y_A^* = \frac{E}{P} \cdot x_A, \quad (10.1.4)$$

або закон Генрі можна представити у формі

$$y_A^* = m \cdot x_A, \quad (10.1.5)$$

де  $m = E/P$  - коефіцієнт розподілення, або константа фазової рівноваги.

Рівняння (10.1.5) вказує, що залежність між концентраціями певного компоненту в газовій суміші і в рівноважній з нею рідині

виражається прямою лінією, що проходить через початок координат та має кут нахилу, тангенс якого дорівнює  $m$ .

Числові значення  $m$  залежить від температури і тиску в системі: зменшуються зі збільшенням тиску і зменшенням температури. Отже, розчинність газу в рідині збільшується з підвищенням тиску та зменшенням температури.

Коли в рівновазі з рідиною знаходиться суміш газів, закону Генрі підпорядковується кожен з компонентів суміші окремо.

Закон Генрі застосовується до розчинів газів, критичні температури яких є вищими від температури розчину, і є дійсним тільки для ідеальних розчинів. Тому цей закон з достатньою точністю можна застосовувати за незначних концентрацій розчиненого газу або за його низької розчинності. Для добре розчинних газів за великих концентрацій їх в розчині, розчинність є меншою, ніж випливає із закону Генрі. Для систем, що не підлягають цьому закону, коефіцієнт  $m$  в рівнянні (10.1.5) є величиною змінною і лінія рівноваги є кривою, яку будують згідно з дослідними даними.

Для опису рівноваги між газом і рідиною рівняння (10.1.5) застосовують тільки за помірних тисків, невисоких температур і відсутності хімічної взаємодії між газом і поглиначем.

За підвищених тисків (більше десятків атмосфер) рівновага між газом і рідиною не підпорядковується закону Генрі, тому що зміна об'єму рідини внаслідок розчинення в ній газу стає співрозмірною зі зміною об'єму цього газу. За таких умов константу фазової рівноваги можна визначити так:

$$m = \frac{E}{f_0}, \quad (10.1.6)$$

де  $f_0$  - фугітивність (летучість) поглинутого газу, що виражається в одиницях тиску.

Для бінарних розчинів величину  $f_0$  можна знайти так:

$$\ln \frac{f_0}{x} = \ln E - \frac{A}{RT} \cdot [1 - (1-x)^2], \quad (10.1.7)$$

де  $A$  - стала.

Апарати, в яких здійснюється процес абсорбції називають **абсорберами**. Як інші процеси масопередачі, абсорбція відбувається на границі розділення фаз. Тому абсорбери повинні мати розвинуту поверхню контакту між рідиною та газом.

За способом утворення такої поверхні абсорбери умовно поділяють на такі групи:

- поверхневі та плівкові;
- насадкові;

- барботажні (тарільчасті);
- розпилюючі.

В поверхневих та плівкових абсорберах поверхнею контакту фаз є дзеркало нерухокої або повільно рухливої рідини, або поверхня рідкої плівки.

**Поверхневі абсорбери.** Ці абсорбери використовують для поглинання добре розчинних газів. В таких апаратах газ проходить над поверхнею повільно рухої або нерухої рідини (рис. 10.1.2). Оскільки поверхня контакту в таких абсорберах є незначною, тому встановлюють декілька послідовно з'єднаних апаратів, в яких газ та рідина рухаються протитоком. Для того, щоб рідина сама переміщувалася абсорберами, кожен наступний апарат розміщують нижче від попереднього. Для відведення тепла, що виділяється під час абсорбції, в апаратах встановлюють змійовики, які охолоджуються водою або іншим холодоагентом, або занурюють абсорбери в ємності з проточною водою.

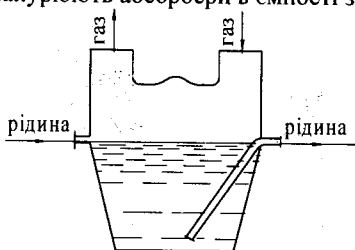


Рис. 10.1.2. Поверхневий абсорбер

Поверхневі абсорбери застосовуються обмежено через їх низьку ефективність та великі габарити.

**Плівкові абсорбери.** Ці апарати ефективніші та компактніші, ніж поверхневі абсорбери. В плівкових абсорберах поверхнею контакту фаз є поверхня текучої плівки рідини. Розглянемо одного з представників плівкових абсорберів – трубчастий.

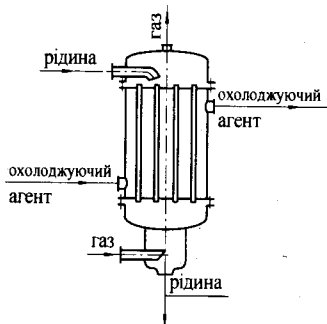


Рис. 10.1.3. Трубчастий абсорбер

*Трубчастий абсорбер* (рис. 10.1.3) за конструкцією нагадує вертикальний кожухотрубний теплообмінник. Абсорбент надходить на верхню трубну решітку, розподіляється по трубах та стікає їх внутрішньою поверхнею тонкою плівкою. В апаратах з більшою кількістю труб для рівномірної подачі використовують спеціальні розподільчі пристрої. Газ рухається

трубами знизу вверх назустріч пливці рідини, що стікає. Для відведення тепла абсорбції міжтрубним простором циркулює вода або інший холодоагент.

**Насадкові абсорбери.** В промисловості широко використовують абсорбери, які заповнені насадкою – тверді тіла різної форми. В насадковій колоні (рис. 10.1.4) насадка 1 вкладається на опорні решітки 2, що мають отвори або щілини для проходження газу або стоку рідини. Рідина за допомогою розподільвача 3 рівномірно зрошує насадкові тіла та стікає вниз. По всій висоті шару насадки рівномірного розподілу рідини зазвичай не досягається, що пояснюється наявністю пристінкового ефекту – більшою густиною укладки насадки в центральній частині колони ніж біля її стінок. Як наслідок – рідина розтікається від центральної частини колони до периферії. Тому для кращого змочування насадки в колонах великого діаметру насадку вкладають секціями висотою 2-3 м, та під кожною секцією, крім нижньої, встановлюють розподільвачі рідини 4.

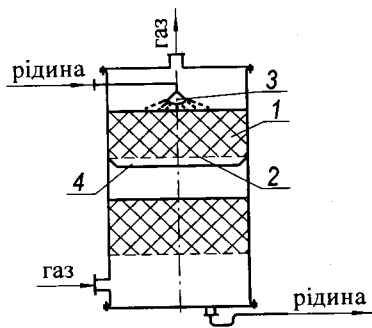


Рис. 10.1.4. Насадковий абсорбер:

1 - насадка; 2 - опорна решітка; 3 - розподільвач рідини;  
4 - перерозподільвач рідини.

В насадковій колоні рідина стікає елементом насадки. Під час перетікання рідини з одного елемента насадки на інший плівка рідини руйнується і на нижньому елементі утворюється нова плівка. При цьому частина рідини проходить крізь розміщені нижче шари насадки у вигляді струменів, крапель або бризок. Частина поверхні насадки може бути змоченою застійною рідиною.

**Вибір насадок.** Для того щоб насадка працювала ефективно, вона повинна задовольняти таким основним вимогам: мати велику поверхню в одиниці об'єму; добре змочуватися рідиною, що зрошує; створювати невеликий гідравлічний опір газовому потоку; рівномірно розподіляти рідину, що зрошує;



бути стійкою до хімічного впливу рідини і газу, що рухаються в колоні; мати малу питому вагу; мати високу механічну міцність; мати невисоку вартість.

Насадок, що цілком задовольняють усім зазначеним вимогам, не існує, тому що, наприклад, збільшення питомої поверхні насадки спричиняє збільшення гідравлічного опору апарата і зниження граничних навантажень. У промисловості застосовують різноманітні за формою і розмірами насадки (рис. 10.1.5), що тою чи іншою мірою задовольняють вимогам, що є основними під час проведення конкретного процесу абсорбції. Насадки виготовляють з різноманітних матеріалів (кераміка, порцеляна, сталь, пластмаси й ін.) вибір яких диктується величиною питомої поверхні насадки, змочуваністю і корозійною стійкістю.

Насадку можливо засипати навалом та викладати регулярно. Регулярна

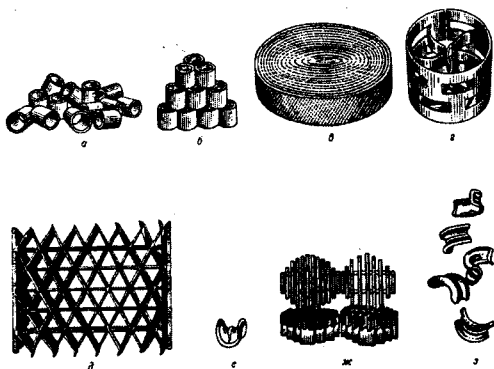


Рис. 10.1.5. Типи насадок:

- а - кільця Рашига, безладно вкладені (навалом);  
 б - кільця з перегородками, правильно вкладені;  
 в - насадка Гудлос; г - кільця Палля; д — насадка  
 "Спрейтак"; е - сідла Берля; ж - хордова насадка;  
 з - сідла "Інталлокс"

насадка має багато переваг перед нерегулярною, засипаною в абсорбер навалом: створює менший гідравлічний опір, допускає великі швидкості газу. Проте для покращення змочування регулярних насадок необхідно застосовувати складніші за конструкцією зрошувачі.

Під час вибору розмірів насадки варто враховувати, що чим більшими є розміри її елемента, тим вищою допустима швидкість газу (і відповідно - продуктивність

абсорбера), і нижчий його гідравлічний опір. Загальна вартість абсорбера з насадкою з елементів великих розмірів буде нижчою внаслідок зменшення діаметра апарата, незважаючи на те, що його висота трохи збільшиться порівняно з висотою апарата, що має насадку менших розмірів (внаслідок зниження величини питомої поверхні насадки й інтенсивності масопередачі).

Дрібна насадка має перевагу також під час проведення процесу абсорбції під підвищеним тиском, оскільки в цьому разі гідравлічний опір абсорбера не має істотного значення. Крім того, дрібна насадка, що має більшу питому поверхню, має переваги перед великою тоді, коли для здійснення процесу

абсорбції необхідна велика кількість одиниць перенесення або теоретичних ступенів зміни концентрацій.

Основними *перевагами* насадкових колон є простота конструкції і низький гідравлічний опір. *Недоліки*: труднощі відведення теплоти, погана змочуваність насадки за низьких густин зрошення. Відведення тепла з цих апаратів і покращення змочуваності досягається рециркуляцією абсорбенту, що ускладнює і здорожує абсорбційну установку.

**Барботажні (тарілчасті) абсорбери.** Тарілчасті абсорбери це зазвичай вертикальні колони, в середині яких на певній відстані одна від одної розміщені горизонтальні перегородки – тарілки. За допомогою тарілок здійснюється напрямлений рух фаз та багаторазова взаємодія рідини та газу.

За способом зливання рідини з тарілок барботажні абсорбери можна поділити на колони 1) з тарілками зі зливними пристроями; 2) тарілки без зливних пристроїв.

**Тарілчасті колони зі зливними пристроями.** В таких колонах переливання рідини з тарілки на тарілку здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв – наприклад, зливних трубок. Нижні кінці трубок занурені в стакан, який знаходиться на нижніх тарілках і утворюють гідравлічні затвори, що виключають можливість проходження газу через зливний пристрій. В таких типах колон застосовуються ситчасті, ковпачкові, клапанні, баластні, пластинчасті тарілки.

Принцип роботи колон такого типу на прикладі абсорбера з ситчастими тарілками показано на рис. 10.1.6.

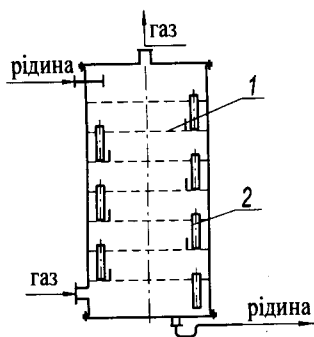


Рис. 10.1.6. Тарілчаста колона із зливними механізмами:  
1 – тарілка; 2 – зливі механізми

Рідина надходить на верхню тарілку 1, зливається з тарілки на тарілку через переливний пристрій 2 і видаляється з нижньої частини колони. Газ надходить в нижню частину апарату, проходить послідовно крізь отвори або ковпачки кожної тарілки. При цьому газ розподіляється у вигляді бульбашок чи струменів в шарі рідини на тарілці, утворюючи на ній шар піни, що є основою масообміну та теплообміну на тарілці. Відібраний газ видаляється зверху колони.

Переливні трубки розміщено на тарілках так, щоб рідина на сусідніх тарілках проходила у протилежних напрямках. Зливні

пристрої зазвичай виконують у вигляді сегментів, які вирізані в тарілці з обмеженим порогом – переливом.

*Колони із сітчастими тарілками.* Колона із сітчастими тарілками (рис. 10.1.7) це вертикальний циліндричний корпус 1 з горизонтальними тарілками 2, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлено велику кількість отворів діаметром 1-5 мм. Для зливання рідини і регулювання її рівня на тарілці призначені переливні трубки 3, нижні кінці яких є зануреними в стакани 4. Газ проходить крізь отвори тарілки і розподіляється в рідині у вигляді дрібних струменів і бульбашок.

Сітчасті колони відрізняються простотою пристрою і високою ефективністю. Основний їхній *недолік* полягає в тому, що вони задовільно працюють тільки в обмеженому діапазоні навантажень. За низьких навантажень, коли швидкість газу низька, рідина протікає крізь отвори і робота колони порушується. За великих навантажень гідравлічний опір тарілки сильно зростає, причому спостерігається значне винесення рідини (хоча на сітчатих тарілках винесення є меншим, ніж на ковпачкових тарілках). Інший недолік сітчатих колон полягає в тому, що отвори в тарілках легко забиваються.

*Колони з ковпачковими тарілками.* У ковпачкових тарілках газ барботує крізь рідину з прорізів ковпачків, які має кожна тарілка. У прорізах газ дробиться на дрібні струмені, які після виходу з прорізу майже відразу піднімаються вгору і, проходячи через шар рідини на тарілці, зливаються один з другим.

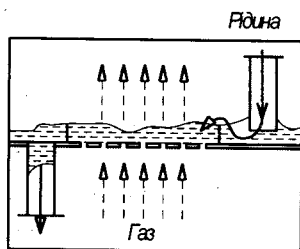


Рис. 10.1.7. Колона із сітчастими тарілками:  
а - схема пристрою колони; б - схема роботи тарілки;  
1 - корпус; 2 - тарілка; 3 - переливна труба; 4 - стакан

Колони з ковпачковими тарілками (рис. 10.1.8) містять тарілки 1 з патрубками 2, які закриті зверху ковпачками 3. Нижні краї ковпачків мають зубці або прорізи у вигляді вузьких вертикальних щілин. Рідина перетікає з тарілки на тарілку переливними трубами 4. Рівень рідини на тарілці відповідає

висоті, на яку верхні кінці переливних труб виступають над тарілкою. Щоб рідина перетікала тільки переливними трубами, а не через патрубки 2, верхні кінці патрубків повинні бути вищими від рівня рідини. Нижні краї ковпачків занурені в рідину так, щоб рівень рідини був вищим від вершини прорізів.

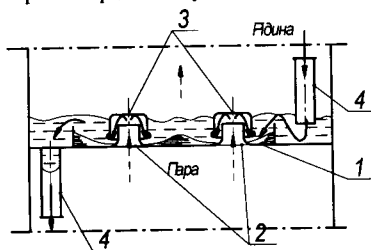


Рис. 10.1.8. Колонна з ковпачковими тарілками:  
1 - тарілка; 2 - патрубкі; 3 - ковпачки; 4 - переливні труби

Газ проходить патрубками 2 в простір під ковпачками і, виходячи через отвори між зубцями або через прорізи в ковпачках, барботує крізь шар рідини.

Щоб газ не попадав у переливні труби і не перешкоджав у такий спосіб нормальному перетіканню рідини з тарілки на тарілку, нижні кінці переливних труб є опущеними нижче від рівня рідини. Завдяки цьому створюється гідрозатвор, що запобігає проходженню газу крізь переливні труби.

Для створення великої поверхні контакту фаз на тарілках зазвичай встановлюють значну кількість ковпачків, розміщених на невеликій відстані один від другого.

Ковпачкові тарілки стабільно працюють у разі значної зміни навантажень за газом і рідиною. До їх недоліків належать складність конструкції, висока вартість, низькі границі навантаження за газом, відносно високий гідравлічний опір, складність очищення.

*Колони з клапанними та баластними тарілками.* Такий тип тарілок поширено застосовується для роботи в умовах значної зміни швидкостей газу.

Розглянемо принцип дії *клапанних тарілок* (рис. 10.1.9, а, б). Клапан 1 вільно лежить на отворі в тарілці. Із зміною витрати газу він своєю вагою автоматично регулює величину площі зазора між клапаном і площиною тарілки для проходження газу. Так клапан 1 підтримує сталу швидкість газу під час його витікання в барботажний шар. При цьому із збільшенням швидкості газу в колоні гідравлічний опір клапанної тарілки збільшується незначно.

Пластинчаті клапани (рис. 10.1.9, в) працюють так само як і круглі. Вони мають форму кута, одна з полицок якого (більш довга) закриває прямокутний отвір в тарілці.

*Баластні тарілки* (рис. 10.1.9, з) відрізняються від клапанних тим, що в них між легким круглим клапаном 1 і кронштейном-обмежувачем 2 встановлено на коротких стійках більш важчий, ніж клапан, баласт 3. Клапан починає підніматися за невеликих швидкостей газу. З подальшим збільшенням швидкості клапан впирається в баласт та піднімається разом з ним. Баластні тарілки відрізняються більш рівномірною роботою та повною відсутністю провалу рідини в широкому діапазоні швидкостей газового середовища.

*Переваги* клапанних та баластних тарілок: порівняно висока пропускна здатність за газом, гідродинамічна стійкість, постійна та висока ефективність в широкому інтервалі навантажень за газом.

*Недоліки*: підвищений гідравлічний опір зумовлений вагою клапана та баласта

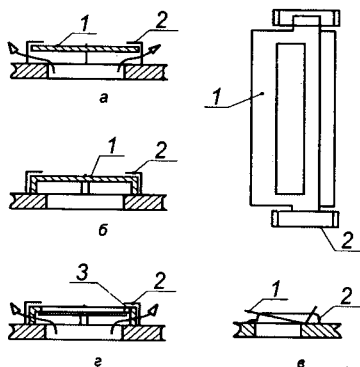


Рис. 10.1.9. Клапанні та баластні тарілки:

а, б – клапанні з круглими клапанами, в – клапанні з пластинчастим клапаном,  
г – баластна; 1 – клапан, 2 – кронштейн-обмежувач, 3 – баласт

**Пластинчасті тарілки.** Такий тип тарілок на відміну від попередніх працює за умов однонапрявленого руху фаз. Це означає, що кожна ступінь працює за принципом прямогоку, в той час як колона працює з протivotоком фаз. Такий принцип дозволяє значно збільшити навантаження за газом та за рідиною.

В колоні з пластинчастими тарілками (рис. 10.1.10) рідина (рух якої відображається суцільними стрілками) надходить з вищої тарілки в гідравлічний затвор 1 і через переливну перегородку 2 поступає на тарілку 3, що складається з багатьох нахилених пластин 4. Дійшовши до першої щілини, рідина зустрічається з газом (пунктирні стрілки), який з великою швидкістю (20 – 40 м/с) проходить крізь щілину. Внаслідок невеликого кута нахилу пластин (10-15°) газ виходить на тарілку у напрямку, наближеному до паралельного по відношенню до площини тарілки. При цьому відбувається диспергування

рідини газовим потоком на дрібні краплини та її відкидання вздовж тарілки до наступної щілини. В результаті рідина з великою швидкістю рухається вздовж тарілки від переливної перегородки 2 до зливного патрубку 5.

Отже, пластинчасті тарілки працюють так, що рідина являє собою дисперсну фазу, а газ – суцільну, контактування рідини і газу відбувається на поверхні крапель та бризок.

До переваг пластинчастих тарілок варто віднести: низький гідравлічний опір, можливість роботи із забрудненими рідинами, незначна металоемність конструкції. На тарілках такого типу зменшується поздовжнє перемішування рідини, що призводить до збільшення рушійної сили масопередачі.

Недоліком пластинчастих тарілок є: труднощі відведення та підведення тепла, зниження ефективності за незначних витрат рідини.

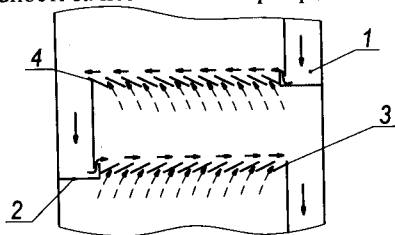


Рис. 10.1.10. Пластинчаста тарілка.

1 – гідравлічний затвор, 2 – переливна перегородка, 3 – тарілка, 4 – пластины

**Тарілчасті колони без зливних пристроїв (колони з провальними тарілками).** У колонах з провальними тарілками відсутні переливні труби, внаслідок цього газ і рідина проходять крізь ті самі отвори (рис. 10.1.11). На тарілці одночасно з взаємодією рідини і газу барботажем відбувається стікання частини рідини на нижчерозміщену тарілку — «провалювання» рідини. Тому тарілки такого типу звичайно називають провальними. До них належать дірчасті, решітчасті, трубчасті і хвилясті тарілки.

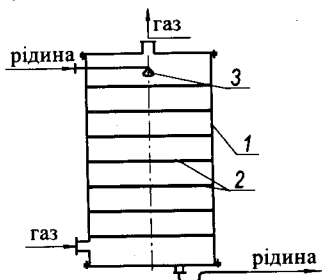


Рис. 10.1.11. Тарілчаста колона без зливних механізмів:

1 – колона; 2 – тарілки; 3 – розподільчач рідини

**Розпилюючі абсорбери.** У розпилюючих абсорберах поверхня контакту фаз створюється внаслідок розпилення рідини в об'ємі газу. Такі абсорбери виготовляють зазвичай у вигляді колон, у яких розпилення рідини здійснюється зверху, а газ рухається знизу вгору. Застосовують їх, головним чином, для поглинання добре розчинних газів.

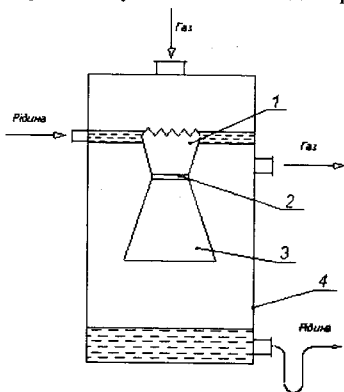


Рис. 10.1.12. Розпилюючий абсорбер Вентурі:

1 - конфузор; 2 - горловина;

3 - дифузор; 4 - сепараційна камера

Загальна поверхня крапель зростає зі збільшенням густини зрошення, зі зменшенням їх розміру і швидкості руху. Тому для ефективної роботи абсорбера велика густина зрошення має вирішальне значення.

Розпилюючі абсорбери застосовують здебільшого для поглинання добре розчинних газів, оскільки через високу відносну швидкість фаз і турбулізації газового потоку коефіцієнти масовіддачі в газовій фазі у цих апаратах є досить високими.

Ефективнішими апаратами є *прямоточні розпилюючі абсорбери*, у яких розпилена рідина захоплюється і несеться газовим потоком, що рухається з великою швидкістю (20-30 м/с і більше), а потім відокремлюється від газу в сепараційній камері. До апаратів такого типу належить *абсорбер Вентурі* (рис. 10.1.12), основною частиною якого є труба Вентурі. Ріжина надходить у конфузор 1 труби, тече у вигляді плівки і біля горловини 2 розпилюється газовим потоком. Далі ріжина виноситься газом у дифузор 3, у якому поступово знижується швидкість газу, і кінетична енергія газового потоку переходить в енергію тиску з мінімальними втратами. Сепарація крапель відбувається в камері 4.

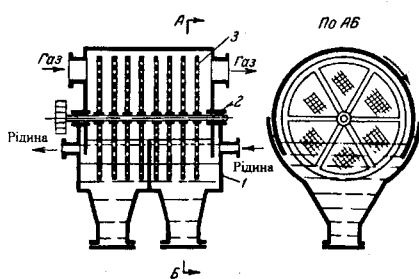


Рис. 10.1.13. Механічний абсорбер

1 - корпус; 2 - вал; 3 - сітчасті диски

До розпилюючих належать також *механічні абсорбери* (рис. 10.1.13), у яких розбрикування рідини здійснюється обертливими пристроями, тобто з підведенням зовнішньої енергії для утворення можливо більшої поверхні контакту фаз між газом і рідиною.

В такому апараті в середині нерухомого корпусу 1 обертається горизонтальний вал 2, на якому насаджені сітчасті диски 3, частково

занурені в рідину. Під час обертання вала рідина захоплюється дисками і розприскується у вигляді дрібних крапель

Механічні абсорбери досить ефективні. Однак до їх *недоліків* належать складність пристрою і значна витрата енергії.

### *Адсорбція та апаратура*

*Адсорбцією* називається процес вибіркового поглинання одного або декількох компонентів з газової, парової або рідкої суміші твердою речовиною – адсорбентом. Речовина, яка поглинається з газу або рідини, називається *адсорбтивом*, а після її переходу в фазу адсорбенту – *адсорбатом*. Поглинання під час адсорбції здійснюється поверхнею твердого пористого тіла. Розрізняють два види адсорбції:

- *фізичну адсорбцію*, при якій молекули речовини, що адсорбується, і адсорбенту не вступають у хімічну реакцію;
- *хемосорбцію*, коли між адсорбентом і поглинаючою речовиною виникає хімічний зв'язок.

Процес фізичної адсорбції зворотний, і під час зміни умов процесу можливе виділення поглинутих речовин адсорбентом – десорбція; хемосорбція не завжди буває зворотною.

Під час адсорбції водяної пари на поверхні адсорбенту може відбуватися її конденсація. Конденсат заповнює пори адсорбенту, у зв'язку з чим адсорбцію в цьому випадку називають капілярною конденсацією.

Явище адсорбції зумовлене силами взаємодії, що виникають між молекулами адсорбованої речовини і адсорбенту на поверхні розділу фаз. Між частинками (атомами, молекулами, іонами) твердого адсорбенту є надто значні сили взаємного зчеплення. Ці сили всередині твердого поглинача взаємно компенсуються і тому не проявляються як адсорбційні. Зовсім інший стан у частинок твердого тіла, які знаходяться на межі поділу фаз: з боку молекул твердого тіла на них діють ті самі сили, а аналогічні зв'язки з боку іншої фази відсутні, тобто молекули на поверхні твердого тіла не врівноважені, завдяки чому вони набувають здатності притягати до себе і утримувати молекули іншої фази. Молекули інших речовин (газу, пари, рідини) створюють на адсорбенті адсорбційний шар. Сили взаємодії між молекулами адсорбенту і адсорбата залежно від природи цих речовин можуть бути різними, але найчастіше вони зв'язані електростатичними зв'язками (сили Ван-дер-Ваальса). Процес адсорбції звичайно супроводжується виділенням значної кількості теплоти. Це вказує на те, що процес адсорбції не є простим осіданням молекул газу або рідини на поверхні твердого тіла, а є більш складним процесом, що супроводжується змінами в стані молекул адсорбенту і адсорбованої речовини.



Встановлено, що згідно з основним рівнянням масообміну, кількість речовини, адсорбованої на поверхні твердого адсорбенту, зростає прямо пропорційно величині поверхні контакту. Отже, основна вимога до адсорбенту, що подається, полягає в тому, щоб він мав розвинуту поверхню.

Фізична адсорбція прискорюється при зниженні температури і підвищенні тиску. Під час підвищення температури збільшується амплітуда коливання і швидкість руху молекул в адсорбційному шарі, внаслідок чого вони залишають поле притягання адсорбенту і настає десорбція. Швидкість хемосорбції, як і будь-якої хімічної реакції, навпаки – з підвищенням температури зростає.

У фармацевтичному та біотехнологічному виробництвах адсорбція застосовується для таких процесів, як:

- очищення дифузійного соку і цукрових сиропів;
- освітлення пива;
- очищення води, спирту та інших розчинників;
- знебарвлення (назване відбілюванням) жирів;
- під час рафінування олів;
- під час осушення та очищення газів, стічних вод та інших відходів виробництва.

*Адсорбенти*, що при цьому використовуються, повинні мати такі основні властивості:

- вибірковість (селективність) – здатність поглинати тільки той компонент, який необхідно виділити або усунути із суміші;
- максимальну адсорбційну ємність (активність);
- здатність гранично десорбуватися, необхідну для регенерації адсорбенту;
- хімічну інертність по відношенню до речовин, які поглинаються;
- достатню міцність гранул;
- низьку вартість і доступність.

Вибірковість адсорбенту і його адсорбційна ємність залежать від природи і побудови молекул адсорбенту та адсорбтиву. При цьому особливо важливу роль відіграє величина питомої поверхні (поверхня одиниці маси або об'єму адсорбенту) і розміри пор адсорбенту, які значною мірою пов'язані між собою: чим менший розмір пор, тим більша питома поверхня адсорбенту і, відповідно, його активність.

Адсорбенти мають пористу структуру і тому дуже розвинуту поверхню. Вони характеризуються поглинаючою здатністю, що визначається кількістю речовини, яка поглинається одиницею маси або об'єму адсорбенту.

При цьому розрізняють статичну і динамічну адсорбційні здатності. Максимально досяжна за заданих умов поглинаюча здатність адсорбенту називається його рівноважною активністю:

$$a = G/g_a,$$

де  $G$  - маса поглинутих компонентів,  $g_a$  - маса адсорбенту.

Як адсорбенти в технології широко використовують активоване вугілля, силікагелі, алюмогелі, цеоліти, глини та інші природні матеріали.

Наведемо стислу характеристику основних видів адсорбентів. *Активоване вугілля* одержують внаслідок сухої перегонки відповідної органічної сировини (кам'яного вугілля, деревини, тирси, кісточок з фруктів, відходів шкіряного, паперового, м'ясного виробництва) з наступним вилученням смолистих речовин з пор цієї сировини. Питома поверхня активованого вугілля 600-1700 м<sup>2</sup>/г, насипна густина – 380- 600 кг/м<sup>3</sup>; використовують його у вигляді гранул розміром 1-7 мм або порошоків з розміром частинок менше ніж 0,15 мм. Активоване вугілля використовується для очищення, освітлення і знебарвлювання рідких продуктів, а також вилучення з них запаху, присмаку, колоїдних та інших домішок, а також для очищення промислових газових викидів. Особливо відзначимо розроблений останніми роками адсорбент з високою поглинаючою здатністю, що одержується з абрикосових та інших фруктових кісточок і використовується для очищення організму від отруйних і шкідливих речовин під час лікування гострих отруєнь, хвороб печінки і нирок.

*Силікагелі* – це продукти зневоднення гелю кремнієвої кислоти. Питома поверхня силікагелів – від 300 до 750 м<sup>2</sup>/г, насипна густина – 100-800 кг/м<sup>3</sup>, розмір гранул – 0,2-7 мм. Силікагелі використовують для осушення повітря в системі фреонової холодильної установки, освітлення пива та розчинів лікарських речовин; вони здатні утримувати до 50% вологи від своєї маси.

*Цеоліти* – водні алюмосилікати природного або синтетичного походження з винятково тонкими порами. Їх поглинальна здатність у 2-4 рази вища, ніж силікагелів. Цеоліти застосовують для глибокого осушення газів (наприклад, у компресійних фреонових холодильних установках), для концентрування розчинів та очистки води.

*Глини* та інші природні глинисті адсорбенти (бентоніти, діатоміти, трепели, інфузорна земля) займають особливо значне місце серед промислових адсорбентів завдяки значному їхньому поширенню в природі та низькій вартості. Глини мають значно меншу питому поверхню, ніж інші промислові адсорбенти (35-150 м<sup>2</sup>/г), їх насипна густина 400-450 кг/м<sup>3</sup>. Глини особливо широко розповсюджені, як адсорбент, що поглинає забарвлені речовини з олій і жирів (адсорбційне вибілювання) та при фільтруванні пива.

Одним з видів адсорбентів є природні або синтетичні іоніти. Вони здатні обмінювати іони на еквівалентну кількість йонів того самого знаку з розчину, з яким вони взаємодіють. Таким чином, з розчину витягуються і утримуються адсорбентом іони, які підлягають вилученню з розчину. Синтетичні іоніти, які застосовуються у промисловості лікарських препаратів, відносяться до смол. За допомогою іонної адсорбції може здійснюватися ряд процесів: пом'якшення і знесолювання води, демінералізація і очищення настоїв, соків, сиропів, бульйонів. Іонітові адсорбенти легко піддаються регенерації.

Як адсорбенти застосовуються також дріжджі, казеїн, желатин, рибачий клей та інші продукти.

Адсорбентами може виступати і велика кількість твердих фармацевтичних продуктів. Тут слід відзначити що їхню здатність як негативне явище при зберіганні і транспортуванні. Йдеться передусім про поглинання твердими продуктами (в більшості своїй пористими тілами) вологи з довкілля. Під час взаємодії з навколишнім вологим повітрям продукт у процесі зберігання поглинає вологу до встановлення рівноваги між вмістом водяної пари в повітрі та вологи в продукті. Зволоження продуктів у даному випадку створює сприятливі умови для їхнього руйнування (псування) – прискорюються хімічні та біохімічні реакції, може відбуватися підвищення температури продукту, що сприяє його розкладу або інтенсивному розвитку мікроорганізмів.

До негативної адсорбційної властивості фармацевтичних продуктів відноситься також поглинання з навколишнього середовища різноманітного виду пари, газів, у тому числі й з сильним запахом. Тому необхідно, щоб вони зберігалися в приміщеннях, які добре вентилуються, вільних від наявності будь-яких запахів і небажаних газових компонентів.

Безумовно, позитивним може бути й прояв адсорбційних властивостей речовин в технології, наприклад дріжджами. Дріжджова маса, що складається з окремих дріжджових клітин, має велику поверхню адсорбції (1 г дріжджів, що складається з 10 млрд. клітин, має поверхню 2,27 м<sup>2</sup>). Цукор із цукровмісного розчину, що адсорбується на дріжджових клітинах, дифундує всередину клітини і піддається дії ферментів. Продукти бродіння, що утворюються при цьому, – спирт і вуглекислота, виходять з клітини через її оболонку.

Процес адсорбції в промисловості здійснюється двома способами:

- змішуванням адсорбента з продуктом, що обробляється, і подальшого розподілу їх на центрифугах або фільтрах;
- фільтруванням продукту, що обробляється через шар адсорбенту.

Згідно з першим способом здійснення процесу адсорбції (рис. 10.1.14.), рідкий продукт нагрівають і змішують з адсорбентом в реакторі 4, обладнаному сорочкою і мішалкою. Після чого суміш гарячою передають, наприклад за

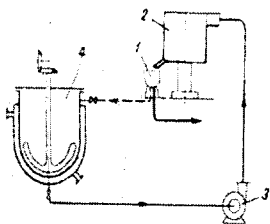


Рис. 10.1.14. Схема змішування продукту і адсорбенту

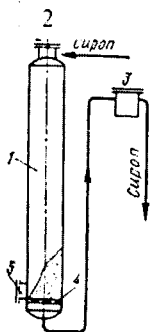


Рис. 10.1.15. Схема колонного адсорбера

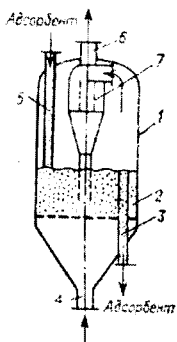


Рис. 10.1.16. Схема з адсорбера псевдозрідженим шаром адсорбенту

допомогою насоса 3, на фільтр (або центрифугу) 2, де відокремлюють адсорбент, який поглинув домішки, від рідини. Продукт, що відфільтрувався, збирається у збірнику 1. Адсорбент після регенерації знову може бути повернений у виробництво.

Залежно від характеру шару адсорбенту апарати для проведення процесу адсорбції за другим способом поділяють на три групи: з нерухомим шаром адсорбенту; з рухомим шаром; з "киплячим" шаром.

Широке застосовуються в промисловості знайшли апарати періодичної дії з нерухомим шаром адсорбенту. Робочий цикл роботи такого адсорбера складається з чотирьох стадій: власне адсорбції, десорбції, сушіння адсорбенту і його охолодження.

Адсорбер (рис. 10.1.15.) виготовляють у вигляді вертикальної колони 1 діаметром до 1,2 м і висотою до 10 м, що заповнена гранульованим адсорбентом. Колону обладнано решіткою 4, завантажувальним люком 2 і розвантажувальним люком 5. Вихідна суміш (наприклад, сироп) пропускається через шар адсорбенту; при цьому поглинаються відповідні компоненти суміші. Очищений продукт проходить крізь контрольний тканинний фільтр 3, в якому затримуються частинки адсорбенту, захоплені потоком. Після насичення адсорбенту стадія адсорбції припиняється, і адсорбент повинен бути регенований. Для регенерації через шар насиченого адсорбенту пропускають водяну пару, інертний газ, розчинник та ін. Після десорбції адсорбент просушується і використовується повторно.

Адсорбери з псевдозрідженням або "киплячим" шаром адсорбенту (рис. 10.1.16.) дають змогу здійснювати безперервний процес адсорбції. В цих апаратах пиловидний адсорбент 2 (розмір гранул не більше 500 мкм) по трубі 5 безперервно надходить на ґратку. Газ, що очищується крізь патрубків 4

подається під тиском під ґратку і, проходячи з певною швидкістю крізь шар адсорбенту, приводить його в псевдозріджений стан. Під час руху через шар адсорбенту відбувається процес адсорбції, і очищена газова суміш надходить у циклон 7 для відділення потоку газу від частинок адсорбенту, що знову повертаються в псевдозріджений шар. Очищений газ видаляється крізь вихлопну трубу 6 циклону. Адсорбент безперервно відводиться з шару через трубу 3 на регенерацію, а регенований адсорбент знову вертається в апарат по трубі 5. Застосування псевдозрідженого ("киплячого") шару дозволяє інтенсифікувати процес масопередачі під час адсорбції, що зумовлене зменшенням розмірів гранул і більш активним відновленням їх контактної поверхні.

### *Десорбція*

Як уже було сказано, виділення поглинутого компонента з розчину (абсорбенту) або з поверхні твердого адсорбенту називається десорбцією. Десорбційні процеси мають подвійне призначення. Вони застосовуються для відновлення поглинальних (сорбційних) властивостей абсорбентів і адсорбентів з метою їх повторного використання, а також для добування з них абсорбтивів і адсорбтивів з метою їх подальшої переробки.

Десорбція є важливою частиною абсорбційних і адсорбційних процесів, які проводяться в замкненому циклі; на практиці, як правило, десорбція здійснюється відразу після їх завершення. Десорбція проводиться такими основними способами:

- підвищенням температури сорбентів (абсорбентів і адсорбентів);
- зниженням загального тиску в системі або парціального тиску сорбтивів (абсорбтивів і адсорбтивів);
- продуванням нагрітим газом або перегрітою парою;
- витисненням поглинутих компонентів іншою речовиною, що має вищу поглинальну здатність, але легко після цього видаляється одним з простих способів десорбції.

Останній спосіб відноситься до комбінованого. Можливі й інші способи комбінованої десорбції. Спосіб десорбції вибирається залежно від системи, що обробляється.

Як десорбуючий агент найчастіше використовують водяну пару. Прикладом десорбції є відгонка водяною парою з абсорбенту (вазелинового або веретенного мінерального масла) бензолу; процес використовується під час адсорбційної рафінації олії, отриманої екстрагуванням за допомогою бензолу. Для досягнення повної регенерації адсорбенту після проведення десорбції його висушують і охолоджують. Вугілля регенерують прожарюванням у печач, силікагель і цеоліт - продуванням сухого гарячого газу.

Процеси десорбції проводять в апаратах періодичної або безперервної дії, аналогічних абсорберам і адсорберам.

### *Екстрагування і область застосування процесу*

*Процесом екстрагування* називається вибіркове добування одного або декількох компонентів з розчину або твердого тіла за допомогою розчинника, що називається екстрагентом. У екстрагенті добре розчиняються тільки компоненти, що добуваються і значно гірше або практично зовсім не розчиняються інші компоненти; тому розчинник називається вибіркочним або селективним. У фармацевтичній технології як екстрагенти застосовують воду, спирт та водно-спиртові суміші (часто – 70 %) і різноманітні органічні розчинники – чотирихлористий вуглець, дихлоретан, бензол та ін.

За агрегатним станом розрізняють екстрагування в системі тверде тіло-рідина і рідина-рідина; останнє трапляється рідше. Механізм процесу екстрагування з твердих тіл і застосовувана для цієї мети апаратура істотно відрізняються від екстрагування в системі рідина-рідина.

У технології лікарських препаратів значне розповсюдження має екстрагування в системі тверде тіло-рідина. Для деяких виробництв екстрагування є основним технологічним процесом. До них відносяться, наприклад:

- екстрагування олів з насіння різних рослин: соняшнику, бавовнику, сої та ін. (екстрагент – бензол);
- екстрагування агару з морських водоростей в агаровому виробництві (екстрагент – вода);
- видобування лікарських, дубильних, ароматних і барвникових речовин з рослинної лікарської сировини (екстрагент – вода, спирт, розчини органічних речовин).

Процес екстрагування з твердих тіл відіграє важливу роль у виробництві ліків, лікарських настоянок і бальзамів, пива, крохмалю, желатину і т.д. Екстрагування має місце під час приготування бульйонів і відварів, екстрактів тощо. За допомогою екстрагування виділяють молочну кислоту і антибіотики з ферментаційних розчинів, сивушні масла з суміші компонентів, що відбираються з брагоректифікаційних апаратів. Під час екстрагування з рідини екстрагент повинен бути нерозчинним у рідині, що піддається обробці, і мати по відношенню до речовини, що добувається, більшу розчинність, ніж вихідна рідина. Після проведення екстрагування рідини повинні легко відокреплюватися, відрізняючись між собою значеннями густини.

Таким чином, під час екстрагування, як і в інших масообмінних процесах, є дві фази (тверда і рідка або дві рідкі) і речовина, яка переходить з однієї фази в іншу, – екстрагована речовина. У ряді виробництв є необхідність одержання екстрагованої речовини в чистому вигляді (наприклад, валеріани у таблетках).

Для цього після екстрагування проводять випаровування або відгонку розчинника.

Фізична сутність процесу екстрагування полягає в наступному. Екстрагування є дифузійним процесом. Рушійною силою його є різниця концентрацій цільового компонента в двох фазах, що стикаються. Цільовий компонент переміщується в сторону меншої концентрації з однієї фази в іншу. Екстрагування при кімнатній температурі без перемішування відбувається за рахунок молекулярної дифузії, а при нагріванні або перемішуванні – конвективною дифузією.

Екстрагування в системі тверде тіло-рідина – це складний процес, який включає чотири стадії:

- 1) дифузія розчинника (екстрагента) в пори твердого тіла;
- 2) розчинення цільового компонента (або декількох компонентів);
- 3) перенесення екстрагованої речовини в капілярах у середині твердого тіла до поверхні розділу фаз (внутрішня дифузія);
- 4) перенесення екстрагованої речовини в рідкому розчиннику від поверхні розділу фаз через пограничну плівку в середину потоку екстрагента (зовнішня дифузія).

Під час екстрагування розчинних речовин з тканин рослинної сировини природно, що не всі чотири стадії мають місце або не всі відіграють істотну роль. Наприклад, у коли екстракція проходить з рослинної сировини, в якій екстрагована речовина знаходиться вже в розчиненому стані (в клітинному соці); тому перші дві стадії в цьому процесі будуть відсутні.

При екстрагуванні в більшості інших виробництв з перерахованих чотирьох стадій процесу лімітують загальну швидкість масопередачі, зазвичай, останні дві, бо швидкість масопередачі на перших двох стадіях звичайно значно вища порівняно зі швидкістю протікання двох наступних стадій. Таким чином, загальний дифузійний опір масопередачі складається з дифузійного опору всередині твердого тіла і в розчиннику, а швидкість екстрагування визначається швидкістю протікання внутрішньої та зовнішньої дифузії.

На ефективність процесу екстрагування з рослинної сировини, тобто на швидкість екстрагування, впливає ряд факторів.

1. *Правильний вибір розчинника.* Він полягає в тому, що екстрагент повинен добувати з сировини тільки потрібний компонент без сторонніх домішок. Екстрагент повинен також відповідати таким вимогам: бути хімічно чистим, не спричинювати корозії апаратури, легко відокремлюватися від екстрагованої речовини шляхом перегонки або випаровування, не залишаючи шкідливих для організму сполук, не змінюючи запаху та кольору продукту.

2. *Подрібнення твердої сировини до оптимального розміру.* Розміри частинок матеріалу, який екстрагується, повинні бути настільки малі, щоб створити найбільшу поверхню контакту з розчинником і найменший шлях для внутрішньої дифузії. Проте не треба допускати переподрібнення матеріалу, а також неоднорідного подрібнення, бо при цьому переподрібнені частинки утворюють густий шар, перегороджуючи шлях розчиннику.

3. *Створення оптимальних температурних умов.* Підвищення температури прискорює процес дифузії внаслідок пришвидшення теплового руху молекул і зменшення при цьому в'язкості середовища, що полегшує і прискорює переміщення компонента, який екстрагується, і розчинника. Підвищення температури (до 60° С) сприяє також руйнуванню оболонки клітин рослинної і тваринної сировини. Також швидкість внутрішньої дифузії компонента можна підвищити, створюючи умови для виникнення термодифузії, що посилює потік компонента, який екстрагується, до поверхні. Цього можна досягти шляхом нагрівання твердого тіла до вищої температури, ніж температура екстрагента.

4. *Створення підвищеного тиску,* що сприяє тіснішому контакту розчинника і сировини і, отже, приводить до більш повного добування продукту, який екстрагується. Проте використання підвищеного тиску під час екстрагування потребує складнішої за конструкцією герметичної апаратури.

5. *Створення ефективних гідродинамічних умов протікання процесу.* Для збільшення швидкості зовнішньої дифузії треба створювати інтенсивний турбулентний рух екстрагента і перемішувати матеріал.

6. *Оптимальне співвідношення розчинника й сировини, що надходять на екстрагування.* Збільшення кількості розчинника сприяє повнішому добуванню речовин, які екстрагуються, але може екстрагувати небажані домішки. Крім того, концентрація екстрагованої речовини в екстрагенті при цьому буде невисокою, що робить важчим їх наступне розділення. Занадто малі кількості розчинника, що подається на екстрагування, призведуть до неповного добування продукту з сировини, що є економічно недоцільним.

7. *Дотримання умов оптимальної тривалості процесу екстрагування.* Під час збільшення тривалості процесу підвищується виділення компонента, який екстрагується, але знижується продуктивність апаратів. Скороченню тривалості проведення екстрагування сприяють рівномірніше подрібнення сировини, підвищення температури розчинника і сировини, а також збільшення кількості екстрагента.



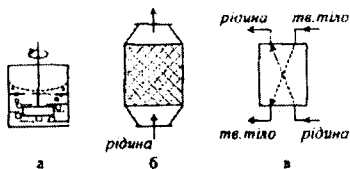


Рис. 10.1.17. Методи проведення процесу екстрагування в системі «тверде тіло-рідина»

Апарати, в яких здійснюється процес екстрагування, називаються *екстракторами*. Для проведення процесу екстрагування в системі "тверде тіло-рідина" – застосовують три способи взаємодії фаз (рис. 10.1.17): контакт у замкненому об'ємі; фільтрування рідини через нерухомий шар пористих частинок (перколяція); протитечійна взаємодія твердих частинок з рідиною.

Для деяких категорій екстрактів і настоїв, що одержуються в окремих галузях фармацевтичної промисловості, де виробляються невеликі партії продукції різноманітних найменувань, достатньо широке розповсюдження і досі мають апарати періодичної дії з мішалкою (рис. 10.1.17, а). У цьому випадку концентрація екстрагованої речовини в твердому тілі та розчиннику безперервно змінюється, а процес має нестационарний характер.

Таким самим способом проводять екстрагування в системі рідина-рідина шляхом інтенсивного перемішування рідин з наступним розділенням на шари.

Найширше застосування має екстрактор-дифузор для екстрагування в густому шарі (рис. 10.1.18). Дифузор має вертикальний циліндричний корпус 3 з конічним днищем, завантажувальним люком 1 угорі та відкидним розвантажувальним днищем 6 знизу. У нижній частині апарата знаходиться сталеве сито 4, на яке через верхній люк завантажують шар подрібненого твердого матеріалу 7. У верхній горловині є штуцер 2 для введення розчинника, а в нижній – штуцер 5 для його випуску.

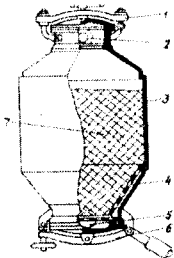


Рис. 10.1.18. Схема дифузора

Місткість дифузорів становить 3,5-6 м<sup>3</sup>.

Застосування одиничних дифузорів доцільно для проведення екстрагування настоюванням при значній тривалості процесу. Для інтенсифікації процесу може здійснюватися циркуляційне перемішування; при цьому розчинник циркулює за допомогою насоса через штуцери 5 і 2.

У багатьох виробництвах (вітамінному, агаровому та ін.) звичайно з'єднують послідовно від 4 до 15 дифузорів у батарею і проводять процес екстрагування за принципом протитечії, тобто свіжий екстрагент взаємодіє з матеріалом, який вже значною мірою екстрагований, а найбільш концентрований розчин – зі свіжим матеріалом. При цьому в батареї завжди працює на два апарати менше, оскільки в будь-який момент часу один з апаратів знаходиться під завантаженням свіжого матеріалу, а інший, у якому

досягнуто задану ступінь добування, відключається на розвантаження відпрацьованої сировини. Для підтримання відповідного температурного режиму між кожною парою дифузorzів для нагрівання екстрагента встановлюються теплообмінники. Рух екстрагента через усі дифузори відбувається за допомогою насоса чи стиснутого газу.

Поширеним також є безперервний протитечійний спосіб екстрагування, під час якого тверді частинки переміщуються назустріч потоку рідини (див. рис. 10.1.17, в). Під час протитечійної взаємодії фаз конструкція контактного пристрою визначається робочим органом, що забезпечує переміщення матеріалу. Як робочий орган надто широко використовуються шнеки, стрічкові та ланцюгові транспортери, а також ротори.

### *Перегонка, її види та обладнання*

Процес розділення киплячих рідких однорідних сумішей різних за леткістю компонентів, внаслідок їх часткового випаровування, з подальшою конденсацією утвореної пари називається *перегонкою (дистиляцією)*.

Перегонка широко використовується в фармацевтичній технології, як один з основних процесів при органічному синтезі штучних препаратів з органічних речовин, у вітамінному виробництві при одержанні вітамінів А і Е з риб'ячого жиру і олив; у виробництві ефірних олій (ароматичних речовин) з натуральних прянощів та ін. Процеси перегонки використовуються під час проведення аналізів складу, якості сировини, матеріалів і готової продукції, одержанні дистильованої води і т.д.

Перегонка ґрунтується на різницях температур кипіння, парціального тиску та леткостей окремих компонентів, які входять до складу суміші. Під час нагрівання рідкої суміші до кипіння компонент, що має нижчу температуру кипіння, переходить у пару і видаляється з неї у першу чергу. Компонент з вищою температурою кипіння залишається в рідкому стані й лише частково випаровується.

Компонент суміші, який при незмінному тиску кипить за нижчої температури, називають легколетким (низькокиплячим), а компонент, що кипить при високій температурі, – важколетким (висококиплячим). Отже, в процесі перегонки рідка фаза збіднюється, а парова збагачується легколетким компонентом. Рідина, що не випарувалась, природно, має склад більш багатий важколетким компонентом. Ця рідина називається *кубовим залишком*, а рідина, отримана в результаті конденсації пари, – *дистилятом*, або *ректифікатом*. Тому процес перегонки називають також дистиляцією, або ректифікацією.

Ступінь збагачення парової фази легколетким компонентом залежить від виду перегонки. Існують два принципово відмінних види перегонки: проста перегонка (дистиляція) і ректифікація. Проста перегонка – це процес одноразового часткового випаровування рідкої суміші та конденсації пари, що утворюється. Звичайно її використовують для грубого розділення рідких сумішей, леткості компонентів яких істотно відрізняються.

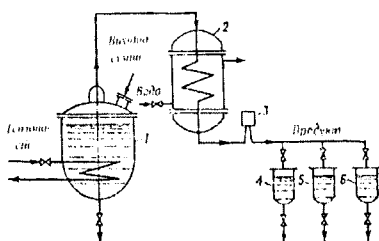


Рис. 10.1.20. Схема установки для фракційної дистиляції:  
1 – перегонний куб;  
2 – конденсатор-холодильник;  
3 – оглядовий ліхтар; 4-6 – збірники дистиляту

Значно більш повний розподіл рідких сумішей на компоненти досягається шляхом ректифікації.

Ректифікація – процес розділення багатокомпонентної гомогенної суміші летких рідин шляхом багаторазового випаровування і конденсації цієї суміші, що супроводжується поверненням частини конденсату у вигляді флегми.

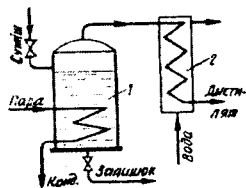


Рис. 10.1.19. Схема апарата для простої перегонки.

Процес перегонки споріднений до процесу випаровування. Принципова різниця полягає в тому, що випаровуванню піддають суміші, які складаються з леткого розчинника і нелеткої розчиненої речовини, а перегонці піддають рідкі суміші, в яких і розчинник і розчинена речовина є леткими.

Схему періодично діючого апарата, призначеного для простої перегонки (дистиляції) рідких систем, наведено на рис. 10.1.19. Вихідну суміш завантажують у перегонний куб 1, обладнаний сорочкою чи змійовиком для обігріву, і доводять до кипіння.

Пару відводять у холодильник-конденсатор 2, де вона повністю конденсується і відводиться у вигляді дистиляту в збірник. Після завершення процесу залишок зливають з куба і в нього знов завантажують суміш для розділення. Перші порції дистиляту містять більшу кількість легколеткого компонента, ніж останні. У зв'язку з цим відбирають декілька фракцій дистиляту, що мають різноманітний склад. Проста дистиляція, проведена з одержанням кінцевого продукту різного складу, називається *фракційною дистиляцією*.

У періодично діючій установці для фракційної дистиляції (рис. 10.1.20) вихідну суміш завантажують у перегонний куб 1, обладнаний змійовиком чи

сорочкою для обігріву, і доводять до кипіння. Пари відводять у конденсатор-холодильник 2. Фракції дистилату надходять через оглядовий ліхтар 3 в окремі збірники 4-6. По закінченні операції залишок зливають із куба, після чого в нього знову завантажують суміш, що переганяється.

Часто перегонку висококиплячих нерозчинних у воді речовин проводять із водяною парою, тобто у цей спосіб розділяють суміші речовин, що киплять при температурах, які перевищують 100°C, що й обумовлює необхідність подачі води в куб у вигляді сухої перегрітої пари (рис. 10.1.21). Вихідна суміш завантажується в куб 1, що обігривається сухою парою через сорочку. У середину куба через барботер подається гостра пара. Пари, що утворюються при випарюванні суміші, направляються в конденсатор – холодильник 2. Конденсат, що тут утвориться, надходить на розділення у сепаратор (ділильну воронку) 3, де нерозчинні одна в одній рідині розшаровуються. Знизу сепаратора через гідравлічний затвор видалиться, наприклад, вода, а зверху – відігнаний, нерозчинний у воді більш легкий компонент, що зливається в спеціальний збірник.

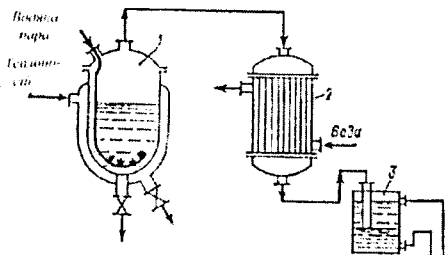


Рис. 10.1.21. Схема установки для дистилляції з водяною парою: 1 – куб з паровою сорочкою; 2 – конденсатор-холодильник; 3 – сепаратор (ділильна воронка)

Дистилляція з водяною парою застосовується при переробці маслянистих кислот, ефірних олій, смол, а також для дезодорації – видалення речовин, що обумовлюють неприємний запах олій, жирів та інших продуктів. У промисловості для дезодорації застосовуються дезодоратори (рис. 10.1.22) – це вертикальні сталеві ємкісні апарати циліндричної форми, обладнані змійовиковим теплообмінником 5 для нагрівання розчину, та барботером, куди під тиском подають перегріту гостру пару. Сировина завантажується в апарат через патрубок 6. Пара захоплює із собою рідину по трубі 3 і викидає з великою силою у відбивач 2, розміщений над нею. Під час удару рідина розбризкується на дрібні краплини, внаслідок чого збільшується поверхня його контакту з парою. Леткі речовини, що містяться в розчині (наприклад альдегіди і кетони в жирах), переходять у пару і видаляються разом з нею з дезодоратора в конденсатор через патрубок 1. Дезодорований продукт вивантажується з апарата через штуцер 4. Під час перегонки з водяною парою температура кипіння небажаних домішок олій (висококиплячих альдегідів і кетонів) знижується. Ці домішки випаровуються

ричної форми, обладнані змійовиковим теплообмінником 5 для нагрівання розчину, та барботером, куди під тиском подають перегріту гостру пару. Сировина завантажується в апарат через патрубок 6. Пара захоплює із собою рідину по трубі 3 і викидає з великою силою у відбивач 2, розміщений над нею. Під час удару рідина розбризкується на дрібні краплини, внаслідок чого збільшується поверхня його контакту з парою. Леткі речовини, що містяться в розчині (наприклад альдегіди і кетони в жирах), переходять у пару і видаляються разом з нею з дезодоратора в конденсатор через патрубок 1. Дезодорований продукт вивантажується з апарата через штуцер 4. Під час перегонки з водяною парою температура кипіння небажаних домішок олій (висококиплячих альдегідів і кетонів) знижується. Ці домішки випаровуються

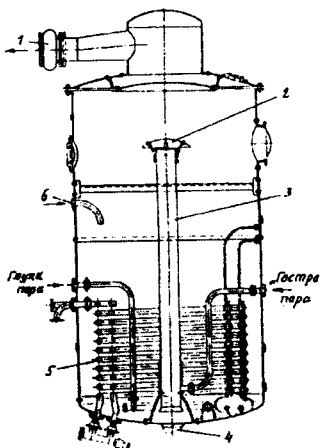


Рис. 10.1.22. Дезодоратор

за невисоких температур, коли леткість основного продукту (складних ефірів і жирних кислот) невелика, внаслідок цього з домішками відганяється дуже невелика кількість олії або жиру (усього близько 1%). Оскільки дезодоратори працюють під розрідженням, то це дозволяє ще більш понизити температуру кипіння суміші.

В останні роки знаходять застосування ефірні олії, що одержуються з натуральних прянощів шляхом простої перегонки. До них відносяться ефірні олії з перцю духмяного і чорного, лаврового листа, кориці, мускатного горіха, кропу та ін.

Крім того, часто застосовуються різноманітні водно-спиртові дистилати, для виробництва яких можливе використання простої перегонної установки (рис. 10.1.23). Установа включає в себе ємність 3 з нагрівачем 1, в яку поміщено ківш 2 і сотейник 4. У ємність 3 завантажують певну кількість ароматизуючих речовин (наприклад, селеру, петрушку, перець чорний мелений, часник) і заливають водно-спиртовий

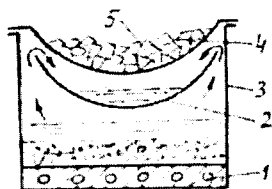


Рис. 10.1.23. Схе-  
ма ароматизаційної  
дистильційної  
установки

розчин. Співвідношення між твердою частиною й рідиною (гідромодуль) становить 1:1. Водно-спиртова рідина екстрагує з прянощів ароматизуючі речовини, повільний підігрів суміші до температури 50 °С і витримка за цієї температури 15-25 хв сприяють екстракції. Пара спирту з екстрактом піднімається вгору, конденсується на зовнішній поверхні сотейника, заповненого льодом 5, і збирається в ковші 2. Відповідні ароматичні дистилати використовуються для ароматизації різноманітних настоянок.

Розглянутими методами простої перегонки рідка суміш, як було показано, піддається поділу на кілька фракцій різноманітного складу, але не може бути розділена на індивідуальні компоненти. Втім, якщо дистилат, отриманий у процесі простої дистильації, піддати вдруге простій дистильації, дистилат, що знову утвориться, потім знову піддати тому самому опрацюванню і т. д., то після деякого числа таких операцій можна одержати маленьку кількість практично чистого низькокиплячого чи висококиплячого компонента. Крім низького виходу практично чистих компонентів і необхідності установки

великого числа дистиляційних кубів і конденсаторів, для проведення зазначеного процесу необхідні були б значні витрати тепла і холоду на багаторазове випаровування рідин і конденсацію пари.

Таким чином, багаторазове чергування процесів випаровування і конденсації з метою поділу суміші на чисті компоненти називається *ректифікацією*.

*Ректифікація* – це протитечійна взаємодія двох нерівноважних фаз рідини і пари, що утворюється з цієї рідини. При цьому пара безупинно збагачується низькокиплячим (летким) компонентом, а рідина – висококиплячим (важколетким) компонентом. Сутність процесу ректифікації можна характеризувати, як поділ рідкої суміші на дистилят і залишок у результаті протитечійної взаємодії рідини з паром. Ректифікацією може бути досягнутий будь-який заданий ступінь розділення рідких сумішей. Ректифікація є складним процесом дистиляції.

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різноманітних тисках: атмосферному тиску, під вакуумом (для поділу сумішей речовин з високою температурою кипіння), а також під тиском більшим за атмосферний (для поділу сумішей, що є газоподібними при нормальних температурах).

Безперервну ректифікацію проводять не в окремих кубах, а в колонах, розділених перегородками, які називаються тарілками. На кожній тарілці

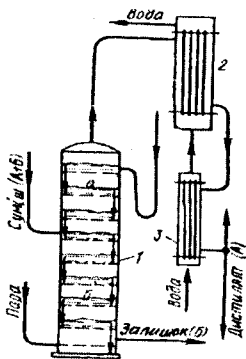


Рис. 10.1.24. Ректифікаційна колона безперервної дії

відбуваються ті самі процеси, що і в кубах. На рис. 10.1.24 зображено схему ректифікаційного апарату безперервної дії, що складається з колони 1, дефлегматора 2 і холодильника 3. Колону умовно поділено на дві частини. Верхня частина колони (частина а називається колоною зміцнення, нижня б – колоною виснаження). Призначення колони полягає в тому, щоб привести в тісний контакт парову й рідку фази, які містять компоненти, що розділяються.

Нагріта рідка суміш надходить в колонну 1 і опускається по ній, переливаючись з тарілки на тарілку. Назустріч їй рухається пара. Щоб утворити цю пару, в нижню частину колони подають гріючу водяну пару. За час проходження вихідної суміші в колоні виснаження легколеткий компонент (наприклад ароматичні речовини) з рідкої фази переходить у парову фазу, і залишок, що виходить з колони, містить в основному важколеткий компонент

(воду). Пара, яка виходить з колони виснаження в колону зміцнення, містить, таким чином, майже весь легколеткий компонент, що міститься у вихідній суміші. Зміцнююча частина колони призначена для того, щоб збільшити концентрацію легколеткого компонента. Для цього з дефлегматора 2 на верхню тарілку зміцнюючої колони надходить флегма, що містить високий відсоток легколеткого компонента. Зливаючись по тарілках колони зміцнення, флегма віддає свій легколеткий компонент парі, а сама приймає з пари важколеткий компонент. У результаті такого обміну пара, яка виходить з колони в дефлегматор, збагачується легколетким компонентом. Збагачена пара конденсується частково в дефлегматорі, утворюючи флегму. Не сконденсована в дефлегматорі пара ароматичних речовин надходить у холодильник 3, де конденсується повністю і дистилат поступає в збірник.

У виробництві невеликого масштабу використовуються ректифікаційні колони періодичної дії. Приклад такої установки наведено на рис. 10.1.25. Вихідна суміш завантажується в куб 1, обладнаний нагрівальним пристроєм. Суміш нагрівається до кипіння, і її пара надходить під нижню тарілку ректифікаційної колони 2. Пара, піднімаючись по ректифікаційній колоні,

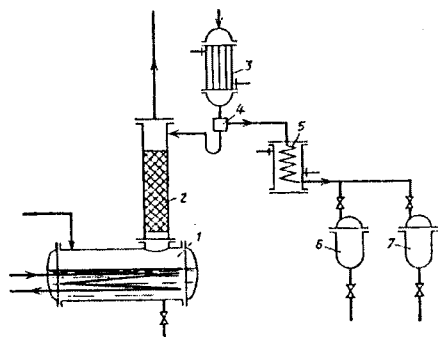


Рис. 10.1.25. Принципова схема ректифікаційної установки періодичної дії: 1 – куб; 2 – ректифікаційна колона; 3 – дефлегматор; 4 – ділильна воронка; 5 – холодильник; 6, 7 – збірники

збагачуються низькокиплячим компонентом, яким збіднюється флегма, що стікає вниз та надходить із дефлегматора 3 на верхню тарілку колони. Пара з колони направляється в дефлегматор 3, де вона цілком або частково конденсується. У випадку повної конденсації рідина розділяється за допомогою ділильної воронки 4 на флегму і дистилат. Флегма направляється на зрошення ректифікаційної колони, а дистилат – проходить через

холодильник 5 і направляється в збірники 6 і 7. Після того, як досягнуто заданий склад кубового залишку залишок зливають, завантажують куб вихідною сумішшю й операцію повторюють.

## *Кристалізація та сфера застосування*

*Кристалізацією* називають процес виділення твердої фази у вигляді кристалів з розчинів і розплавів.

Одержання великої кількості кристалів у промислових умовах називають масовою кристалізацією. Вона проводиться при зниженні розчинності речовини, що виділяється, за рахунок вилучення частини розчинника (наприклад, випарюванням) або зниженням температури розчину. Кристалізація з розчину ведеться з охолодженням розплавленої маси матеріалу, головним чином, для його затвердіння.

Методом кристалізації проводяться наступні технологічні процеси: виділення твердих розчинених речовин з розчинів; затвердіння розплавів; розподіл сумішей речовин на фракції, збагачені яким-небудь компонентом, а інколи на практично чисті компоненти; глибоке очищення речовин від домішок. Усі ці процеси підпорядковані загальним закономірностям, хоча й мають ряд технологічних особливостей і відрізняються конструкцією апаратів.

Кристалізація є дифузійним процесом. Під час його здійснення відбувається масообмін між рідкою і твердою фазами. У результаті масообміну речовина переходить з рідкої фази в тверду. Кристалізація застосовується в фармацевтичній промисловості під час виробництва цілого ряду препаратів, антибіотиків, глюкози, лимонної та молочної кислот, інших продуктів. У деяких виробництвах кристалізація є небажаним процесом.

У виробничих умовах процес кристалізації складається з таких операцій: власне кристалізації, відділення кристалів від розчину (що називається в цьому випадку маточним), перекристалізації (при необхідності), промивання кристалів та їх наступне сушіння. Як попередню операцію, що забезпечує необхідну концентрацію розчину перед кристалізацією, проводять випарювання.

Процес кристалізації характеризується статикою, кінетикою й динамікою. Статика кристалізації визначає умови рівноваги між кристалами і розчином, з якого вони утворювались, а також зв'язок між початковими та кінцевими параметрами процесу.

Кінетика встановлює величину швидкості переходу речовини з однієї фази в іншу за заданих умов.

Динаміка кристалізації визначає характер зміни параметрів системи в часі на внутрішні збурення і зовнішні регулюючі впливи.

Процеси кристалізації відрізняються значною складністю. Найбільш опрацьовано питання статико процесу, менше ступені - його кінетики; динаміка процесу кристалізації з розчинів знаходиться в початковій стадії вивчення.



В основі процесу кристалізації лежить здатність речовини розчинятися у різноманітних рідинах - розчинниках. Найбільш розповсюдженим розчинником є вода. Тверді речовини залежно від того, як змінюється їх розчинність зі зміною температури, можуть мати позитивну розчинність (розчинність із підвищенням температури збільшується) і значно рідше – негативну розчинність (з підвищенням температури розчинність знижується).

Розчин, що знаходиться в рівновазі з твердою фазою за даної температури, називається насиченим. У такому розчині між твердою речовиною і розчином має місце динамічна рівновага, яка характеризується тим, що за одиницю часу кількість частинок, що розчиняються з кристалів і переходять у розчин, дорівнює кількості частинок, що кристалізуються в розчині та переходять у тверду фазу.

Інколи концентрація розчиненої речовини може бути більша, ніж її розчинність. Такі розчини називаються перенасиченими. Умови перенасичення розчину досягаються:

- випаровуванням частини розчинника у відкритій посудині при температурі, нижчій від точки кипіння;
- під час випаровування частини розчинника у випарному апараті;
- під час додавання в розчин водовідбираючих речовин;
- під час охолодження розчинів з позитивною розчинністю або нагрівання розчинів з негативною розчинністю речовин.

Перенасичені розчини нестійкі, легко переходять у насичені розчини. Під час такого переходу з перенасичених розчинів випадає тверда фаза.

Процес кристалізації будь-якої речовини розглядається як такий, що протікає в дві стадії. На першій стадії утворюються зародки (центри) кристалізації, на другій відбувається ріст кристалів навколо них. У загальній теорії кристалізації утворення зародків кристалів розглядається як дифузійний процес, оскільки для нього необхідна рухливість атомів у вихідній фазі та новій фазі, що утворюється (механізм цього процесу не отримав ще закінченого рішення). За наявними теоретичними даними та результатами численних експериментальних досліджень дозволяється стверджувати, що швидкість утворення зародків залежить від температури, механічних (перемішування, струшування) та інших (наприклад, ультразвукових) впливів, ступеня шорсткості стінок та ін.

Існують і декілька теорій росту кристалів: молекулярно-кінетична, термодинамічна, дифузійна та ін. Кожна з них пояснює лише окремі сторони процесу, однак єдиної теорії росту кристалів і пояснення механізму процесу поки що немає.

Згідно з молекулярно-кінетичною теорією (адсорбційною) друга стадія кристалізації – ріст кристалів – розглядається як ряд елементарних актів приєднання до зростаючої поверхні граней молекулярних комплексів, що утворилися в масі вихідної фази. У процесі росту кристалів відбувається масовіддача до поверхні межового шару, дифузія речовини через цей шар до поверхні кристалу, рух частинок уздовж поверхні кристалу і включення їх у поверхневу кристалічну решітку, відведення теплоти кристалізації та вивільненої гідратаційної води від поверхні кристалу. Перехід молекул розчиненої речовини до поверхні зростаючого кристалу прискорюється перемішуванням внаслідок зменшення товщини дифузійного межового шару. Швидкість росту кристалів також збільшується з підвищенням температури, при цьому прискорюється дифузія, полегшується підхід з розчину нових молекул речовини, з яких складається структура кристалу. Дифузія в напрямку до центру кристалізації виникає у зв'язку з тим, що концентрація твердої речовини навколо кристалу менша, ніж вдалині від нього.

Рушійною силою кристалізації, як і у всякому масообмінному процесі, є різниця концентрацій. У даному випадку це різниця між концентрацією перенасиченого розчину  $C$  і насиченого розчину  $C_n$  у межовій дифузійній плівці, що покриває зростаючий кристал. Ця різниця концентрацій ( $C-C_n$ ) забезпечує подолання двох опорів: дифузійного опору пограничного шару та кінетичного опору, що виникає під час введення молекули речовини в кристалічну ґратку кристалу.

Величина кристалів, що утворюються, залежить від кількості центрів кристалізації в розчині. Для одержання однорідних за розмірами кристалів вдаються до використання так званої затравки. Затравка - це найдрібніші частинки кристалів або навіть найдрібніші кристали тієї самої речовини, що вносяться в перенасичений розчин. Кожна з частинок затравки є центром кристалізації. Кристали, що утворюються, мають різні розміри, а отже, і різну масу. Дрібні кристали утворюються у випадку наявності великої кількості центрів кристалізації, а також під час швидкого охолодження розчину, інтенсивного перемішування, високої концентрації та низької молекулярної маси розчиненої речовини. За цих умов утворюється велика кількість зародків кристалів, живлення кожного з них розчиненою речовиною недостатнє, тому одержуються дрібні кристали. Великі кристали утворюються при невеликій кількості центрів кристалізації, а також при повільному охолодженні в нерухомому розчині розчиненої речовини з високою молекулярною масою .

Зазвичай у виробничих умовах процес кристалізації протікає з невеликою швидкістю, кількість центрів кристалізації невелика, в результаті утворюються великі кристали, які легше відстоюються, фільтруються, утримують менше

вологи під час промивання та скоріше висушуються, ніж дрібні. Проте інколи вимоги передбачають одержання найдрібніших кристалів.

У промисловій практиці застосовують різноманітні методи кристалізації, що відрізняються, в основному, способами створення перенасичення. З них найвідоміші такі три способи:

- охолодження розчину – застосовують для речовин з позитивною розчинністю, тобто розчинність яких зменшується із зниженням температури;
- вилучення розчинника випаровуванням (випарюванням) – застосовують для кристалізації речовин з негативною і дуже низькою позитивною розчинністю;
- висолювання розчинів – здійснюється додаванням речовин, що знижують розчинність компонента, який кристалізується.

Найбільше поширення отримали способи охолодження розчину і вилучення частини розчинника. У деяких випадках застосовують їх одночасно (комбінований спосіб).

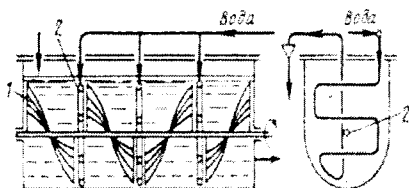


Рис. 10.1.26. Схема кристалізатора з охолодженням розчину

Апарати, призначені для кристалізації способом охолодження розчину, називаються кристалізаторами. Вони відзначаються простотою конструкції й широко використовуються в промисловості. На рис. 10.1.26 зображено кристалізатор коритного типу з мішалкою 1 і штучним охолодженням, за допомогою охолоджувальних елементів 2.

Охолоджувальний агент (холодна вода або розсіл) надходить у 7-9 вставлені перпендикулярно до осі апарата елементи і охолоджує розчин. Мішалка прискорює охолодження розчину, перешкоджає осіданню кристалів на дно апарата, внаслідок чого зменшується кількість центрів кристалізації. Після кристалізатора розчин, що кристалізується, спрямовується на центрифугу, де відокремлюються кристали від маточного розчину. Для проведення безперервного процесу і збільшення часу кристалізації використовують послідовне сполучення кількох кристалізаторів у батарею.

Прикладом кристалізатора з вилученням частини розчинника є вакуум-апарат періодичної дії з паровим нагріванням (рис. 10.1.27). Він має цільнозварений корпус 4, всередині якого підвішені гріюча камера 2 і вловлювач - сепаратор 3. У нижній частині апарата для спуску розчину встановлено клапанний пристрій 6 з гідравлічним приводом. Гріюча камера складається з двох конічних трубних решіток 1, в які завальцьовані кип'ятильні

труби 5, а до центрів решіток приварено циркуляційну трубу 7. Циркуляція розчину здійснюється таким чином: по циркуляційній трубі та кільцевому просторі, утвореному корпусом апарата і поверхнею нагріву, рідина опускається вниз, а після цього по кип'ятильних трубках парорідинна суміш піднімається вгору.

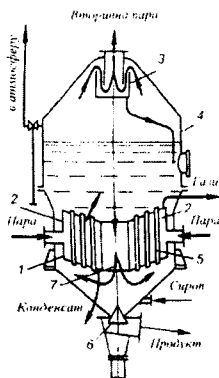


Рис. 10.1.27. Вакуум-апарат періодичної дії з паровим нагріванням

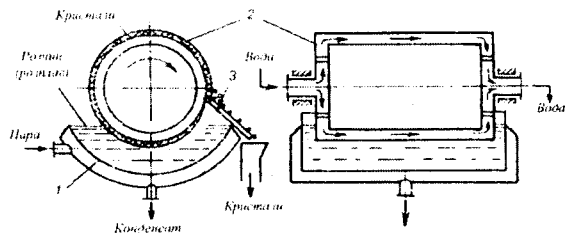


Рис. 10.1.28. Схема вальцевого кристалізатора

Вторинна пара через сепаратор 3 поступає в конденсатор. Згушений розчин вивантажують з вакуум-випарного апарату в кристалізатор з мішалкою для завершення процесу кристалізації.

Для одержання кристалізованих жирів з метою їхнього фракціонування та облагородження використовують апарати з паровим нагрівом і водяним охолодженням. Одновальцевий кристалізатор для розплавів зображено на рис. 10.1.28. Він складається з барабана 2 з подвійними стінками, який обертається в цапфах. Нижню частину барабана занурено в корито 1, яке обладнано оболонкою для парового обігріву. Барабан поволі обертається і своєю нижньою частиною захоплює розплав, який утворює корку кристалів на стінці.

## Процес сушіння у виробництві лікарських засобів

### Характеристика процесу сушіння та класифікація обладнання

Процес сушіння широко застосовують у фармацевтичній та біотехнологічній технологіях для видалення вологи з різноманітних вологих матеріалів (твердих, пастоподібних, рідких) на різних стадіях їх переробки (сировина, напівфабрикати, готові вироби).

Сушінням називається процес вилучення вологи з твердих, вологих, пастоподібних та рідких матеріалів шляхом її випаровування та відводу пари,

що утворюється. При цьому волога з матеріалу видаляється шляхом дифузії з внутрішніх шарів до поверхні та випаровуванням її в навколишнє середовище. Сушіння є заключним етапом обробки матеріалів, для наступного транспортування і зберігання.

Видалення вологи з матеріалу є складним технологічним процесом і часто лімітуючою стадією виробництва. Видалення вологи з матеріалів дозволяє зменшити енергетичні затрати на транспортування, надати їм певні властивості, а також зменшити корозію апаратури при зберіганні та переробці.

Вологу з матеріалів можна видалити різними способами: механічним, фізико-хімічним і тепловим. При механічному способі вологу відтискають у пресах або в центрифугах. При цьому кінцева вологість не менше 20-30%. Фізико-хімічний спосіб ґрунтується на застосуванні вологовідбірних засобів і використовується переважно в лабораторній практиці. При тепловому способі волога випаровується з поверхні матеріалу і дифундує в навколишнє повітря, яке видаляє вологу з сушарки. Із цього випливає, що сушінням називають тепловий процес, при якому вологість зменшується до 0,2-0,5%.

Сушіння є сумішним тепловим і дифузійним процесом, при якому волога дифундує з середніх шарів матеріалу до його поверхні, переходить крізь пограничний шар, а потім дифундує всередину газової фази, вносячи при цьому з матеріалу значну кількість теплової енергії. Швидкість процесу сушіння визначається швидкістю дифузії вологи з середини матеріалу в навколишнє середовище. Це супроводжується переміщенням тепла з середини матеріалу через його поверхню в навколишнє середовище. Таким чином процес сушіння об'єднує в собі тепло- та масообмінний процеси.

Розрізняють природне і штучне сушіння. Природне відбувається на відкритому повітрі без штучного нагрівання і відведення сушильного агента (повітря). Прикладом природного сушіння може бути сушіння солі у відкритих морських водоймищах. Цей спосіб сушіння характеризується значною тривалістю, причому процес не регулюється, а одержуваний кінцевий матеріал ще досить вологий.

У фармацевтичній та біотехнологічній промисловості майже всюди застосовують штучне сушіння, тобто сушіння нагрітим сушильним агентом, який після поглинання ним вологи з матеріалу відводять за допомогою спеціальних витяжних пристроїв (вентиляторів). Для більшості фармацевтичних виробництв сушіння є одним із основних процесів, мета якого - підвищення стійкості матеріалів під час зберігання, поліпшення якісних показників, консервування, зменшення маси з метою транспортування,

Методи сушіння вологих матеріалів розрізняються переважно способом підведення тепла й зумовлені фізико-хімічними властивостями цих матеріалів, а також формою їх зв'язку з вологою.

За способом підведення тепла до матеріалу, що висушується, розрізняють сушарки *конвективні*, *контактні* та *спеціальні*. Найпоширенішим є метод

конвективного сушіння, що характеризується безпосереднім контактом матеріалу з потоком нагрітого теплоносія, тобто сушильний агент, попередньо нагрітий у калорифері, рухається у сушарці і контактує з матеріалом, що висушується. При цьому сушарка може працювати за основною схемою, тобто з одноразовим нагріванням сушильного агента або з частковим підігрівом повітря в сушильній камері або іншими варіантами, у яких температура сушіння буде нижче, ніж у сушарці за основною схемою, при однаковій загальній витраті тепла. Контактне сушіння здійснюється шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розділяючу їх стінку. На даний час широко застосовуються спеціальні види сушіння (радіаційне, діелектричне, сублимаційне). Проте, конвективне сушіння й надалі займає провідне місце серед інших видів.

Крім за способом підведення теплоносія, сушарки можна також класифікувати за:

- режимом роботи - періодичної, безперервної і циклічної дії;
- видом сушильного агента - повітряні, із застосуванням перегрітої пари і рідких середовищ;
- станом матеріалу, який висушується - кусковий, зернистий (дисперсний), пиловидний, пастоподібний, рідкий (розчин);
- станом шару матеріалу – з нерухомим шаром (щільний) і шаром матеріалу, який рухається (розрихлений, киплячий, фонтануючий);
- тиском у сушильній камері - атмосферні, вакуумні, глибоковакуумні, під надлишковим тиском;
- напрямком руху сушильного агента відносно матеріалу - прямооточійні, протиточійні, перехресноточійні;
- типом конструкції сушильної камери - барабанні, камерні, стрічкові, тунельні, трубчасті, розпилювальні, пневматичні, вальцеві та ін.;
- способом створення циркуляції сушильного агента - з природною і вимушеною циркуляцією.

З метою одержання високоякісного сухого продукту, інтенсифікації сушіння, зменшення собівартості об'єкту та енергетичних затрат на процес розроблені і впроваджені у виробництво різноманітні конструкції конвективних сушильних агрегатів. Класифікація застосування сушильних апаратів в залежності від основних властивостей матеріалів, що сушаться наведена в табл. 10.2.1.

Таблиця 10.2.1

## Класифікація типів конвективних сушарок.

Метод сушіння	Тип сушарки		Матеріал	
З нерухомим шаром матеріалу	Камерні полицні періодичної дії		Таблеткова маса, паста, дисперсні й волокнисті матеріали	
З рухомим щільним шаром матеріалу (неперервної дії)	Тунельні	Стрічкові	Бавовна, целюлоза, фітопрепарати	
		Петлеві	Пасти	
		Вагонеточні	Поліматеріали, пасти, дисперсні й волокнисті матеріали	
		Конвеєрні	Металічні вироби	
	Турбінні	Сипкі, кускові, пастоподібні матеріали		
	Тарільчасті	Піловидні матеріали		
	Шахтні	Сипкі, кускові, зернисті матеріали		
З перемішуванням матеріалу	Валкові	Пастоподібні, важкосипкі матеріали		
	Барабанні	Дисперсні матеріали		
Віброкиплячий шар	Трубчасті		Вугілля, кристалічний матеріал	
	Горизонтальні лоткові та вертикальні вібросушарки		Дисперсні сипкі матеріали	
Зі зваженим шаром	Псевдозріджений шар (однокамерні або двокамерні сушарки)		Дисперсні матеріали ( $d_p = 0.5-5$ мм)	
	Фонтануючий шар (з решіткою або без решітки)		Дисперсні матеріали ( $d_p < 0.5$ мм), волокнисті, рідкі та пастоподібні матеріали	
	Пневно-транспорт	Одно- та багато ступінчаті пневмотруби		Дисперсні матеріали ( $d_p < 5$ мм)
		Спиральні пневматичні сушарки		
	Закручені потоки	Циклонні		
		Вихорові		
Спирально-вихорові				
З розпиленням в потоці теплоносія	З відцентровим розпилюванням (дисківі розпилювачі)		Рідкі матеріали	
	З форсуночним розпилюванням	Гідравлічні (механічні) форсунки струменеві та відцентрові		Рідкі та пастоподібні матеріали
		Пневматичні форсунки		
	Акустичне			
	Ультразвукове			
	Електричне			
	Пульсаційне			

### Теоретичні основи сушіння

Більшість субстанцій, одержаних в промислових умовах, є вологими тілами, що містять велику кількість води. Вона входить до складу рослинних і тваринних тканин. Вологий матеріал складається з трьох фаз: твердий скелет (сухі речовини), рідина (вода) і газ (повітря, водяна пара). Більша частина продуктів є пористими тілами, у порах яких знаходиться повітря або водяна пара. Оскільки маса газової фази або повітря порівняно з масою твердого скелету і рідини надто мала, то нею нехтують, вважаючи, що вологі матеріали складаються з абсолютно сухої твердої речовини та вологи.

Процес вилучення вологи з продукту супроводжується порушенням зв'язку вологи з матеріалом, на що витрачається енергія. Від характеру цього зв'язку залежать режими сушіння, що забезпечують найбільш ефективне вилучення вологи.

#### Параметри вологого повітря

При конвективному сушінні повітря одночасно виконує роль тепло- і вологоносія і складається з суміші абсолютно сухого повітря та водяної пари. Тому необхідно знати основні параметри, якими можна описувати зміни його стану при сушінні.

1) Абсолютна вологість повітря - це кількість водяної пари в кг, яка знаходиться в  $1\text{ м}^3$  вологого повітря. Фактично це густина вологої пари.

$$\rho_n = \frac{m_{\text{парі}}}{V}$$

2) Відносна вологість (ступінь насичення повітря вологою) –  $\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_n^*}$ .

Це відношення кількості пари, що є в повітрі при даних умовах, до максимальної кількості пари, яка може бути в повітрі при тих самих умовах.

оскільки  $\rho_n = \frac{M_n \cdot p_n}{RT}$  і  $\rho_n^* = \frac{M_n \cdot p_n^*}{RT}$  то  $\varphi = \frac{p_n}{p_n^*}$

$M_n$  – мольна маса пари;  $p_n$  – тиск пари;  $p_n^*$  – тиск пари в умовах насичення

3) Вологовміст – це кількість водяних парів, що знаходяться в повітрі по

відношенню до  $1\text{ кг}$  сухого повітря;  $x \left[ \frac{\text{кг. вологи}}{\text{кг. сух. повітря}} \right] \quad x = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n}$

де  $B$  – загальний тиск в системі.

$t \uparrow \varphi \downarrow$  - закономірність буде спостерігатись до  $t = 100^\circ\text{C}$



Якщо  $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$ , то  $p_n = B$  і тоді  $\varphi = \frac{p_n}{B}$  і при подальшому зростанні температури  $\varphi = \text{const}$  (при зростанні температури більше  $100^\circ\text{C}$   $\varphi$  не залежить від температури).

$$x = 0,622 \frac{\varphi \cdot B}{B - \varphi \cdot B} = 0,622 \frac{\varphi}{1 - \varphi}$$

4) Ентальпія (тепловміст віднесений до 1 кг сухого повітря)

$$I = \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{кг.сух.повітря}} \right]$$

при розрахунках  $I = C_{с.п.} \cdot t^\circ + i_n \cdot x$ ,

де  $C_{с.п.}$  – середня питома теплоємність абсолютно сухого повітря,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг.сух.повітря}^\circ\text{C}}$ ;

$x$  – вологовміст,  $\frac{\text{кг.вологи}}{\text{кг.сух.повітря}}$ ;  $i_n$  – ентальпія водяної пари,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

5) Температура точки роси ( $t_{т.р.}$ ). Під час охолодження вологого повітря з постійним вологовмістом  $x$  ступінь насичення повітря вологою може досягти 100% ( $\varphi = 100\%$ ) – повітря стає повністю насиченим. При подальшому зниженні температури пара, що перебуває у повітрі, конденсується і вологовміст його зменшується. Температуру, при якій повітря з постійним вологовмістом, охолоджуючись, стає насиченим, називають температурою точки роси.

6) Температура мокрого термометра ( $t_m$ ). Якщо під час випаровування води у повітря будуть дотримуватися адиабатні умови, тобто випаровування відбуватиметься лише за рахунок теплоти повітря, то температура повітря зменшуватиметься при постійному тепловмісті (ентальпії) і в стані повного насичення його вологою дорівнюватиме температурі випаровуваної води. Цю температуру називають температурою мокрого термометра.

**Статика сушіння** вивчає взаємодію вологого матеріалу з навколишнім середовищем. Вона встановлює зв'язок між початковими й кінцевими параметрами матеріалу і сушильного агента, що беруть участь у цьому процесі. Цей зв'язок виражають у вигляді рівнянь матеріального і теплового балансів. Із статики сушіння визначають масу випареної вологи, витрати сушильного агента і теплоти.

#### *Рівновага в процесах сушіння*

Якщо матеріал знаходиться в контакт з вологим повітрям, тоді можливі два процеси: 1) сушіння (десорбція вологи з матеріалу) - парціальний тиск пари над поверхнею матеріалу  $p_m$  перевищує її парціальний тиск в повітрі або газі

$p_n$ , тобто при  $p_m > p_n$ ; 2) зволоження (сорбція вологи матеріалом) при  $p_m < p_n$ .

В процесі сушіння величина  $p_m$  зменшується та наближується до границі  $p_m = p_n$ . За таких умов настає стан *динамічної рівноваги*, якому відповідає гранична вологість матеріалу, що носить назву *рівноважна вологість*  $w_p$ .

Рівноважна вологість залежить від парціального тиску водяної пари над поверхнею матеріалу  $p_n$  або пропорційної до неї величини відносної вологості повітря  $\varphi$  та визначається дослідним шляхом.

Дослід проводять наступним чином, наважка матеріалу, що сушиться занурюється в середовище з різною відотною вологістю  $\varphi$  при  $t = const$  та періодично зважується. Вологість матеріалу при досягненні ним постійної маси стає рівноважною. Зазвичай наважки доводять до постійної маси в ексікаторі з розчинами сірчаної кислоти різної концентрації та отримують залежність  $w_p = f(\varphi)$  (рис. 10.2.1).

Залежність  $w_p = f(\varphi)$  встановлюється при сталій температурі, тобто є ізотермою. Крива 1 на рис.1 отримана при випаровуванні (десорбції) вологи з матеріалу і називається *ізотермою десорбції*. Вище розташована крива 2 отримана при процесі зволоження та називається – *ізотермою сорбції*.

Розходження кривих 1 та 2 (гістерезис) вказує на те, що для досягнення тої самої рівноважної вологості повітря величина  $\varphi$  при зволоженні матеріалу має бути більшою, ніж при його сушінні. Причиною гістерезису є попадання повітря в капіляри матеріалу, що сушиться та його сорбція стінками капілярів. В результаті цього при подальшому зволоженні матеріалу зменшується його змочуваність вологою та для витіснення повітря з капілярів необхідний більший парціальний тиск водяної пари або більша величина  $\varphi$  (ізотерма сорбції 2 розташована вище ізотерми десорбції 1).

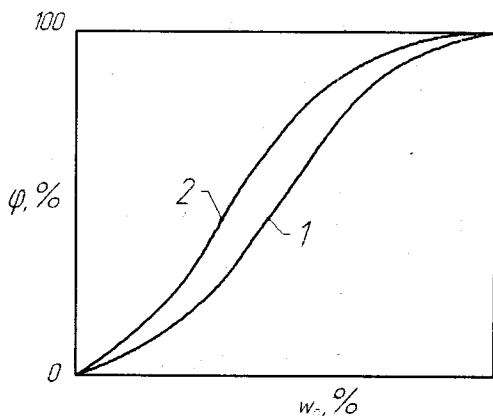


Рис. 10.2.1. Залежність рівноважної вологості матеріалу від відносної вологості повітря

1 – ізотерма десорбції; 2 – ізотерма сорбції.

#### Форми зв'язку вологи з матеріалом

На сьогодні прийнято класифікацію форм зв'язку вологи з матеріалом, в основу якої покладено енергетичний принцип, тобто оцінюється кількість енергії, необхідної для вилучення вологи з даного матеріалу. Відповідно з цією класифікацією форми зв'язків поділяють на три великі групи: хімічну, фізико-хімічну та механічну.

Хімічно зв'язана волога - це волога, що знаходиться в хімічному сполученні з матеріалом і при сушінні не видаляється. Хімічно зв'язана волога має найбільшу енергію зв'язку з матеріалом і може бути виділена з нього при нагріванні до високих температур або в результаті проведення хімічних реакцій.

В процесі сушіння, як правило, видаляється волога зв'язана з матеріалом фізико-хімічно і фізико-механічно.

Фізико-хімічний зв'язок включає такі форми: адсорбційну, осмотичну та структурну. Адсорбційно зв'язана волога утримується завдяки адсорбції шарів молекул на внутрішній поверхні мікропор твердого матеріалу. Осмотично зв'язана волога знаходиться всередині пор і каналів твердого тіла; вона відділена напівпроникними мембранами і вміщується в твердих тілах рослинної та колоїдної будови. Енергія зв'язку адсорбційно зв'язаної вологи значно перевищує енергію зв'язку осмотичної вологи.

Для технологічних розрахунків вологість в матеріалах розділяють на два види:

- 1) на вільну вологу;
- 2) на зв'язану вологу.

Вільна волога випаровується з матеріалу зі швидкістю випаровування води з вільної поверхні. У випадку наявності в матеріалі вільної вологи  $p_m = p_n$ .

$p_n$  – парціальний тиск насиченої пари води над її вільною поверхнею.

$p_m$  – парціальний тиск пари над поверхнею матеріалу

При наявності зв'язаної вологи в матеріалі швидкість її випаровування з нього менше швидкості випаровування її з вільної поверхні води, тобто  $p_m < p_n$ .

Гігроскопічна точка розділяє область вільної і зв'язаної вологості.

Структурна волога потрапляє всередину клітин гелю під час його утворення і міститься в клітинах рослинних тканин.

Механічна волога міститься в капілярах тіла - капілярна волога і на його поверхні (поверхнева або волога змочування). Механічно зв'язана волога (інколи її називають вільною або зовнішньою) має надто неміцний зв'язок з матеріалом і легко може бути видалена з нього механічним способом (наприклад, пресуванням) або випаровуванням (так само, як вона випаровується з поверхні води).

Залежно від переважної форми зв'язку вологи з матеріалом усі тверді харчові продукти прийнято розподіляти на три групи: капілярно-пористі, колоїдні та капілярно-пористі колоїдні.

У капілярно-пористих матеріалах волога зв'язана механічно капілярною силою. Під час сушіння вони робляться крихкими. У процесі сушіння мало стискуються. Під час зволоження добре поглинають будь-яку рідину.

До колоїдних відносяться продукти, в яких переважає адсорбційно і осмотично зв'язана волога (наприклад, желатин). Під час сушіння вони не стають крихкими; від висушування сильно стискуються, зберігаючи еластичність. Під час зволоження колоїдні матеріали вбирають тільки близькі за полярністю рідини.

Капілярно-пористі колоїдні матеріали мають різні форми зв'язку вологи. Під час сушіння цих матеріалів спостерігається усадка, а під час зволоження — сильне набухання. У результаті сушіння більшість з продуктів цієї групи набувають крихкості.

*Вологість матеріалу та зміна його стану під час сушіння*

Властивості вологих матеріалів характеризуються рядом параметрів, у тому числі температурою, вологістю, теплоємністю, теплопровідністю та ін.

Зазвичай волога в матеріалі розподілена нерівномірно. Тому розрізняють середню концентрацію вологи в матеріалі або концентрацію в даній точці.

Вологість матеріалу може бути розрахована по відношенню до його загальної кількості  $G$  або по відношенню до кількості абсолютно сухої речовини, що в ньому знаходиться  $G_c$ .

$G$  – загальна маса вологого матеріалу складається з маси абсолютно сухого матеріалу  $G_c$  та маси води в ньому  $G_g$

$$G = G_c + G_g$$

Вологість, віднесена до загальної маси матеріалу ( $w$  %):

$$w = \frac{G_g}{G} \cdot 100\%$$

Вологість, віднесена до кількості абсолютно сухого матеріалу ( $w^c$  %):

$$w^c = \frac{G_g}{G_c} \cdot 100\%$$

Кількість абсолютно сухого матеріалу не змінюється в процесі сушіння, тому для розрахунків найчастіше користуються величиною  $w^c$ .

Вологості  $w^c$  та  $w$  зв'язані між собою залежностями:

$$w^c = \frac{w}{100 - w} \cdot 100\%$$

$$w = \frac{w^c}{100 + w^c} \cdot 100\%$$

Розглянемо зміну стану матеріалу в процесі сушіння (рис. 10.2.2). При зміні вологості від  $w_1$  до  $w_2$  матеріал містить вільну вологу ( $p_w = p_n$ ) та знаходиться у вологому стані. При зміні вологості від  $w_1$  до  $w_p$  матеріал містить зв'язану вологу ( $p_w < p_n$ ) та знаходиться в гігроскопічному стані. Точка  $A$  є гігроскопічною точкою, а вологість, що їй відповідає – гігроскопічна вологість  $w_f$ . Як і по всій області вологого стану, в точці  $A$ , що відповідає  $\varphi = 100\%$ ,  $p_w = p_n$ .

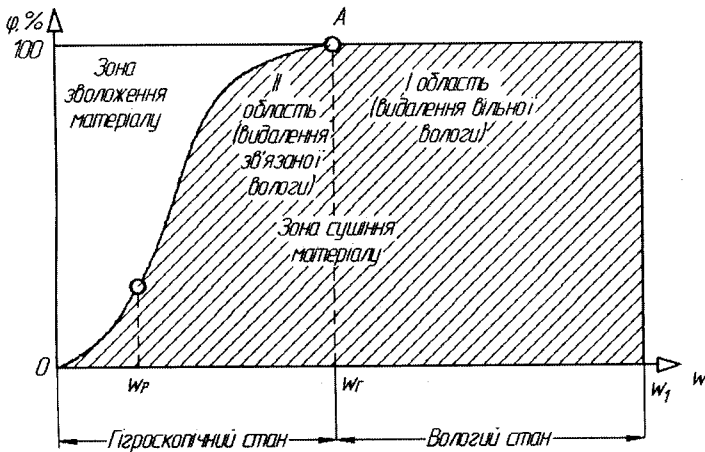


Рис. 10.2.2. Зміна вологості матеріалу в процесі сушіння

Гігроскопічна вологість  $w_g$  знаходиться на межі вільної та зв'язаної вологи в матеріалі. Вільна волога буде видалятися з матеріалу при будь-якій відносній вологості навколишнього середовища меншій 100 %. Видалення зв'язаної вологи можливе лише при такій відносній вологості довікля, якій відповідає вологість матеріалу, більша рівноважної. На рис. 10.2.2. вся область, де матеріал може сушитися, заштрихована. При гігроскопічному стані матеріалу, що відповідає області над кривою рівноважної вологості, можливе тільки зволоження матеріалу, а не його сушіння.

**Кінетика сушіння** простежує зміни основних параметрів вологого матеріалу і вологого повітря в часі. Її характеризують графіками трьох видів: криві сушіння, криві швидкості сушіння та температурні криві.

**Швидкість та періоди сушіння.** Процес сушіння протікає зі швидкістю, що залежить від форми зв'язку вологи з матеріалом та механізму переміщення в ньому вологи. Кінетика сушіння характеризується зміною в часі середньої вологості матеріалу, віднесеної до кількості абсолютно сухого матеріалу  $w^c$ . Залежність між вологістю матеріалу та часом відображається *кривою сушіння* (рис. 10.2.3). Для кожного конкретного вологого матеріалу крива сушіння будується шляхом зважування зразка, який поміщено в лабораторну сушарку, через визначені проміжки часу або автоматично протягом усього процесу.

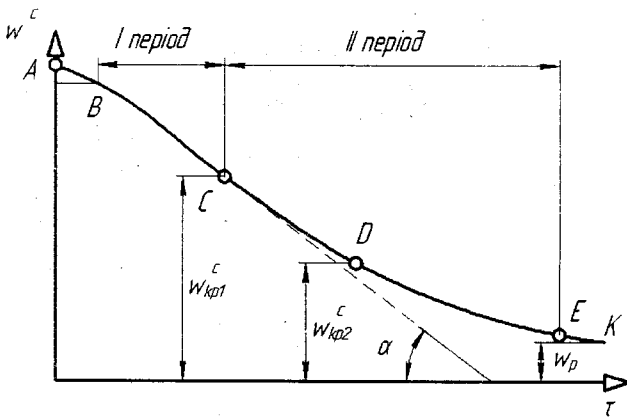


Рис. 10.2.3. Крива сушіння матеріалу

Загалом крива сушіння складається з декількох ділянок. Що відповідають різним періодам сушіння. Як видно з рис. 10.2.3 після деякого проміжку часу, *періоду прогріву матеріалу*, протягом якого вологість зменшується незначно (крива AB), настає *період постійної швидкості сушіння (I період)*. Тут вологість матеріалу інтенсивно зменшується прямолінійним законом (пряма BC). Таке зменшення вологості спостерігається до досягнення *першої критичної вологості*  $w^c_{кр1}$ , після чого починається *період спадної швидкості сушіння (II період)*. В цьому періоді зменшення вологості матеріалу виражається деякою кривою (крива CE), яка загалом складається з двох ділянок з різною кривизною (відрізок CD та DE). Точка перегину D відповідає *другій критичній вологості*  $w^c_{кр2}$ . Наприкінці другого періоду сушіння вологість матеріалу асимптотично наближується до рівноважної. Досягнення рівноважної вологості  $w_p$  означає повне припинення подальшого випаровування вологи з матеріалу (точка K).

*Швидкість сушіння* визначається зменшенням вологості матеріалу  $dw^c$  за деякий нескінченно малий проміжок часу  $\tau$ , тобто виражається відношенням:

$$v = \frac{dw^c}{d\tau}$$

Вологість матеріалу  $w^c$  переважно виражається у %, проте за змістом має виражатися в кг/кг (кг вологи на кг сухого матеріалу). Тому швидкість сушіння виражається в 1/с.

Швидкість сушіння може бути визначена за допомогою кривої сушіння шляхом графічного диференціювання. Для матеріалу даної вологості швидкість

сушіння буде визначатися тангенсом кута нахилу дотичної, проведеної до даної кривої, що відповідає вологості матеріалу. Для  $I$  періоду швидкість сушіння буде відповідати  $tg\alpha = const$  (рис. 10.2.3). В кожному конкретному випадку вигляд функції  $w^c = f(\tau)$  може відрізнятися від наведеної на рис. 10.2.3, в залежності від форми та структури матеріалу, а також виду зв'язку з ним вологи. Дані про швидкість сушіння, що отримані за допомогою кривих сушіння, зображують у вигляді *кривих швидкості сушіння*, які будують в координатах швидкість сушіння – вологість матеріалу.

На рис. 10.2.4. наведена крива швидкості сушіння, що відповідає кривій сушіння, наведений на рис. 3. Горизонтальний відрізок  $BC$  відповідає періоду постійної швидкості ( $I$  період), а відрізок  $CE$  – періоду спадної швидкості ( $II$  період). Величина  $N$  – швидкість сушіння матеріалу в першому періоді. В першому періоді відбувається інтенсивне поверхневе випаровування вільної вологи. В точці  $C$  (при першій критичній вологості  $w_{kp1}^c$ ) вологість на поверхні матеріалу дорівнює гігроскопічній. З цього моменту починається випаровування зв'язаної вологи. Точка  $D$  (друга критична вологість  $w_{kp2}^c$ ) відповідає досягненню рівноважної вологості на поверхні матеріалу (в середині матеріалу вологість перевищує рівноважну). Починаючи з цього моменту і до моменту встановлення рівноважної вологості по всій товщині матеріалу, швидкість сушіння визначається швидкістю внутрішньої дифузії вологи з глибини матеріалу до його поверхні. Під час висихання, частина поверхні, що підлягає випаровуванню вологи на зовні стає меншою, тому швидкість сушіння зменшується непропорційно зменшенню вологості  $w^c$  матеріалу. Криві сушіння в другому періоді можуть бути досить різноманітні (рис. 10.2.4). Крива 3 є типовою для капілярно-пористих матеріалів складної структури, для яких верхня ділянка кривої відповідає видаленню капілярної вологи, а нижня – адсорбційної. Лінії 1, 2 характерні для тонколистових матеріалів, з великою питомою поверхнею випаровування вологи (папір, тканина). Також лінія 2 може відповідати сушінню колоїдних тіл та дрібнодисперсних порошків (крохмаль, деякі фармацевтичні порошкоподібні препарати  $d_p < 0.5 \mu m$ ).



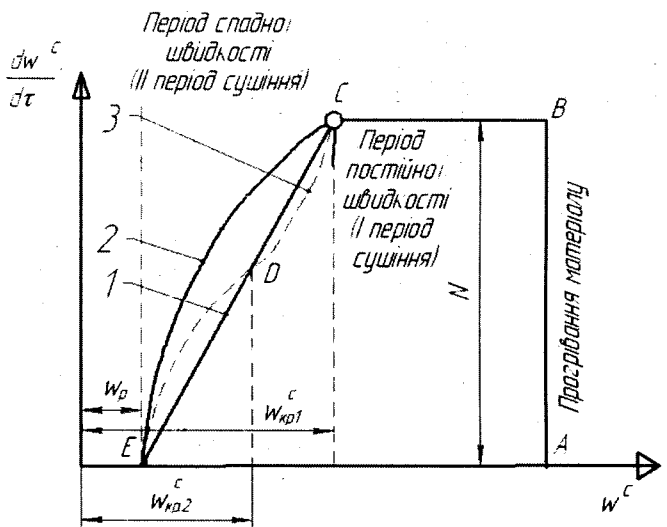


Рис. 10.2.4. Крива швидкості сушіння

### Зміна температури матеріалу в процесі сушіння

Для аналізу процесу сушіння також важливо знати характер зміни температури матеріалу  $\theta$  в залежності від його вологості  $w^c$  (рис. 10.2.5), тому що із зміною  $\theta$  можливі зміни властивостей матеріалу.

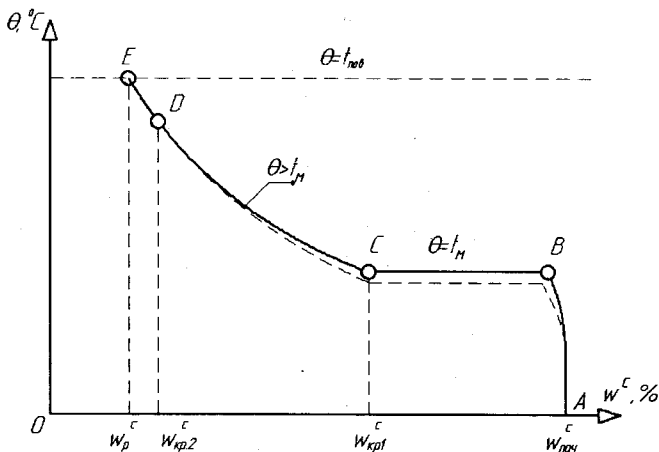


Рис. 10.2.5. Температурна крива матеріалу

Протягом короткотривалого періоду прогріву матеріалу (AB) його температура швидко збільшується та досягає сталої величини – температури

мокрого термометра  $t_m$ . В період постійної швидкості сушіння (*I період*) все тепло, що підводиться до матеріалу, затрачається на інтенсивне поверхнєве випаровування вологи і температура матеріалу лишається сталою, рівною температурі випаровування рідини з вільної поверхні ( $\theta = t_m$ ). В період спадної швидкості (*II період*) випаровування вологи з поверхні матеріалу сповільнюється та його температура починає підвищуватися ( $\theta > t_m$ ). Коли вологість матеріалу зменшується до рівноважної та швидкість випаровування вологи зменшується до нуля, температура матеріалу досягає найбільшого значення – стає рівною температурі навколишнього середовища ( $\theta = t_{\text{пов}}$ ).

Температурна крива на рис. 10.2.5 (суцільна лінія) характерна для матеріалів, що висушуються в тонких шарах. Для матеріалів з більшою висотою шару, при конвективному сушінні температура у внутрішній частині протягом всього процесу нижча, ніж на поверхні (пунктирна лінія). Під час сушіння тонких пластин таке «запізнення» температури є значно слабшим і може виникати лише в *II періоді*, в межах від  $W_{\text{кр}1}^c$  до  $W_{\text{кр}2}^c$ , коли відбувається заглиблення поверхні випаровування матеріалу.

#### *Інтенсивність випаровування вологи*

Швидкість сушіння визначає один із важливих технологічних параметрів – інтенсивність випаровування вологи з матеріалу  $m$ . Інтенсивність випаровування – визначається кількістю вологи  $W$ , що випаровується з одиниці поверхні  $F$  за одиницю часу  $\tau$

$$m = \frac{W}{F \cdot \tau} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right] \quad (10.2.1)$$

Інтенсивність випаровування вологи пов'язана з механізмом тепло- і масообміну вологого матеріалу з навколишнім середовищем. Цей механізм складний і включає в себе переміщення вологи з глибини до поверхні матеріалу і переміщення вологи у вигляді пари у навколишнє середовище.

Кожен з цих процесів характеризується власними закономірностями і протікає з різною швидкістю у різні періоди.

#### *Випаровування вологи з поверхні матеріалу*

Цей процес відбувається внаслідок дифузії пари крізь пограничний шар повітря біля поверхні матеріалу (зовнішня дифузія). Таким чином здійснюється перенесення до 90 % всієї вологи; це обумовлюється рушійною силою – різницею концентрацій або різницею парціальних тисків пари у поверхні матеріалу  $p_m$  та в навколишньому середовищі  $p_n$ . Разом з дифузійним потоком перенесення деякої кількості вологи та тепла відбувається за рахунок руху

молекул пари в пограничному шарі (мольне перенесення). Також перепад температур в пограничному шарі прискорює переміщення молекул пари (термодифузія). В умовах конвективного сушіння, за відносно низьких температур, перенесення вологи за рахунок термодифузії досить мале.

В період постійної швидкості вологість матеріалу більша за гігроскопічну, пара біля його поверхні є насиченою ( $p_m = p_n$ ) та відповідає температурі мокрого термометра  $t_n$ . В цей період відбувається інтенсивне поступлення вологи з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні. Швидкість поверхневого випаровування вологи з матеріалу може дорівнювати швидкості випаровування рідини з вільної поверхні рідини, та визначена згідно закону Дальтона. Тому рівняння вологовіддачі з поверхні матеріалу має вигляд:

$$m = \beta(p_n - p_m) \frac{760}{B} \quad (10.2.2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі (вологовіддачі);  $p_n$  - парціальний тиск в повітрі, мм.рт.ст;  $p_m$  – тиск насиченої пари води над її вільною поверхнею мм.рт.ст;  $B$  – барометричний тиск, мм.рт.ст

Виразимо коефіцієнт масовіддачі через дифузійний критерій Нуссельта:

$$m = \frac{Nu' \cdot D_n}{L} (p_n - p_m) \frac{760}{B} \quad (10.2.3)$$

де  $D_n$  - коефіцієнт вологопровідності (для вологи, що знаходиться в пароподібному стані) – аналог коефіцієнту теплопровідності (знаходиться дослідним шляхом);  $L$  – визначальний геометричний розмір за напрямом руху повітря вздовж поверхні випаровування вологи з матеріалу.

#### *Переміщення вологи в середині матеріалу*

При випаровуванні вологи з поверхні матеріалу в його середині виникає градієнт вологості, що забезпечує подальше переміщення вологи з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні (внутрішня дифузія вологи). В I період сушіння перепад вологості в середині матеріалу такий великий, що лімітуючий вплив на швидкість сушіння має швидкість поверхневого випаровування (зовнішня дифузія) Проте, після того, як вологість на поверхні знижується до гігроскопічної та продовжує зменшуватися, настає II період сушіння і визначальний вплив на швидкість процесу має внутрішня дифузія вологи.

В I періоді сушіння волога в середині матеріалу переміщується у вигляді рідини (капілярна та осматично зв'язана волога). На початку другого періоду починається нерівномірне «сідання» матеріалу. На стадії рівномірно спадної швидкості спостерігаються місцеві заглиблення поверхні випаровування та починається випаровування в середині матеріалу. При цьому капілярна волога

та деяка частина адсорбційно зв'язаної вологи переміщується в середині матеріалу вже у вигляді пари.

Далі, поверхневий шар матеріалу поступово повністю висихає, зовнішня поверхня випаровування стає меншою геометричної поверхні матеріалу та, відповідно, збільшується опір внутрішньої дифузії вологи. Тому на стадії нерівномірно спадної швидкості найбільш міцно зв'язана з матеріалом адсорбційна волога переміщується в середині його тільки у вигляді пари.

Явище перенесення вологи в середині матеріалу носить назву – вологопровідність. Інтенсивність або густина потоку вологи, що переміщується в середині матеріалу, пропорційна градієнту концентрації вологи ( $\frac{\partial C}{\partial n}$ ):

$$m = -k_B \cdot \frac{\partial C}{\partial n} \quad (10.2.4)$$

Знак мінус в правій частині виразу показує, що волога рухається від шару з більшою до шару з меншою концентрацією вологи, тобто в напрямі, протилежному градієнту концентрації.

Концентрація вологи дорівнює добутку вологості матеріалу  $w^c$  на густину абсолютно сухого матеріалу:

$$C = w^c \cdot \rho_c \quad (10.2.5)$$

Підставляючи рівняння (10.2.5) в рівняння (10.2.4) та враховуючи, що  $\rho_c$  є величиною сталою, отримаємо:

$$m = -k_B \cdot \rho_c \cdot \frac{\partial w^c}{\partial n} \quad (10.2.6)$$

Коефіцієнт  $k_B$  є коефіцієнтом вологопровідності. За фізичним змістом він являє собою коефіцієнт внутрішньої дифузії вологи в матеріалі та виражається в  $m^2/c$ . Коефіцієнт вологопровідності  $k_B$  є аналогом коефіцієнта температуропровідності в процесах теплопередачі. Величина коефіцієнту вологопровідності залежить від форми зв'язку волги з матеріалом, вологості матеріалу та температури сушіння, тобто є різною на різних стадіях процесу та може визначатися лише дослідним шляхом.

Цінність рівнянь (10.2.3) та (10.2.6) в тому, що вони дозволяють якісно оцінити вплив різноманітних факторів на перенесення вологи та правильно врахувати їх значення при інтенсифікації процесів сушіння та проектуванні сушарок. З аналізу цих рівнянь випливає, що такі зовнішні фактори, як збільшення температури та швидкості сушильного агента, зниження його відносної вологості та барометричного тиску мусять позитивно сприяти інтенсивності поверхневого випаровування та внутрішньої дифузії вологи в матеріалі при конвективному сушінні.

### Тривалість процесу сушіння

Якщо зробити припущення, що волога в матеріалі переміщується лише в одному напрямі (наприклад вздовж осі  $OX$ ) та коефіцієнт вологопровідності не залежить від вологості матеріалу ( $k_b = const$ ), тоді швидкість зменшення вологи матеріалу ( $\frac{\partial w^c}{\partial \tau}$ ) буде описуватися загальним диференціальним рівнянням вологообміну, яке буде мати вигляд:

$$\frac{\partial w^c}{\partial \tau} = k_b \cdot \frac{\partial^2 w^c}{\partial x^2} \quad (10.2.7)$$

Диференціальне рівняння (7) можливо розв'язати, знаючи закон розподілу вологості в матеріалі на початку сушіння (початкові умови) та вираз для густини потоку вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище (граничні умови). При заданих вказаних крайових умовах (для кожного з двох періодів сушіння) рівняння (10.2.7) може бути інтегровано.

В періоді постійної швидкості сушіння вологу можна вважати рівномірно розподілену по сеченню матеріалу. Тобто при  $\tau = 0$  величина  $w^c = const$ . Для цього періоду коефіцієнт вологопровідності  $k_b$  та інтенсивність випаровування вологи з поверхні матеріалу  $m$  також є сталими. Інтегруючи рівняння (10.2.7) для цих умов та замінюючи вологість  $w^c$ , виражену в  $кг/кг$  сухої речовини на вологість  $W$ , виражену у %, отримаємо вираз для швидкості сушіння в першому періоді:

$$N = -\frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{100 \cdot m}{G_c} F = \frac{w_1 - w_{kp1}}{\tau_{kp1}} \quad (10.2.8)$$

де  $m$  – інтенсивність сушіння, яка визначається за рівнянням (10.2.1),  $G_c$  – маса абсолютно сухого матеріалу,  $кг$ ;  $F$  – поверхня випаровування,  $м^2$ ;  $w_1$ ,  $w_{kp1}$  – початкова вологість та перша критична вологість матеріалу відповідно;  $\tau_{kp1}$  – тривалість сушіння за весь перший період від  $w_1$  до  $w_{kp1}$ ,  $с$ .

Отримане рівняння (10.2.8) є рівнянням прямої  $BC$  на кривій сушіння (рис. 10.2.3). З нього визначається час сушіння в першому періоді.

$$\tau_I = \tau_{kp1} = \frac{w_1 - w_{kp1}}{N} \quad (10.2.9)$$

Для періоду спадної швидкості розрахунок швидкості сушіння значно ускладнюється внаслідок складної та різноманітної конфігурації кривих швидкості сушіння (рис. 10.2.4). Тривалість сушіння в цьому періоді може бути визначена приблизно за допомогою коефіцієнту швидкості сушіння  $K_c$ .

При цьому рівняння швидкості сушіння в другому періоді може мати вигляд:

$$-\frac{dw}{d\tau} = K_c (w_{\text{кр}1} - w_p) \quad (10.2.10)$$

Коефіцієнт швидкості сушіння  $K_c$  залежить від природи матеріалу та від режиму процесу. Його також можна навести у вигляді:

$$K_c = \chi \cdot N \quad (10.2.11)$$

де  $\chi$  - відносний коефіцієнт сушіння, котрий у більшу міру, ніж  $N$  характеризує природу матеріалу, що сушиться;  $N$  - швидкість сушіння (в період постійної швидкості), котра у більшу міру, ніж  $\chi$  характеризує режим процесу сушіння.

Інтегруємо рівняння (10.2.10) з врахуванням рівняння (10.2.11) в межах від  $w_{\text{кр}1}$  до  $w_2$  (кінцева вологість, до якої необхідно сушити матеріал):

$$-\int_{w_{\text{кр}1}-w_p}^{w_2-w_p} \frac{dw}{(w_{\text{кр}1}-w_p)} = \chi \cdot N \int_0^{\tau} d\tau$$

В результаті інтегрування отримаємо рівняння для визначення тривалості другого періоду сушіння (час сушіння в другому періоді):

$$\tau_{II} = \frac{1}{\chi \cdot N} \ln \frac{w_{\text{кр}1} - w_p}{w_2 - w_p} \quad (10.2.12)$$

Проте рівняння (10.2.10) та (10.2.12) можна використовувати для розрахунку часу сушіння в другому періоді лише в тому випадку, коли залежність швидкості сушіння матеріалу в другому періоді від вологості матеріалу ( $\frac{dw^c}{d\tau} = f(w^c)$ ) описується *кривою 1* (рис. 10.2.4). Якщо залежність  $\frac{dw^c}{d\tau} = f(w^c)$  в другому періоді описується *кривою 2* то рівняння (10.2.10) перетворюється у рівняння (10.2.13):

$$-\frac{dw}{d\tau} = K_c (w_{\text{кр}1} - w_p)^n \quad (10.2.13)$$

При  $n > 1$  залежність  $\frac{dw^c}{d\tau} = f(w^c)$  в другому періоді описується *кривою 2* (рис. 10.2.4).

Відповідно для *кривої 2* рівняння (10.2.12) перетворюється у рівняння (10.2.14):

$$\tau'_{II} = \frac{1}{\chi \cdot N(1-n)} \left[ (w_{\text{кр}1} - w_p)^{1-n} - (w_2 - w_p)^{1-n} \right] \quad (10.2.14)$$

При  $n > 1 - \tau'_{II} > \tau_{II}$

При  $0 < n < 1 - \tau''_n < \tau_n$

У випадку, коли залежність  $\frac{dw^c}{d\tau} = f(w^c)$  в другому періоді описується кривою 3 (рис. 10.2.4), для точніших розрахунків вологість  $w_{кр1}^c$  замінюють зведеною критичною вологістю  $w_{кр.зв}^c$ , яку можливо одержати при проведенні прямої лінії замість кривої 3 швидкості сушіння так, щоб вона відтінала рівновеликі площі з обох боків між прямою та кривою. При цьому значення  $w_{кр.зв}^c$  може бути більшим або меншим за значення  $w_{кр1}^c$ .

У такому разі рівняння (10.2.12) для визначення часу сушіння в другому періоді можна записати у вигляді:

$$\tau''_n = \frac{1}{\chi \cdot N} \ln \frac{w_{кр.зв} - w_p}{w_2 - w_p} \quad (10.2.15)$$

Таким чином, якщо час сушіння матеріалу в першому періоді  $\tau_1$  розраховується згідно рівняння (10.2.9), то час сушіння матеріалу в другому періоді може розраховуватися у різні способи (рівняння 10.2.12, 10.2.14, 10.2.15) в залежності від характеру кривих 1 – 3 (рис. 10.2.4).

Загальний час сушіння  $\tau_{заг}$  матеріалу від початкової вологості  $w_1$  до кінцевої  $w_2$  є сумою часу сушіння матеріалу в першому періоді  $\tau_1$  та часу сушіння матеріалу в другому періоді ( $\tau_n$  або  $\tau''_n$  або  $\tau'''_n$ ).

### **Організація процесу сушіння у фармацевтичній та біотехнологічній промисловостях**

Правильно організований процес сушіння дозволяє зберегти або поліпшити властивості матеріалів. Так, сушіння таблеткового грануляту в контактних сушарках приводять до його спікання, зміни кольору, нерівномірного залишкового вологовмісту, погіршення сипучості, розкладу діючих речовин. Висушування в псевдозрідженому шарі зменшує більшість цих недоліків, а в розпилювальній сушарці усуває всі.

Якщо сушити препарати, що містять ферменти при 30 °С, то вони втрачають 33 % активності. При додаванні до ферментного осаду крохмалю інактивування усувається, а сублимаційне сушіння дозволяє отримати стабільний препарат. Таке спостерігається при виробництві термолабільних препаратів: антибіотиків, гормонів, вітамінів, вакцин, сироваток і препаратів крові. Для сушіння порошкоподібних і зернистих матеріалів застосовують

барабанні і стрічкові сушарки, а для дрібноподрібненого матеріалу - сушарку з киплячим (псевдозрідженим) шаром.

Сушарки періодичної дії мають низьку продуктивність, громісткі та у ряді випадків не задовольняють вимогам промисловості через великі витрати важкої фізичної праці, втрати готового продукту і забруднення виробничих приміщень. Тому, як правило, замість малопродуктивних сушарок періодичної дії раціональніше використовувати апарати безперервної дії, у яких досягається скорочення тривалості сушіння, поліпшується якість продукту, крім того, значно полегшується їх обслуговування. Машини періодичної дії доцільно використовувати на виробництвах невеликого масштабу з різноманітним асортиментом продукції.

При сушінні матеріалів необхідно правильно вибрати метод. Оптимальний режим при цьому визначається характеристикою і технологічними властивостями матеріалу. Так, якщо не враховувати вологість повітря при сушінні желатинових капсул в формах, то на них утворюються пори. Якщо при висушуванні капілярно-пористих тіл до них додати поверхнево-активні речовини, тоді процес сушіння прискорюється. При висушуванні порошкоподібних і зернистих матеріалів потрібно, щоб препарат мав добру сипучість, не злежувався, мав визначену дисперсність. Злежуваність порошків погіршує їхні технологічні властивості: порошки погано дозуються автоматично, потребують додаткової обробки - додавання допоміжних речовин. Доброї сипучості можна досягти при використанні розпилювальних сушарок.

Вибір раціонального режиму сушіння і способу її проведення може визначатися властивостями конкретного матеріалу, який необхідно висушити, умовами і задачами даного виробництва.

### ***Основні види сушильних апаратів та принцип їх роботи***

Вибір сушарок залежить від ряду факторів. До них відносяться, в першу чергу, властивості матеріалу, який сушиться, а саме:

- час сушіння;
- агрегатний стан;
- температура нагріву, яка допускається;
- вибухо - і пожежонебезпечність;
- токсичність, сідання, забруднення та ін;

Крім того, необхідно брати до уваги: вимоги до рівномірності сушіння; вимоги до системи пилловловлювання і т.п.



## Конвективні сушарки

Це найбільш поширений тип сушильних апаратів, що використовуються для сушіння самих різноманітних матеріалів в будь-якому вихідному стані. В якості сушильного агента тут можуть бути використані гаряче повітря, топковий газ, рідше - перегрітий водяний пар. У залежності від призначення використовують сушарки камерного, тунельного, стрічкового і барабанного типів.

**Камерні сушарки** (рис. 10.2.6) є апаратами періодичної дії, що працюють при атмосферному тиску. Як правило, камерні сушарки використовуються для сушіння відносно невеликих кількостей матеріалів, що вимагають тривалого (до декількох годин і більше) висушування для досягнення низького залишкового (кінцевого) вологовмісту. Їх використовують у малотонажних виробництвах при невисокій температурі сушіння, наприклад при сушінні таблеткової маси. Матеріал у цих сушарках сушиться на лотках (листах), встановлених на стелажах або вагонетках, що знаходяться всередині сушильної камери 1. На каркасі камери, між вагонетками 2, встановлені козирки 3, що поділяють простір камери на три, розташовані одна над одною зони, вздовж яких послідовно рухається гаряче повітря. Свіже повітря, нагріте у калорифері 4, подається вентилятором 7 вниз камери сушарки. Тут воно рухається, два рази змінюючи напрямок і двічі нагріваючись в проміжних калориферах 5 і 6. Частина відпрацьованого повітря за допомогою шибера 8 направляєється на змішування зі свіжим. У результаті сушарка працює з частковою рециркуляцією повітря і проміжним підігрівом, тобто за варіантом, який забезпечує низьку температуру і більш м'які умови сушіння.

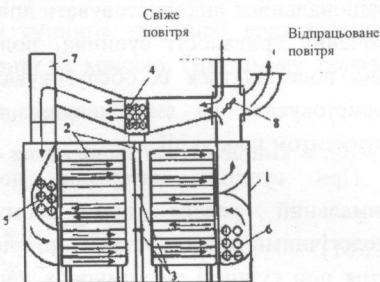
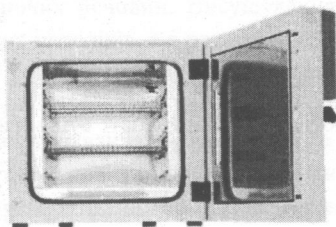
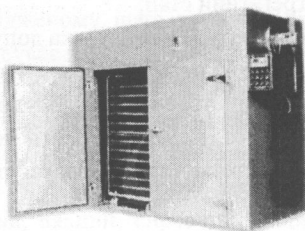


Рис. 10.2.6. Камерна сушарка:  
1 - сушильна камера, 2 - вагонетки,  
3 - козирки, 4, 5, 6 - калорифери,  
7 - вентилятор, 8 - шибер



Камерна сушарка Binder ED 23



Камерна сушарка CS-1

Камерні сушарки універсальні, прості, дозволяють легко організувати рециркуляцію сушильного агента або інший, більш складний, індивідуальний режим сушіння конкретного матеріалу. Однак, внаслідок сушіння в нерухомому товстому шарі сушарки зазначеного типу мають низьку

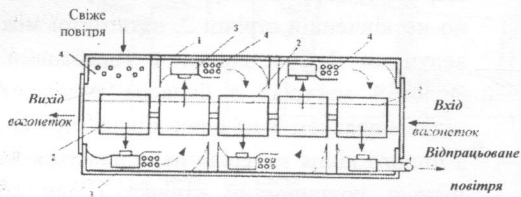
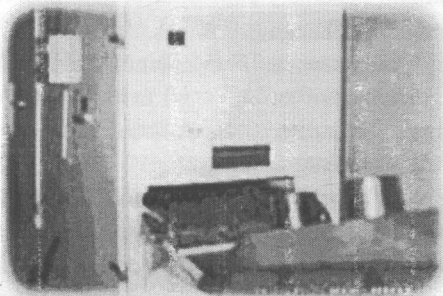


Рис. 10.2.7. Тунельна сушарка:  
1 – камера, 2 – вагонетка, 3 – вентилятори, 4 – калорифери

продуктивність, а тривалість процесу в них велика. Основний *недолік* камерних сушарок полягає в періодичності їх роботи і, отже, в значній витраті теплоти на прогрів конструкції після кожного циклу завантаження-вивантаження матеріалу; в необхідності ручної праці; в нерівномірності висушування матеріалу на верхніх і нижніх полицях. Крім того, у цих сушарках мають місце великі втрати тепла при вивантаженні матеріалу.



Тунельна сушарка

матеріалу.

Вагонетка з висушеним матеріалом видаляється з камери, а з протилежного кінця в неї надходить нова вагонетка з вологим матеріалом. Переміщення вагонеток механізоване. Сушильний агент може подаватися прямопотоком або протипотоком. Такі сушарки зазвичай працюють з частковою рециркуляцією сушильного агента і використовуються для сушіння великих кількостей штучного матеріалу. За інтенсивністю сушіння тунельні сушарки близькі до камерних сушарок. Тунельним сушаркам властиві основні *недоліки* камерних сушарок (тривале і нерівномірне сушіння, ручне обслуговування).

продуктивність, а тривалість процесу в них велика. Основний *недолік* камерних сушарок полягає в періодичності їх роботи і, отже, в значній витраті теплоти на прогрів конструкції після кожного циклу завантаження-

#### Тунельні сушарки (рис.

10.2.7) відрізняються від камерних тим, що в них поєднані одна з одною вагонетки 2, повільно переміщуються на рейках уздовж дуже довгої камери прямокутного перетину (коридору). На вході і виході сушарки є герметичні двері, що відкриваються для завантаження і вивантаження

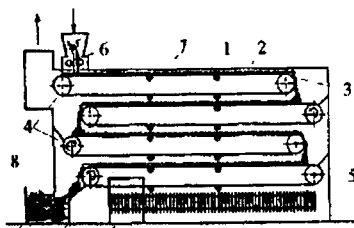


Рис. 10.2.8. Стрічкова сушарка:  
 1 – камера сушарки, 2 – нескінченна стрічка,  
 3 – ведучий барабан, 4 – ведучий барабан,  
 5 – калорифер, 6 – підживлювач, 7 – опорні ролики,  
 8 – збірник

**Стрічкові сушарки** (рис. 10.2.8). У сушарках цього типу сушіння матеріалів проводиться безперервно при атмосферному тиску. У камері 1 сушарки шар матеріалу, що висушується, рухається по нескінченній стрічці 2, натягнутої між ведучими 3 і веденими 4 барабанами. Вологий матеріал з бункера подається підживлювачем 6 на один кінець стрічки, з іншого кінця матеріал пересипається на нижню розташовану стрічку і так до останньої стрічки, з якої висушений

матеріал пересипається в приймач висушеного матеріалу 8. Сушіння здійснюється гарячим теплоносієм, що рухається протivotоком або перехресним струменем до напрямку руху матеріалу. Швидкість руху повітря в сушильній камері - 3,0 м/с; швидкість руху стрічки - 0,3...0,7 м/хв.

Така багатострічкова сушарка успішно працює у виробництві холосаса на стадії сушіння шроту з насіння шипшини.

В даний час найбільш відомі стрічкові сушарки TS-P-5 (фірми ZER), S-5-5 і S-10-10 (фірми Sandvik) КСК-45 (Шебекинський завод, Росія) та ін. Основним *недоліком* сушарок стрічкового типу є відносна громіздкість і невисока продуктивність, віднесена до одиниці об'єму апарата.

**Барабанні сушарки** (рис. 10.2.9) широко застосовуються для безперервного сушіння при атмосферному тиску зернистих і сипучих матеріалів з вологістю 5-60 %. В цих сушарках сушильним агентом є повітря або топкові гази у суміші з повітрям.

Принципова схема прямотечійної барабанної сушильної установки наведена на рис. 10.2.9. Вологий матеріал з бункера 1, за допомогою живильника 2, подається в обертовий сушильний барабан 3. Паралельно матеріалу в сушарку подається сушильний агент, який утворюється від згоряння палива в паливній печі 4 та змішування паливних газів з повітрям в змішувальній камері 5. У випадку паралельного руху матеріалу та сушильного агенту найбільш гарячі гази контактують з матеріалом з найбільшою вологістю, що запобігає його перегріву. Повітря в паливну піч 4 та змішувальну камеру 5 подається вентиляторами 6 та 7. Висушений матеріал з протилежної сторони сушильного барабану поступає в проміжний бункер 8, а з нього на транспортер 9.

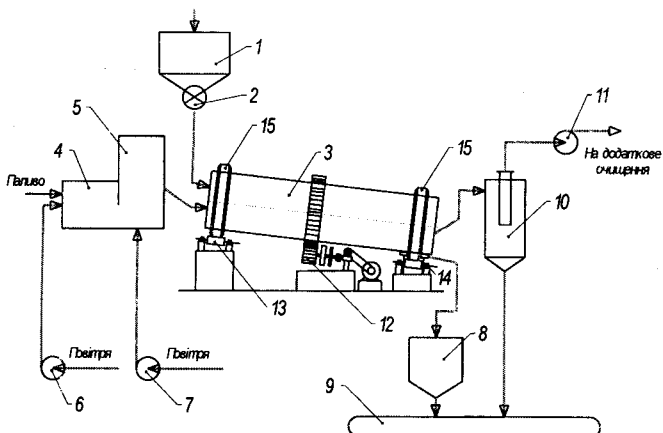


Рис. 10.2.9. Принципова схема барабанної сушарки.

1 – бункер, 2 – живильник, 3 – сушильний барабан, 4 – паливна піч, 5 – камера змішування, 6, 7, 11 – вентилятори; 8 – проміжний бункер, 9 – транспортер, 10 – циклон; 12 – зубчаста передача; 13 – опорні ролики; 14 – опорно-упорні ролики; 15 – бандажі

Відпрацьований сушильний агент перед викидом в атмосферу очищується від пилу в циклоні 10. При необхідності проводиться додаткове мокре очищення.

Транспортується сушильний агент через установку за допомогою вентилятора 11. Установка знаходиться під невеликим розрідженням, що виключає втрату сушильного агента через нещільності установки.

Обертовий сушильний барабан 3, встановлений з невеликим нахилом до горизонту ( $1/15 - 1/50$ ) та спирається за допомогою бандажів 15 на ролики 13. Барабан приводиться в рух електродвигуном через зубчасту передачу 12 та редуктор. Число обертів барабана не більше 5 – 8 об/хв.; положення його в осьовому напрямі фіксується упорними роликами 14.

Вздовж всієї довжини барабана розташована внутрішня насадку. Насадку в барабані забезпечує рівномірне розподілення та інтенсивне перемішування матеріалу по сиченню барабану, а також щільний контакт з сушильним агентом. Будова внутрішньої насадки залежить від розмірів зерен дисперсних матеріалів, а також від їх властивостей.

Пристрої внутрішньої насадки (рис. 10.2.10) барабана залежать від розмірів і властивостей матеріалу, що висушується. Так, для крупнокускових і схильних до налипання матеріалів встановлюють підйомно-лопатеву насадку (рис. 10.2.10, а). Для крупнокускових, малосипучих матеріалів з великою щільністю застосовують секторну насадку (рис. 10.2.10, б). Для дрібнокускових матеріалів, що мають добру сипучість, використовують розподільні насадки

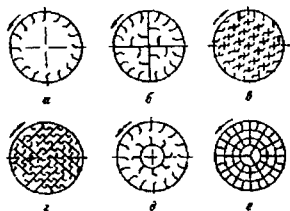


Рис. 10.2.10. Типи насадок барабанних сушарок:

а – підйомно-лопаття, б – секторна,  
в, г – розподільна, д – комбінована,  
е – перевалочна.

(рис. 10.2.10, в, г), виконані у виді окремих комірок. Для матеріалів з дуже маленькими частками, що сильно пилять, застосовується перевалочна насадка з закритими комірками (рис. 10.2.10, е). Для деяких пастоподібних матеріалів застосовують комбіновану насадку (рис. 10.2.10, д): у передній частині барабана – підйомно-лопатеву, а в іншій – розподільну.

Однак, барабанні сушарки мають ряд *недоліків*. В барабанних сушарках втрати тепла через стінку барабана проходять по всій поверхні сушарки, яка досягає 135-155 м<sup>2</sup>. Поверхня барабана не має теплоізоляції, а температура стінок наближається до температури теплоносія. Під час видалення вологи інтенсивність сушіння в барабанних сушарках, як відомо, знижується. Тому для інтенсифікації процесу і досягнення низького вмісту вологи в кінцевому продукті, слід підтримувати температуру газів в кінці барабана вище температури матеріалу. Іноді перепад температур досягає 100-150°C, термічний коефіцієнт корисної дії процесу при цьому зменшується.

**Аерофонтанні сушарки.** Для сушіння зернистих, що не злипаються, вологих і досить великих матеріалів у зваженому стані застосовуються аерофонтанні сушарки. Це сушарки з вихровим потоком, у якому відбувається закручена циркуляція самого матеріалу, що висушується.

За конструктивними ознаками аерофонтанні сушарки можуть бути двох типів: з решіткою та без решітки. На рис. 10.2.11 наведена схема аерофонтанної сушарки без решітки. В таких сушарках матеріал, який подається шнековим живильником 3, впадає в сушильній камері 4 в потоці теплоносія. Сушильна камера 4 складається з циліндричної та конічної частини. Теплоносій (повітря) подається вентилятором 1 в калорифер 2, де підігрівається. Циліндрична форма верхньої частини камери сприяє миттєвому зниженню швидкості газу, тому більш важкі частинки матеріалу при цьому опускаються, створюючи циркуляцію твердої фази. Сухі частинки безперервно виносяться з камери і відділяються від газу в циклоні 5. В аерофонтанних сушарках тривалість контакту матеріалу з теплоносієм досить мала. Це дозволяє нагрівати повітря до достатньо високих температур.

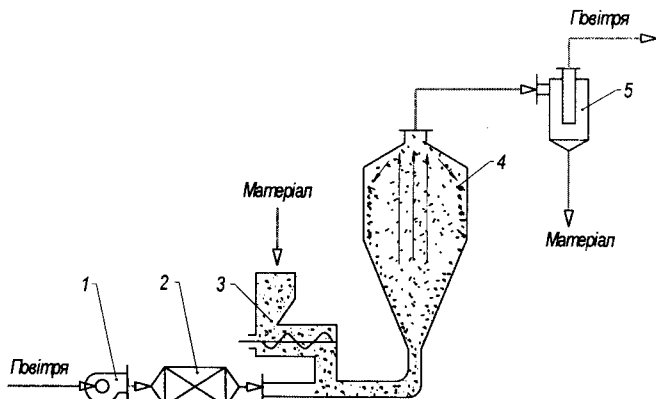


Рис. 10.2.11. Схема аерофонтанної сушарки:

1 – вентилятор, 2 – калорифер, 3 – шнековий живильник, 4 – сушильна камера,  
5 – циклон

Усі вищеописані сушарки можна віднести до апаратів, що працюють за принципом ідеального перемішування. Аналізуючи принцип роботи таких типів сушарок, робимо висновок, що при ідеальному перемішуванні температура газу швидко знижується до постійного мінімального значення, таким чином створюються сприятливі умови для підвищення його початкової температури. Однак, внаслідок рециркуляції матеріалу сухі частинки можуть багаторазово попадати в зону входу гарячого газу і перегріватися. Тому при високих вимогах до якості продукту або при сушінні термолабільних матеріалів доводиться знижувати температуру процесу.

Основний *недолік* аерофонтанних сушарок - нерівномірність сушіння. Більш рівномірне сушіння досягається в сушарках з киплячим шаром.

**Сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром.** У сушарці з киплячим шаром матеріал покладений на ґратки, через які продувається сушильний агент зі швидкістю, необхідною для створення киплячого шару. Принципова схема сушарки з киплячим шаром представлена на рис. 10.2.12.

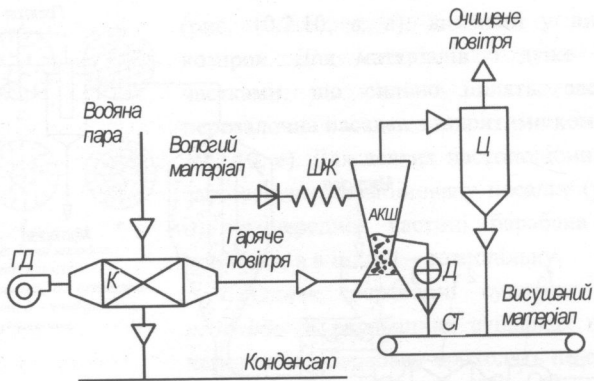
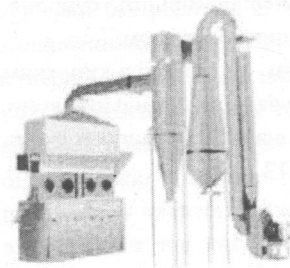


Рис. 10.2.12. Принципова схема сушарки з киплячим шаром.

Вологий матеріал шнековим живильником ШЖ, подається в шар продукту, що «кипить» на газорозподільній решітці в апараті з киплячим шаром АКШ. Атмосферне повітря подається газодувкою ГД в калорифер К, де нагрівається за рахунок конденсації грючої пари до температури 150°C, а потім поступає під решітку АКШ. Повітря виходить з великою швидкістю з отворів газорозподільної решітки. Нагріте повітря змушує перейти матеріал в псевдозріджений стан та висушує його. Сухий продукт безперервно вивантажується дозатором Д на стрічковий транспортер СТ. Відпрацьоване повітря очищується в циклоні Ц. Пил вивантажується з циклону та разом з сухим матеріалом, як готовий продукт, подається стрічковим транспортером на склад або на подальшу переробку.



Горизонтальна сушарка з псевдозрідженим шаром

Основною перевагою киплячого шару є збільшення поверхні контакту фаз і за рахунок цього - скорочення витрати палива. Тепловтрати від стінок в апаратах киплячого шару обмежені зоною киплячого шару, висота якої 1000-1500 мм, температура стінок в зоні дорівнює температурі киплячого шару (приблизно 120-150°C). Завдяки теплоізоляції стінок втрати тепла в навколишнє середовище складають не більше 3-5%. Слід також відмітити, що максимальна одинична потужність установок киплячого шару в 1,2-1,5 разів більша, ніж в барабанних сушарках.

До переваг установок киплячого шару слід також віднести суттєве зниження металосемності і вартості апаратів, зменшення виробничої площі, простота автоматизації та регулювання.

Але, поряд з перевагами, установки киплячого шару мають і *недоліки*. В таких апаратах швидкість повітря не тільки впливає на тепломасообмін, але й визначає структуру шару. Для псевдозрідженого стану шару необхідні певні швидкості теплоносія, які в більшості випадків є далеко не оптимальними для реалізації процесу сушіння і це не дає можливості працювати з матеріалом, що має широкий діапазон зернового складу. Дійсно, щоб не було відкладень продукту на газорозподільчій решітці, швидкість псевдозрідження розраховують, орієнтуючись на максимальний розмір частинок. Тому, цілком можливе винесення частинок менших розмірів з шару або їх пересихання. Високі швидкості газів і повітря в процесах сушіння призводять до непродуктивних втрат тепла і тим самим знижують коефіцієнт корисної дії установок. Суттєвим недоліком також є винесення дрібних частинок з робочої зони апарату, що потребує встановлювати пилоочисну апаратуру. Під час сушіння дисперсних матеріалів в установках киплячого шару утворюються дрібні частинки внаслідок тертя та співударів, що відіграє негативну роль у випадку певних вимог до якості продукту, його дисперсного складу. Швидкість теплоносія нижче критичної сприяє утворенню каналних проскоків газу, порушує перемішування в шарі і рівномірне протікання процесу внаслідок того, що утворюються застійні зони. Також недоліком є те, що швидкість руху теплоносія в сушарках з псевдозрідженням не може бути вищою другої критичної швидкості (швидкості, при якій відбувається винесення матеріалу з апарату). У безперервно працюючій сушарці в псевдозрідженому шарі не завжди легко досягнути рівномірного перебування всіх частинок матеріалу в робочій камері, особливо, коли частинки різні за величиною.

Область допустимих розмірів частинок матеріалу, що сушаться в киплячому шарі, знаходиться в межах 100-150 мкм, а область оптимальних розмірів починається вище, приблизно від 500 мкм. Для матеріалів з більш високою дисперсністю спосіб сушіння в киплячому шарі недоцільний.

*Сушарки з віброкиплячим шаром матеріалу.* Застосування таких сушарок дозволяє інтенсифікувати тепло- та масообмін між частинками та газом в результаті турбулізації пограничного шару та забезпечити стійкий гідродинамічний режим. Вібросушарки за конструктивними ознаками ділять на горизонтальні лоткові та вертикальні. За гідродинамічними умовами: з режимами віброаерокиплячим та віброкиплячим шаром.

*Віброаерокиплячий режим* створюється в апаратах за умов псевдозрідження матеріалу як під дією гідродинамічних сил газового потоку, що подається через перфороване або пористе днище, так і під дією вібрацій, які створюються віброуючими елементами. Такий режим застосовують для сушіння грубозернистих матеріалів широкого гранулометричного складу, матеріалів



здатних до злипання та комкування, для дрібнодисперсних матеріалів, здатних до каналоутворення. Тобто, такий режим використовується у випадку, коли матеріал неможливо перевести в рівномірний киплячий шар газовим потоком.

*Віброкиплячий режим* створюється в таких апаратах, де псевдозрідження, перемішування та напрямлений рух дисперсного матеріалу відбувається тільки під дією вібрацій робочого органу. При цьому тепло може підводитися до матеріалу конвективним, кондуктивним та комбінованим способами. Такі апарати використовуються для досушування матеріалу або для сушіння добре сипких матеріалів.

*Перевагою* таких сушарок є компактність, мала енергоємність, легкість моделювання процесу. Продуктивність багатьох конструкцій вібросушарок – до 25 т/год. Основні елементи будь-якої конструкції – перфорований жолоб та вібратор.

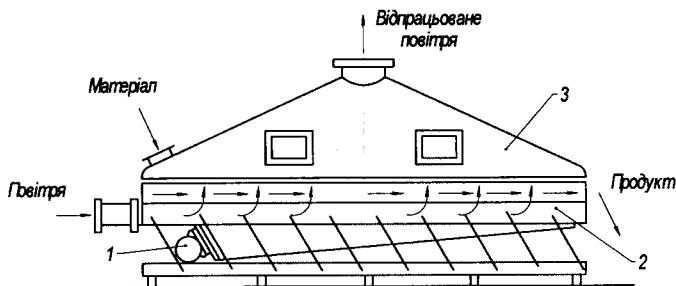
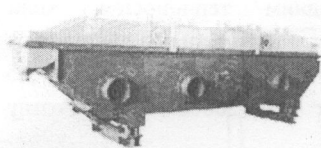


Рис. 10.2.13. Вібросушарка з киплячим шаром:

1 – вібропривід; 2 – розподілюючий жолоб; 3 – сушильна камера.

На рис 10.2.13 наведена вібросушарка з киплячим шаром, основна частина якої – прямокутний жолоб з перфорованим днищем, що кріпиться пластинчастими ресорами на рамі, яка через гумові амортизатори спирається на основу. Над сушильною камерою встановлений витяжний кожух. Привід інерційного типу складається з маятникового мотор-вібратора напрямленої дії з регулюючим дебалансом та постійною частотою коливань – 23,5 Гц. Матеріал рухається віброуючою перфорованою стрічкою від місця завантаження до місця вивантаження під дією вібрацій та газового потоку. В кінці жолобу знаходиться поріг. Змінюючи його висоту, можливо, в невеликому діапазоні регулювати час перебування матеріалу в камері. Швидкість пересування матеріалу визначається кутом нахилу ресор, амплітудою та частотою коливань.

Сушарки описаної конструкції використовуються для сушіння та охолодження кристалічних, зернистих та волокнистих матеріалів широкого гранулометричного складу (0,05 – 5 мм).



*Лінійна вібраційна сушарка з псевдоздріжженим шаром*

Особливостями *лінійної вібраційної сушарки з псевдоздріжженим шаром* є: рівномірний рух; зручність обслуговування; низький рівень шуму; тривалий термін експлуатації; рівномірний розподіл матеріалу всередині сушарки; сушильна камера і теплообмінник мають високу ефективність;

велика економія енергії; споживання енергії на 30-60% менше в порівнянні зі звичайними сушильними камерами; товщина шару, швидкість просування та амплітуда коливання матеріалів можуть безступінчато регулюватися; ушкодження поверхні матеріалів виключається; сушильна камера підходить для речовин, які легко руйнуються; збереження індивідуальної форми гранул, без ризику руйнування; конструкція повністю герметична і не забруднює навколишнє середовище.

**Розпилювальні сушарки.** У цих сушарках досягається висока інтенсивність випаровування вологи за рахунок тонкого розпилення матеріалу, що висушується, у сушильній камері, через яку рухається сушильний агент.

Розпилювальні сушильні апарати використовуються в тих випадках, коли:

- сушиться продукт, який не витримує тривалого впливу високої температури. Сушіння здійснюється протягом декількох секунд, тому термолабільні продукти не встигають руйнуватися в процесі сушіння;
- сушиться пастоподібний, липкий продукт. Розпилювальна сушка не допускає налипання продукту на стінки сушарки. Рідкі продукти за допомогою відцентрового диска перетворюються на дрібні краплі, які розкидаються по стінках циліндра. Поступово, зі зменшенням швидкості обертання диска, частинки матеріалу перестають налипати на стінки циліндра, в результаті того, що просто не долітають до них або висихають по дорозі.

Такі розпилюючі сушарки є циліндричною вертикальною камерою, в якій відбувається тепло- та масообмін між розпиленими краплями рідкого та пастоподібного матеріалу та сушильним агентом (теплоносієм). Час перебування матеріалу в сушильній камері – 15–40 с, в залежності від ступеня диспергування, швидкості газу, об'єму камери та її конструктивних особливостей. В умовах майже миттєвого сушіння температура поверхні частинок матеріалу, незважаючи на високу температуру сушильного агента (близько 150 °С), лише небагато перевищує температуру адиабатичного випаровування чистої рідини. У результаті досягається швидке сушіння в м'яких температурних умовах, що дозволяє одержати якісний порошкоподібний продукт, добре розчинний і який не потребує подальшого

подрібнювання. Можливе сушіння і холодним теплоносієм, коли розпилювальний матеріал попередньо нагрітий. Розпилення здійснюється механічними і пневматичними форсунками, а також за допомогою відцентрових дисків, швидкість обертання яких 4000-20000 об/хв. Розмір крапель - від 1 до 150 мкм.

Розпилюючі сушарки поділяються на *сушарки з форсуночним розпиленням в потоці теплоносія*, в яких застосовуються гідравлічні (механічні) або пневматичні форсунки та *сушарки з відцентровим розпиленням в потоці теплоносія* в яких застосовуються дискові розпилювачі. Такі типи сушарок застосовуються для сушіння рідких та пастоподібних матеріалів. Конструктивне оформлення сушильних камер залежить від типу, числа та місця встановлення розпилювачів, а також від місця та способу введення та виведення газу та матеріалу. Вибір конструкції обумовлено технологічними вимогами та властивостями матеріалу.

*Сушарки з форсуночним розпиленням в потоці теплоносія.* Як вже згадувалося, в таких сушарках для розпилення можна використовувати *гідравлічні (механічні) або пневматичні форсунки.*

Механічні форсунки можуть бути струменевими або відцентровими. У відцентрових - рідина перед виходом з сопла закручується, за допомогою вмонтованого в середину форсунки звихрювача. Це сприяє турбулізації струменя та збільшенню ширини факела розпилення. *Перевагами* механічних форсунок є простота їх виготовлення та обслуговування, низькі енергозатрати на розпилення та невисокі експлуатаційні витрати. Продуктивність механічних форсунок – 4 т/год. Основні *недоліки* – складність регулювання продуктивності та ненадійна робота при розпиленні суспензій внаслідок закупорювання отворів твердими частинками та зношування сопла. Механічні форсунки не використовуються для розпилення високов'язких речовин.

Пневматичні форсунки працюють за принципом розпилення рідини швидкісною струминою газу або пари, що подається під тиском 0,1-1 МПа. Продуктивність пневматичних форсунок – 12 т/год. Їх *переваги*: можливість досконало регулювати форму факела, продуктивність, дисперсність розпилювання. Використовуються для розпилення високов'язких речовин.

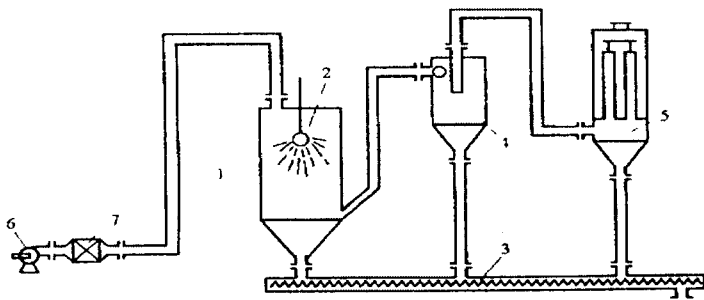


Рис. 10.2.14. Розпилювальні сушарки:

1 - камера сушарки, 2 - форсунка, 3 - шнек для вивантаження висушеного матеріалу, 4 - циклон, 5 - рукавний фільтр, 6 - вентилятор, 7 - калорифер

В схемі установки (рис. 10.2.14) матеріал подається в камеру 1 через форсунку 2. Сушильний агент рухається прямоюкою з матеріалом. Дрібні тверді частинки висушеного матеріалу (розміром до декількох мікронів) осаджуються на дно камери і переміщуються шнеком 3. Відпрацьований сушильний агент після очищення від пилу в циклоні 4 і рукавному фільтрі 5 викидається в атмосферу. Розпилювальні сушарки працюють також за принципами протипотоку і змішаного потоку. Однак прямопотік особливо розповсюджений, тому що дозволяє проводити сушіння при високих температурах без перегріву матеріалу. Для осадження дрібних частинок (середній розмір краплини звичайно складає 20-60 мкм) і зменшення їхнього віднесення швидкість газу в камері, враховуючи її повне січення, звичайно не перевищує 0,3-0,5 м/с. Але навіть при таких швидкостях віднесення значне і необхідне добре обезпилювання відпрацьованих газів. Для більш рівномірного розподілу сушильного агента при перетинанні камери і доброго змішування з краплями рідини, що висушується, використовують введення газу через штуцер, який розташований перпендикулярно відносно до корпусу камери, або через ряд щілин. У фармацевтичному виробництві такі сушарки знайшли застосування для сушіння очищених витяжок з лікарської рослинної сировини (у виробництві ліквірітона, фламіна та ін.).

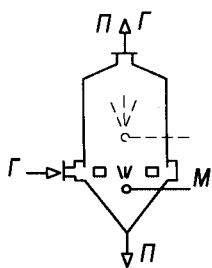


Рис. 10.2.15. Схема форсуночної сушильної камери з висхідним прямоюкою.

Найбільш поширеними сушарками такого типу є сушильні камери в яких рух взаємодіючих фаз напрямлений в одну сторону – знизу вгору (рис. 10.2.15).

Після розпилення матеріалу відбувається фракціонування частинок в потоці сушильного агента. Дрібні частинки піднімаються вгору та видаляються з

камери з відпрацьованим теплоносієм, а крупі – осідають на днище камери. Частинки середніх розмірів переміщуються спочатку вниз, а після висихання – вгору. Частинки, що осаджуються на днище камери, потрапляють в зону високих температур. Частинки, що рухаються знизу вгору, знаходяться в більш сприятливих температурних умовах помірно нагрітого сушильного агента. Швидкість піднімання крупих частинок менша, а час перебування їх в камері

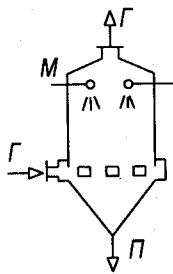


Рис. 10.2.16. Схема форсуночної сушильної камери з протитоком

більший за час перебування дрібних частинок. Як наслідок, всі частинки приблизно однаково нагріваються сушильним агентом. Отже, така конструкція забезпечує якісне сушіння термолабільних продуктів.

На рис. 10.2.16 дана схема *форсунової сушарки з протитоком*: сушильний агент рухається знизу вгору, а диспергований матеріал – зверху вниз. Такий рух досягається за умов грубого розпилення, що забезпечує отримання частинок, швидкість витання яких перевищує швидкість газу. Протиток застосовують для достатньо термостійких продуктів, коли необхідно збільшити насипну густину порошку або сумістити сушіння та

прокалювання продукту, а також при необхідності сушіння матеріалів з вологою, яку важко видалити.

*Сушарки з відцентровим розпиленням в потоці теплоносія (дискові розпилювачі)*. Відцентрові дискові розпилювачі працюють за принципом розпилення струменів або плівок рідини з диску, що обертається у відносно нерухомий потік повітря. Частота обертання дисків складає 4000 – 50 000 об/хв., в залежності від діаметру, який може бути від 50 до 350 мм. Продуктивність промислових відцентрових розпилювачів становить більше 40 т/год. Такі сушарки працюють, як правило за прямотечійною схемою. Наявність дискового розпилення передбачає великий діаметр сушильної камери і, як наслідок, невелику швидкість газу по перерізу камери. Тому спосіб введення та розподілення сушильного агента в камері суттєво впливає на процес сушіння. Специфіка процесу полягає в створенні інтенсивних радіальних потоків газу від диску до стінок камери і від стінок до диску, що пояснюється вентиляційним ефектом диску. В площині факелу виникає розрідження, що викликає підсмоктування та циркуляцію газу як з зони над факелом, так із нижньої зони. Якщо диск розташований поблизу верха камери, тоді за умов недостатнього підведення сушильного агента в зону між верхом камери та факелом, в ній створюється розрідження, що викликає викривлення траєкторії руху краплин і частинок, а також відкладання матеріалу вгору камери.

Найбільш сприятливі умови виникають за умов підведення газу до основи факелу розпилення. При цьому максимально використовується горизонтальна ділянка руху краплин з великою швидкістю, скорочується діаметр факелу та забезпечується подавання газу до диску для компенсації ефекту само вентиляції. Для сушіння термочутливих продуктів газ підводять до нижньої сторони факелу розпилення (рис. 10.2.17), або охолоджують верх камери холодною водою чи повітрям.

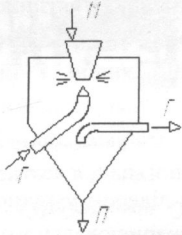


Рис. 10.2.17. Схема дискової сушильної камери з подаванням газу під факел та розділним введенням газу і продукту

Великий діаметр камери з дисковим розпиленням приводить до збільшення габаритів кінчної частини і, як наслідок, до збільшення економічних затрат. Тому, у разі великої продуктивності, камери роблять плоскими або з великим кутом конуса, використовуючи при цьому спеціальні прилади для знімання сухого продукту, що осідає. На рис. 10.2.18 наведена конструкція сушарки, з якої сухий продукт відводиться гребковими елементами на штангах, що обертається. Іноді продукт з плоского днища збирають пілососом.

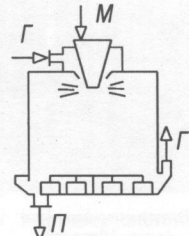
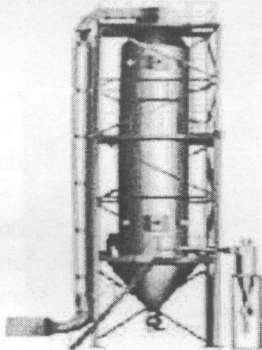


Рис. 10.2.18. Схема дискової сушильної камери з плоским днищем.

Розпилюючі сушарки мають певні *недоліки*, що пов'язані зі специфікою процесу: порівняно невелика питома продуктивність, велика питома витрата сушильного агенту, висока дисперсність продукту сушіння, встановлення додаткової пілочисної апаратури.

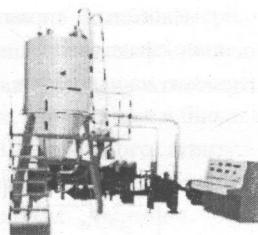
У *розпилювальних сушарках з розбризкуванням під тиском* та для рослинних екстрактів рідкий або пастоподібний матеріал розпилюється форсункою на верху апарату і сушиться в процесі падіння протягом 10-90 с. Кінцевий продукт має форму кульок однакового



Розпилювальна камера з розбризкуванням під тиском

розміру з хорошою текучістю, розчинністю та високою чистотою. У відповідності з характеристиками сирого матеріалу сушити продукт можна холодним або гарячим повітрям. Апарат добре перенастроюється під характеристики вихідного матеріалу.

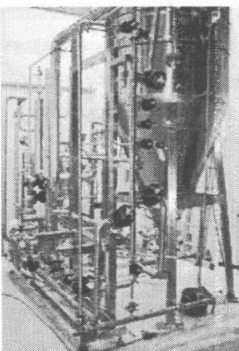
*Недоліками* цих розпилювальних сушарок є порівняно висока вартість розпилювачів і порівняно складна їх експлуатація, а також необхідність великого діаметра розпилювальної камери і відповідно великої площі приміщення.



*Розпилювальна сушарка для рослинних екстрактів*

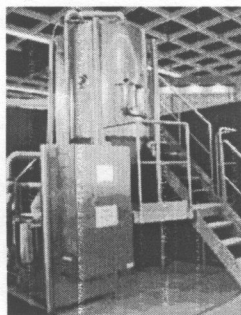
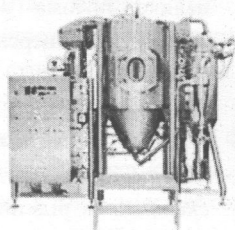
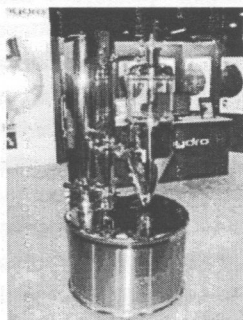
Сушарки, розроблені світовим лідером у технології, проектуванні і продажі сушарок розпилювального типу для фармацевтичної промисловості компанією Ангідро Мікраспрей (серія MS) мають різні призначення, конфігурацію і габарити.

Асортимент сушарок Мікраспрей включає чотири різні типи залежно від їх призначення, що дозволяє пропонувати замовникам рентабельні технологічні вирішення проведення сушіння в точній відповідності з їх індивідуальними вимогами для виробництва препаратів первинної і спеціалізованої медичної допомоги.



*Розпилювальна сушарка Ангідро Мікраспрей*

Дані розпилювальні сушарки застосовуються для наступних процесів: підготовка активних фармацевтичних інгредієнтів (англ. API) для розпилювального сушіння; інкапсуляція розпилюванням; агломерація розпилюванням; охолодження розпилюванням.



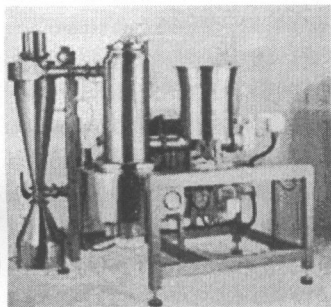
*Модельний ряд розпилювальних сушарок Ангідро Мікраспрей серії MS*

*Області застосування розпилювальних сушарок Ангідро Мікраспрей:*

- виробництво фармацевтичних засобів, переважно АРІ, допоміжних речовин і деяких антибіотиків;
- виробництво препаратів спеціалізованої медичної допомоги, зазвичай кінцевих продуктів, обробка розпилюванням для маскування смаку, виробництво біопрепаратів, мікроінкапсуляція і порошків для інгаляції;
- асептичне виробництво, включаючи виробництво пептидів, білків, вакцин і інших біофармакологічних продуктів, що виготовляються в асептичних умовах.

Продуктивність сушарок Мікраспрей за витратою сушильного газу знаходиться в діапазоні від 35 кг/год до 2500 кг/год.

**Турбулентні сушарки.** Розроблена компанією Ангідро нова технологія сушіння відкрила для всього світу способи сушіння високов'язких продуктів, паст і фільтрувальних коржів. Ця запатентована компанією технологія, що отримала широке визнання замовників в різних областях промисловості по всьому світу, є альтернативою сушіння розпилювального типу, відрізняючись коротшим циклом і низьким енергоспоживанням. Ангідро поставила по всьому світу більше 350 турбулентних сушильних установок, в розробці яких були використані в сукупності досвід компанії і найсучасніша технологія для надання додаткових переваг її замовникам.



Турбулентна сушарка Ангідро Spin Flash

Турбулентні сушарки Ангідро Spin Flash сконструйовані для безперервного сушіння липких і прокачуваних паст і фільтрувальних коржів, а також високов'язких рідин.

Основні частини сушильної установки Ангідро – це система подачі сировини, сушильна камера і рукавний фільтр. Система подачі сировини складається з витратного бункера, куди з різними інтервалами поступає продукт, який подрібнюється дробаркою перед його подачею на безперервне сушіння.

Підживлюючий шнек з регульованою швидкістю (або насос рідкої сировини) направляє продукт в сушильну камеру.

Далі відбувається процес у сушильній камері. Циркулятор, що обертається, на днищі конічної камери створює псевдозріджений шар, де в потоці гарячого сушильного повітря волога швидко випаровується. Гаряче повітря для створення турбулентного потоку повітря подається в сушильну камеру по дотичній нагрівачем, регулюючим температуру повітря, і вентилятором з регульованою швидкістю. Мілкодисперсні частинки, рухомі в повітряному потоці, проходять через класифікатор у верхній частині сушильної



камери, а крупніші частинки залишаються в сушильному повітрі для подальшого сушіння і утворення порошку. Сушильна камера має міцну конструкцію, здатну витримати гідравлічний удар, який може виникнути в результаті вибухового спалаху горючих частинок. Всі підшипники надійно захищені від попадання пилу і дії високих температур.

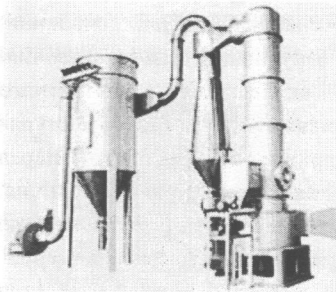
Порошок з сушильної камери збирається в *рукавному фільтрі*, а відпрацьоване повітря виходить з установки у верхній частині через витяжний вентилятор.

*Переваги турбулентних сушарок Ангідро:*

- високоефективне сушіння і низькі експлуатаційні витрати;
- пряме сушіння без попереднього розбавлення;
- безперервний процес сушіння з коротким циклом;
- низькі витрати на обслуговуючий персонал і мінімальні витрати на техобслуговування;
- компактність;
- стійкість камери до гідравлічного удару, що гарантує безпечне сушіння органічних продуктів.

*Особливостями* даних сушарок Ангідро Spin Flash є те, що вони мають форму перевернутого конуса, яка перешкоджає утворенню відкладень. Ця унікальна конструкція отримала визнання замовників, що займаються промисловим сушінням паст. Найсучасніша система управління забезпечує повністю автоматизоване управління, оптимізацію процесу, реєстрацію даних, контроль за проходженням продукту і дотримання графіка техобслуговування.

Продуктивність – від 1 кг/год до 40 т/год.



*Роторна сушарка*

У *роторній сушарці* гаряче повітря надходить у камеру перемішування, подрібнення та сушіння з днища сушарки з відповідною швидкістю. Воно надає сильний ефект розсікання, обдування, руху і обертання вологого матеріалу і усуває ефект налипання на стінки. Завдяки цьому вологий матеріал гранулюється за допомогою центрифугування, розсікання, зіткнення і тертя та ці дії посилюються процесом тепловіддачі. У днищі сушарки великі і сирі гранули подрібнюються

під дією перемішування, а дрібні гранули з меншим вмістом вологи піднімаються разом з обертовим потоком повітря. У процесі підйому проводиться подальше сушіння. Це відбувається завдяки тому, що разом з потоком повітря рухаються і тверді частинки, а інертність твердих частинок

більше, ніж повітря, і різниця швидкості повітря і твердих частинок велика. Цей фактор підсилює процес тепловіддачі і тому машина має високу продуктивність. Все це вирішує проблему знебарвлення матеріалу, чутливого до температури. Завдяки високій циклічній швидкості і короткому часу перебування матеріалу в камері досягається висока ефективність і продуктивність навіть невеликого обладнання. Пристрій повітряного потоку контролює вологість матеріалу в нижньому рівні. Розподільник у верхній частині сушильної камери регулює розмір і вологість матеріалу на виході.

Для сушіння зернистих і кристалічних матеріалів застосовуються *пневматичні сушарки*. Пневматичні сушарки складаються з однієї або декількох послідовно з'єднаних вертикальних труб. Матеріал, який сушиться, переміщається по цих трубах потоком сушильного агента, швидкість якого перевищує швидкість руху найбільш крупних частинок (зазвичай 10-40 см/с). Такі сушарки відносяться до апаратів, що працюють за принципом ідеального витіснення. В апаратах ідеального витіснення рушійна сила більш, ніж на порядок перевищує рушійну силу в апаратах ідеального перемішування. Ще однією перевагою апаратів є сприятливі умови взаємодії фаз. Газ при максимальній температурі контактує з холодним вологим матеріалом, який прогрівається до температури мокрого термометра і протягом деякого часу (до стану критичної вологості) знаходиться при цій температурі. До кінця контакту газ вже достатньо охолонув і не може перегріти сухий продукт вище допустимої температури.

Тривалість контакту дисперсної і газової фаз в сушарках різних типів може бути від декількох секунд до декількох хвилин, і ступінь впливу термічної дії середовища буде залежати від термічної стабільності матеріалу. Якщо матеріал термічно стабільний, тоді температуру процесу можна значно підвищити.

Найбільш простими пневмосушарками є *пневмотруби*, в яких матеріал разом з газовим потоком рухається прямолінійно, частіше всього знизу вгору. *Перевагами* таких сушарок є: перебування матеріалу в зоні сушіння короткочасне, не більше декількох секунд; мала кількість матеріалу, що одночасно знаходиться в системі. Такі особливості дозволяють застосовувати пневмотруби для сушіння великої групи дисперсних матеріалів: порошкоподібні, зернисті, гранульовані, в тому числі і вибухонебезпечні.

До поширених пневмотруб слід віднести одноступеневу трубу сушарку, зображену на рис 10.2.19.

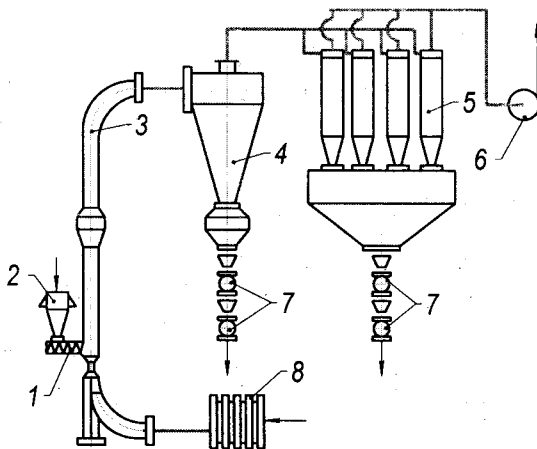


Рис. 10.2.19. Схема трубної пневматичної сушарки:

1 – живильник, 2 – бункер, 3 – труба-сушарка, 4 – циклон, 5 – батарейний циклон,  
6 – вентилятор, 7 – шлюзові закриви, 8 – калорифери

Вологий матеріал з бункера 2 двошнековим живильником 1 подається в нижню частину труби-сушарки 3, де підхоплюється повітрям, підігрітим в калорифері 8, та транспортується вгору. Під час транспортування матеріал висушується, а повітря насичується вологою та охолоджується. В циклоні 4 та батарейному циклоні 5 продукт видаляється з повітря, а відпрацьоване очищене повітря відсмоктується вентилятором 6 в атмосферу.

Конструктивними особливостями такої сушарки є розширювач (аерофонтан) в середній частині труби і «кишеня» в її нижній частині. Розширювач створює умови нестационарності гідродинамічного режиму, сприяє затриманню грубої фракції матеріалу в зоні сушіння і таким чином інтенсифікує процес. «Кишеня» є сепаратором і вловлювачем грубої фракції матеріалу, запобігає її перегріву та розкладу.

Широке застосування знайшли також багатоступеневі труби-сушарки. В таких апаратах на кожній ступені створюється сприятливий режим сушіння, можливо висушити матеріал до низької вологості з мінімальною затратою тепла. На першій ступені, як правило, відбувається знімання основної частини вологи. Для цього в сушарку подається сушильний агент з максимально можливою температурою. Температура відпрацьованого газу при цьому досить низька. Друга ступінь використовується для остаточного сушіння матеріалу. Оптимальне число ступеней в таких сушарках – два. Якщо матеріал не висушується в двох ступенях, доцільно застосовувати другий тип сушарки.

*Недоліком* сушіння в пневмотрубах є те, що внаслідок великих швидкостей матеріалу і ударів частинок до стінки апаратів спостерігається значне зношення труб і, головним чином, колін при повороті в сепаратор. Аналіз роботи труб-сушарок показує, що сушіння слід проводити при швидкостях, трохи більших за швидкості витання. Сушіння дисперсних матеріалів в умовах пневмотранспорту тим ефективніше, порівняно з вищеописаними методами, чим дрібніші частинки і чим вони більше містять вільної вологи. При роботі та експлуатації пневмосушарок надзвичайно важливим є боротьба з вибухами. Найбільш небезпечно з цієї точки зору установки, що працюють на паливі з великим виходом летючих компонентів. Недоліками пневматичних сушарок є великі питомі витрати енергії, погані санітарні умови та підвищена вибухонебезпека.

Більш досконалою конструкцією порівняно з пневмотрубами є *спіральні пневматичні сушарки*. Інтенсифікація тепломасообміну може бути досягнута штучним збільшенням відносного руху частинок в газі. Найбільш простим і радикальним способом збільшення відносної швидкості руху частинок в газі є використання відцентрової сили, що виникає під час руху за криволінійним шляхом. Закручення може бути здійснене за гвинтовою траєкторією (об'ємною спіраллю) або за траєкторією плоскої спіралі. Рухаючись по криволінійній траєкторії, частинки матеріалу відкидаються на зовнішню стінку каналу, стикаючись між собою та стінкою; при цьому швидкість їх руху зменшується, що призводить до зростання відносної швидкості газової суміші та інтенсифікації міжфазного тепломасообміну.

*Недоліком* таких апаратів є постійний контакт частинок зі стінкою, що може бути причиною налипання на неї частинок при сушінні липких матеріалів. В такому випадку перед входом в спіральний канал матеріал слід підсушувати на прямій початковій ділянці пневмотранспорту. При цьому рух частинок в пристінній області дозволяє здійснювати в сушарці сприятливі умови для контактного підводу додаткового тепла до матеріалу. Дисперсна фаза, рухаючись в пристінній зоні апарату, активно впливає на пограничний шар, турбулізуючи його, що сприяє значному підвищенню коефіцієнту тепловіддачі від стінки до дисперсного матеріалу і коефіцієнту теплопередачі в цілому. Оскільки концентрація дисперсного матеріалу в пристінній зоні значно вища, ніж в прямих пневмотрубах, то і коефіцієнт кондуктивного теплообміну набагато вищий.

Установка заснована на підсушуванні матеріалу в прямій пневмотрубі та досушуванням його в спіральному каналі зображена на рис. 10.2.20.

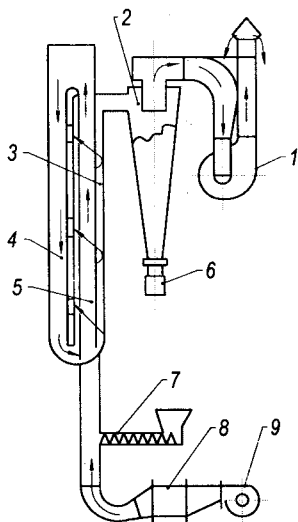


Рис. 10.2.20. Сушарка з подвійною трубою та гвинтовою вставкою:  
1, 9 – вентилятори, 2 – циклон,  
3 – спіральний канал, 4 – низхідний пневмотранспорт, 5 – висхідний пневмотранспорт, 6 – закрив, 7 – живильник, 8 – калорифер

Матеріал подається живильником 7, транспортується потоком гарячого газу висхідною 5 та низхідною 4 ділянками прямого пневмотранспорту. Після цього матеріал рухається разом з газом в спіральному каналі 3, який забезпечує довготривале та інтенсивне оброблення продукту. Направляюча спіраль розташована навколо висхідної ділянки пневмотруби; кут підйому витків  $30-45^\circ$ . На зовнішній трубі спірального каналу можна встановити парову оболонку для контактного підведення тепла.

Недоліком сушарок зі спіральними вставками є високий гідравлічний опір (до 20 кПа та вище) і негерметичність спіральних каналів, що викликає проскоки газової фази та зменшення рушійної сили процесу, а також складність очищення внутрішніх поверхонь.

Не дивлячись на різноманітні спроби вдосконалити пневматичні сушарки, їх основним *недоліком* залишаються нерівномірність

сушіння, що спричиняє: зменшення рушійної сили процесу; перегрів дрібнодисперсної фракції; додаткове подрібнення частинок; винесення дрібної фракції з апарату; встановлення додаткової очисної апаратури.

Пневматичні сушарки миттєвої дії *Drytec* компанії Anhydro мають системи прямого чи непрямого нагріву. Вони можуть мати відкритий цикл (з одним проходом сушильного повітря), частково замкнутий цикл (де більша частина відпрацьованого повітря надходить на циркуляцію і повертається в нагрівач в якості рецикла) або повністю замкнутий цикл (де 100% відпрацьованого повітря повертається в нагрівач через систему циркуляції, як правило, через прямий або непрямий конденсор, який служить для видалення води). Крім того, сушарка може бути виготовлена з частково замкнутим циклом з непрямим нагрівом. Така конструкція надає додаткову перевагу для ефективної утилізації викиду з високим вмістом вологи в технологічному потоці після сушарки (наприклад, з подачею в випарні апарати рекуперації тепла), де рекуперується значна частина латентного тепла.

### Сушарки з закрученими потоками газодисперсної суміші.

До типів апаратів з закрученими потоками, що працюють за принципом ідеального перемішування, відносяться *циклонні* та *вихорові* сушарки. Вони відрізняються тим, що газова суміш рухається в пустотілому циліндричному або циліндрично-конічному корпусі і здійснює обертальні рухи або рухи по спіралі, що досягається тангенційним підведенням або застосуванням газорозподільчого пристрою, який забезпечує інтенсивне закручування потоку. *Перевагою* сушарок цього класу є простота конструкції і на порядок більший час перебування матеріалу в зоні сушіння порівняно з барабаними сушарками, або навіть з сушарками, що працюють за принципом ідеального витіснення –

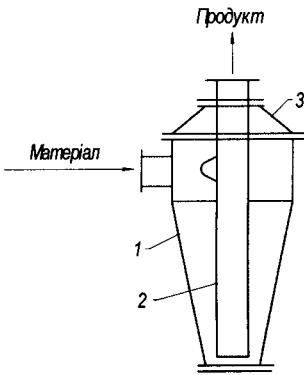


Рис. 10.2.21. Циклонна сушарка:  
1 – корпус, 2 – вивідний патрубок,  
3 – кришка

спіральними. Це дозволяє висушити в них дрібнопористі матеріали з високою енергією зв'язку вологи до низького залишкового вологовмісту.

Типова конструкція циклонної сушарки наведена на рис. 10.2.21. Така конструкція є циліндрично-конічним апаратом з тангенційним введенням газодисперсної суміші в верхню частину циліндру. В центрі корпусу 1 знаходиться вивідний патрубок 2. Потік дисперсного матеріалу рухається спіралеподібно вниз і виноситься газом через вивідний патрубок 2 в систему пилоловлення. Така система дозволяє забезпечити нестационарні умови взаємодії фаз (і, відповідно, високу інтенсивність тепло- і масообміну), а також час перебування матеріалу в апараті достатній для висушування продуктів зі

зв'язаною вологою. *Недоліком* циклонних сушарок є те, що їх можна використовувати тільки для добре сипучих матеріалів, яким не притаманні адгезійно-когезійні властивості. Для матеріалів, що злипаються, необхідна пряма ділянка пневмотранспорту, щоб забезпечити їх підсушування, або треба застосовувати рециркуляцію продукту.

*Вихорові* сушарки більш компактні порівняно з циклонними, та характеризуються більшою сепаруючою здатністю. Наприклад, тип сушарки, зображеної на рис. 10.2.22 можна застосовувати для сушіння досить різноманітних

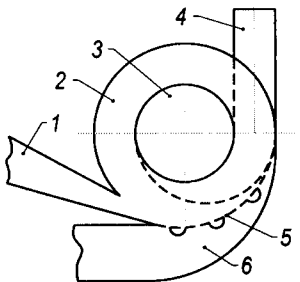


Рис. 10.2.22. Вихорова сушарка.  
1 – додатковий тангенційний газохід,  
2 – корпус, 3 – вивідний отвір, 4 – раялей,  
5 – регулюючі пластини,  
6 – газорозподільвальний короб

продуктів. В нижній частині корпусу 2 розташований жалюзійний пристрій, що складається з декількох вигнутих пластин 5, які обертаються навколо нерухомих осей. Біля жалюзійного пристрою знаходиться короб 6. В камері можливо розташувати додатковий тангенційний газохід 1 для пневматичного подавання матеріалу в апарат. В центральній частині торцевої стінки апарату є отвір 3, до якого підходить равликopodobний канал 4 для виводу газодисперсної суміші.

Вологий порошокподібний матеріал подається живильником в бокову частину камери та під дією газових струменів створює обертовий рух. Газові струмені попадають в камеру через тангенційні щілини, утворені пластинами 5. Відкинутий до стінок матеріал утворює в апараті кільцевий шар, який обертається. В такий шар попадають газові струмени, що виходять через тангенційні щілини. Швидкість газу 50-80 м/с, максимальна швидкість руху матеріалу в апараті 10 м/с. Це забезпечує великі відносні швидкості руху фаз та, відповідно, високу інтенсивність тепло- і масообміну.

Товщина шару матеріалу збільшується із збільшенням розміру його частинок. В промисловий апаратах товщина кільцевого шару приблизно становить 100-150 мм. Це дозволяє накопичувати в апараті велику кількість матеріалу та забезпечувати тривалий час перебування його в камері. Середній час перебування матеріалу в вихоровій камері 10-20 с для частинок розміром 0,1-0,2 мм та досягає 2-3 хвилини для частинок розміром 3-4 мм. Різниця між часом перебування крупних та дрібних частинок дає можливість використовувати вихорові сушарки для полідисперсних матеріалів.

Ефективність використання сушарок вихорового типу суттєво знижується внаслідок застосування пилеочисного обладнання.

До *недоліків* як *циклонних*, так і *вихорових* сушарок можна віднести зниження рушійної сили процесу сушіння внаслідок інтенсивного перемішування і відносно високий гідравлічний опір, тому, обмеження верхньої межі потужності є досить суттєвим. Останній недолік можна частково усунути секціонуванням апарату або комбінуванням сушарок в блоки за паралельними схемами.

Для термолабільних матеріалів з тривалим другим періодом сушіння раціональна конструкція пневмосушарки, в якій спіральний канал ідеального витіснення приєднаний до вихорової камери ідеального перемішування фаз. Така комбінація дозволяє використовувати високотемпературний сушільний агент для видалення вільної вологи матеріалу в спіральному каналі. Далі матеріал досушується в верхній камері сушільним агентом з меншою температурою, більш довгий час. За таким принципом працюють *спіральновихорові* сушарки. Типовою конструкцією є, представлена на рис. 10.2.23. комбінована спіральновихорова пневмосушарка з сепаратором.

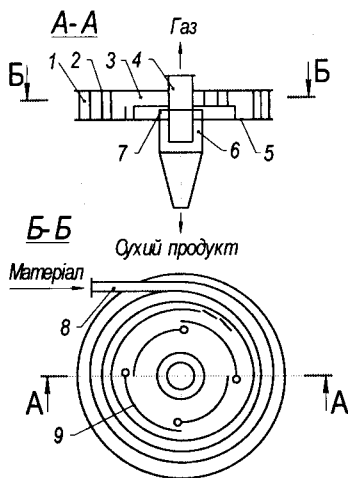


Рис. 10.2.23. Комбінована спіраль-вихорова пневмосушарка з сепаратором:

- 1 – спіральний канал, 2 – кришка, 3 – вихорова камера, 4 – вивідний патрубок, 5 – днище, 6 – циклонна камера, 7 – поріг, 8 – патрубок, 9 – елементи регулювання.

підсушування матеріалу, а потім попадає в центральну частину сушарки (вихорову камеру 3), де більш дрібна фракція, що проходить між секціями елементів регулювання 9, відкидається напрямленим рухом до виходу з сушарки в осаджуючий циклон 6. Більш груба фракція деякий час циркулює між секціями 9 і останнім витком спіралі. Підбираючи величини зазорів між кінцями секцій 9, встановлюють оптимальний час перебування кожної фракції в сушарці. Це забезпечує рівномірне сушіння всіх фракцій, інтенсифікацію тепло- і масообміну та підвищення якості готового продукту.

**Фільтраційні сушарки.** Одним з достатньо нових вискоефективних методів сушіння є фільтраційне, фізична суть якого полягає в профільтовуванні теплового агенту крізь канали, пори та капіляри газопроникного матеріалу в напрямку «шар вологого матеріалу – перфорована перегородка» під дією перепаду тисків. Цей метод має ряд істотних переваг у порівнянні з традиційними конвективними методами: наявність механічного витіснення вільної вологи; можливість сушіння тепловим агентом з низьким температурним потенціалом; профільтовування теплового агенту крізь внутрішню поверхню пор і капілярів, геометрична поверхня яких в сотні разів перевищує зовнішню поверхню матеріалу; високі коефіцієнти тепло- та масовіддачі; відсутність стадії очищення теплового агенту після сушіння.

Вона складається з спірального каналу 1 прямокутного січення, утвореного вертикальною спіральною перегородкою, плоским дном 5 та кришкою 2. По центру встановлена розвантажувальна циклонна камера 6, що утворює з останнім витком спіралі вихорову камеру 3, в якій розташовані елементи регулювання 9. Такі елементи є протилежні секції спіралі, встановлені на шарнірах. Між вихоровою та циклонною камерами є поріг-знімач 7. Змінюючи висоту порога можна регулювати час перебування матеріалу у всій сушильній камері. Час перебування у вихоровій камері окремих фракцій матеріалу регулюється положенням елементів 9.

Газова суміш дисперсного матеріалу поступає в спіральний сушильний канал 1, де відбувається



Фільтраційний метод сушіння застосовується для сушіння як листових газопроникних, так і полідисперсних матеріалів.

На рис. 10.2.24 схематично зображена установка фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів. На рис. 10.2.24а – розріз А-А установки. Установка фільтраційного сушіння містить транспортер з перфорованою стрічкою транспортера 1, яка опирається на ролики 2 і приводиться у рух барабаном 3. Під транспортером 1 встановлена камера розрідження 4, яка з'єднана з вентилятором 5. Над транспортером 1 встановлені: бункер 6 для зберігання вологого матеріалу, на якому встановлений шибер 7 для регулювання початкової висоти шару вологого матеріалу і камера 8 для підводу теплоносія. У камері 8 розташовані скребкові транспортери 9, для видалення сухого матеріалу в бункер 10. Для вивантаження сухого матеріалу встановлений бункер 11. Установка працює наступним чином. Вологий матеріал завантажують у бункер 6. В камеру 8 подають нагрітий до певної температури теплоносій. Включають вентилятор 5, який створює розрідження у камері 3. Включають стрічковий транспортер 1 і скребкові транспортери 9. При допомозі шибера 7 виставляють початкову висоту вологого матеріалу. Вологий матеріал разом із транспортером 1 переміщуються вздовж камери 8. Внаслідок створеного вентилятором 5 розрідження гарячий теплоносій просмоктується через вологий матеріал, висушуючи його. Скребкові транспортери 9 вивантажують частину сухого матеріалу у бункер 10, зменшуючи висоту сипкого матеріалу, який знаходиться на транспортері 1. Сухий матеріал із транспортера 1 вивантажується у бункер 11.

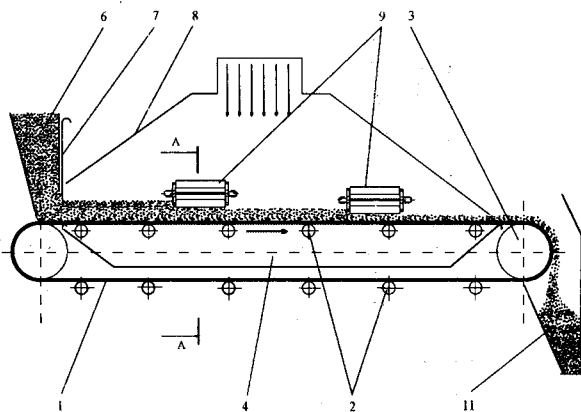


Рис. 10.2.24. Установка фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів

- 1 – стрічка транспортера; 2 – ролики; 3 – барабан; 4 – камера розрідження;  
6 – завантажувальний бункер; 7 – шибер для регулювання початкової висоти матеріалу;  
8 – камера для підводу теплоносія; 9 – скребкові транспортери;  
11 – розвантажувальний бункер

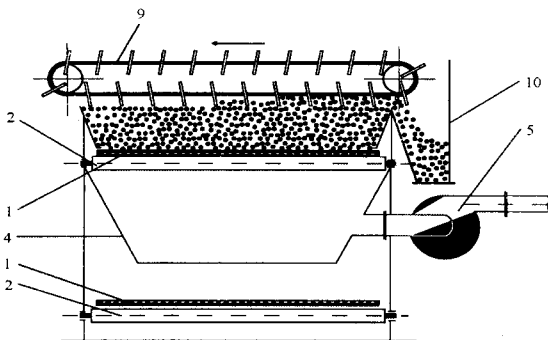


Рис. 10.2.24а. Розріз А-А установки: 5 – вентилятор; 10 – розвантажувальний бункер

Для забезпечення оптимальних умов сушіння матеріалу з різною початковою вологістю скребкові транспортери встановлені з можливістю регулювання у вертикальному положенні, що дозволяє змінювати висоту шару матеріалу, який видаляється із зони сушіння. Відстань між початком зони сушіння і скребковим транспортером повинна регулюватися з можливої причини зміни продуктивності сушарки, а також оптимальних режимів її роботи. Для виключення пересипання сухого матеріалу через скребок транспортера (у випадку коли висота шару і висота скребка є однаковими), він встановлений з можливістю регулювання по відношенню до напрямку руху транспортеру 1.

Описаний метод фільтраційного сушіння, що реалізується на установці, схема якої зображена на рис. 10.2.24-10.2.24а, дозволяє запобігти перегріву верхніх шарів матеріалу, збільшити швидкість підведення тепла до вологого матеріалу, зменшити гідравлічний опір шару сипкого матеріалу і за рахунок цього скоротити час сушіння матеріалу і зменшити енергетичні затрати на процес.

### Контактні сушарки

Контактне сушіння здійснюється шляхом передачі тепла від теплоносія до матеріалу через розподіляючу їх стінку в контактних сушарках, що поділяються на періодично і безперервно діючі. З періодично діючих сушарок поширені вакуум-сушильні шафи і гребкові вакуум-сушарки, у яких швидкість сушіння збільшується за рахунок перемішування матеріалу горизонтальною мішалкою з гребками, яка повільно обертається. З безпереводючих застосовують двохвальцеві

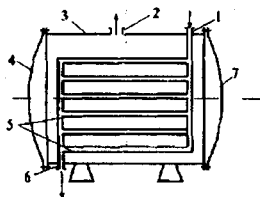
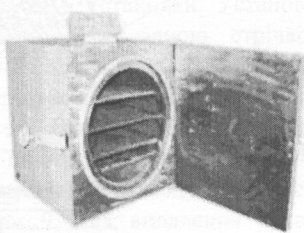


Рис. 10.2.25. Вакуум-сушильна шафа:  
1 – труба для введення пари,  
2 – патрубок для створення вакууму,  
3 – корпус шафи, 4, 7 – дверцята для завантаження і розвантаження шафи, 6 – спускна труба

атмосферні і вакуумні сушарки, а також одновальцеві формуючі сушарки. Висушування при зниженому тиску в замкнутому просторі використовується в тих випадках, коли матеріал чутливий до високих температур.

Найпростішими контактними сушарками періодичної дії є *вакуум-сушильні шафи* (рис. 10.2.25), що у даний час широко використовуються у виробництвах з малотонажним випуском і різноманітним асортиментом, яким є і фармацевтичне виробництво, де застосування високопродуктивних механізованих сушарок безперервної дії є економічно недоцільним.



Вакуум-сушильна шафа ШСВ-65

Вакуум-сушильна шафа складається з циліндричної камери 3, у якій розміщені порожнисті плити 5, що обігріваються зсередини паром або гарячою водою. Матеріал, що висушується, у вигляді згущеної сметаноподібної маси намазується на листи (товщиною 0,5-4 см), які розміщують на плитах. Камеру герметично закривають за допомогою дверцят 4, 7 і з'єднують патрубком 2 з лінією вакууму. Сушіння відбувається під вакуумом при температурі близько 50 °С, що залежить від глибини вакууму. При цьому утворюється високий (до 15-20 см) шар пористого легкого матеріалу, який добре розчиняється у воді.

Вивантаження матеріалу проводиться вручну. Такі сушарки придатні для сушіння легкоокислюваних, вибухонебезпечних і виділяючих шкідливі або цінні пари речовин. Однак вони малопотужні і малоефективні, оскільки сушіння в них відбувається в нерухомому шарі за наявності погано провідних теплосазорів між листами і плитами, які гріють. Навантаження робочої поверхні плит з боку матеріалу звичайно не перевищує 0,5-2,5 кг/(м<sup>3</sup>·год) вологи.

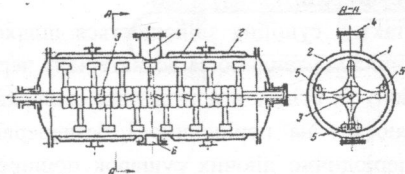


Рис. 10.2.26. Гребкова вакуум-сушарка:

- 1 – корпус сушарки, 2 – парова сорочка, 3 – мішалка,  
4 – гребки, 5 – завантажувальний люк, 6 – труби,  
7 – розвантажувальний люк.

### Гребкові вакуум-сушарки (рис.

10.2.26). У такій сушарці, що має циліндричний корпус 1, парову сорочку 2 і мішалку 3, швидкість сушіння трохи збільшується за рахунок повільного перемішування матеріалу обертовою горизонтальною мішалкою 3 із гребками 4. Гребки мішалки закріплені на валу взаємно

перпендикулярно: на одній половині довжини барабана гребки мішалки вигнуті в одну сторону, на іншій - у протилежну. Крім того, мішалка має реверсивний привід, що автоматично змінює кожні 5-8 хв напрямок обертання. Тому при

роботі мішалки матеріал, завантажений через люк 5, періодично переміщається від периферії до середини та у зворотному напрямку. Вал мішалки може бути порожнім і через нього можна також здійснювати нагрівання матеріалу, що висушується. Вільно перекочуються труби 6, які сприяють руйнуванню грудок і додатково перемішують матеріал. Розвантаження висушеного матеріалу відбувається через люк 7. Корпус сушарки з'єднаний з поверхневим або барометричним конденсатором і вакуум-насосом. Продуктивність сушарки залежить від температури пари, що гріє, величини розрідження і початкової вологості матеріалу. Навантаження поверхні за вологою коливається в межах 6-8 кг/(м<sup>3</sup>·год), тобто вище, ніж для вакуум-сушильних шаф. Однак, сушильний агрегат є більш складним і вимагає великих експлуатаційних витрат.

Застосування вакуумних сушарок, незважаючи на їх більш високу вартість і складність у порівнянні з атмосферними сушарками, диктується технологічним розумінням: вони придатні для сушіння чутливих до високих температур речовин, а також для одержання висушених продуктів підвищеної чистоти. Їх застосовують також у випадках, коли необхідне вловлювання (конденсація) парів неводних розчинників, що видаляються з матеріалів.

**Вальцеві сушарки** здійснюють безперервне сушіння рідин і текучих пастоподібних матеріалів при розрідженні або атмосферному тиску. Основною частиною **двовальцевих сушарок** (рис. 10.2.27), які найбільш часто застосовуються у фармацевтичному виробництві, є вальці 2 і 3, які повільно обертуються ( $n = 2-10$  об/хв) у кожусі 1 назустріч один одному. Зверху, між вальцями, постійно подається матеріал, що висушується. Гріюча пара

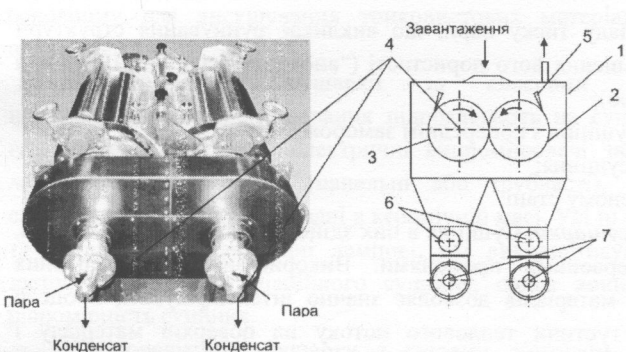


Рис. 10.2.27. Двовальцева сушарка:

1 - кожух, 2 - ведучий пустотілий валок на рухомих підшипниках, 3 - ведений пустотілий валок, встановлений нерухомо, 4 - сифонні трубки для відводу конденсату, 5 - привід, 6 - ножи, розташовані вздовж утворюючих кілця, 7 - верхній досушувач, 8 - нижній досушувач

надходить через порожню форсунку всередину кожного з вальців, паровий конденсат проходить через сифонну трубку 4. Матеріал покриває обертову поверхню вальців тонкою плівкою, товщина якої регулюється величиною зазору між вальцями. Зазвичай зазор - 0,5-1,0 мм.

Висушування матеріалу відбувається інтенсивно в тонкому шарі протягом одного неповного обороту вальців. Плівка підсушеного матеріалу знімається ножами 6, розташованими уздовж утворюючої кожного вальця. Чим тонший шар матеріалу на вальцях, тим швидше і рівномірніше він сушиться. Однак внаслідок малої тривалості сушіння часто необхідне досушування матеріалу. У сушарці (рис. 10.2.27) матеріал після вальців послідовно проходить спочатку верхній досушувач 7, потім - нижній 8.

### **Спеціальні сушарки та перспективні методи сушіння**

В останні роки промисловість і наука накопичили великий досвід щодо сушіння субстанцій для виготовлення фармацевтичних та біологічних препаратів. Основною метою при цьому є максимальне збереження в продукті діючих речовин, а також необхідних властивостей. Не втрачає актуальності й завдання впровадження нових високоінтенсивних процесів і апаратів, заснованих на електрофізичних методах.

Висушені продукти, що виробляються сьогодні, під час сушіння дають значну усадку, зменшуючись в об'ємі в 3-4 рази, а в процесі подальшої гідратації повільно відновлюються, поглинаючи воду. З метою усунення цих недоліків останніми роками розроблено ряд нових методів одержання швидковідновлювальних висушених продуктів.

До них відноситься одержання пористих продуктів шляхом:

- 1) інтенсивного підведення тепла до центру продукту (в ІЧ-променях, ВЧ і НВЧ-полях);
- 2) створення перепаду тиску пари, що викликає руйнування структури продукту і збільшення його пористості ("вибухове" сушіння і сушіння передгістою парою);
- 3) конвективного сушіння з попереднім заморожуванням;
- 4) сублімаційного сушіння;
- 5) сушіння у вспіненому стані.

**Терморадіаційні сушарки.** Сушіння в них здійснюється за рахунок тепла, що надається інфрачервоними променями. Використання інфрачервоних променів для сушіння матеріалів дозволяє значно інтенсифікувати процеси внаслідок збільшення густини теплового потоку на поверхні матеріалу і проникнення цих променів на деяку глибину (0,1-2 мм).

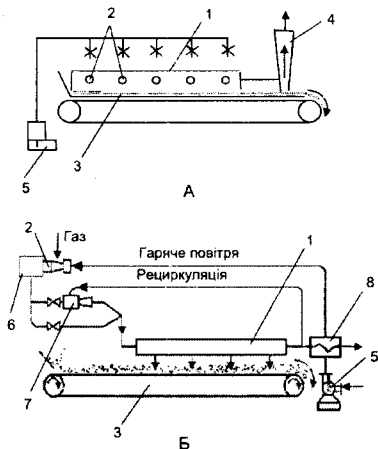


Рис. 10.2.28. Терморадіаційні сушарки з газовим обігрівом:

а – відкритим полум'ям, б – продуктами згоряння газів; 1 – опромінююча панель, 2 – газовий пальник, 3 – транспортер, на якому знаходиться висушений матеріал, 4 – вихлопна труба, 5 – вентилятор, 6 – камера згоряння, 7 – інжектор, 8 – повітропідігрівач

сушіння під дією високого температурного градієнта волога може переміщатися всередину матеріалу доти, поки під дією більшої, протилежно спрямованої рушійної сили (за рахунок градієнта вологості) не почнеться випаровування вологи з матеріалу. Тому терморадіаційне сушіння ефективне в основному для висушування тонколистових матеріалів або лакофарбових покриттів.

Терморадіаційні сушарки за способом обігріву генераторів інфрачервоного випромінювання підрозділяють на сушарки з електричним і газовим обігрівом. Як електричні випромінювачі застосовують дзеркальні лампи, елементи опору (панельні або трубчасті), керамічні нагрівачі - електричні спіралі, запресовані в керамічній масі. Усі ці нагрівачі більш складні та інерційні, ніж звичайні лампові, які використовують в перший період застосування терморадіаційного сушіння, однак вони забезпечують велику рівномірність сушіння.

Терморадіаційні сушарки з газовим обігрівом звичайно простіші та економніші на відміну від сушарок з електрообігріванням. При газовому обігріві випромінювачами є металеві або керамічні плити, які обігривають відкритим полум'ям або продуктами згоряння газів. У першому випадку обігрів випромінюючів панелі 1 (рис. 10.2.28, а) відкритим полум'ям газових пальників

Зазначеним способом до матеріалу можна підводити питомі потоки тепла, що приходяться на 1 м<sup>2</sup> його поверхні, у десятки разів перевищуючі відповідні потоки при конвективному і контактному сушінні. Тому при сушінні інфрачервоними променями значно збільшується інтенсивність випаровування вологи з матеріалу.

Однак при висушуванні товстошарових матеріалів швидкість сушіння може визначатися не швидкістю підведення тепла, а швидкістю внутрішньої дифузії вологи або вимогами, які висуваються до якості матеріалу, що висушується: порушення структури, неприпустимість короблення і т.п. У початковий період радіаційного

2 проводиться з боку, поверненого до матеріалу, який переміщається на транспортері 3.

Кращі умови праці і більший ККД досягаються з використанням другої схеми - при нагріванні продуктами згоряння газів, що рухаються усередині випромінювача 1 (рис. 10.2.28, б). Газ і гаряче повітря надходять у пальник 2. Продукти згоряння з камери 6 направляються на обігрів випромінюючої поверхні. Рухаючись, вони підсмоктують за допомогою інжектора 7 частину відпрацьованих (рециркулюючих) газів для збільшення швидкості потоку теплоносія і підвищення коефіцієнта тепловіддачі від газів до поверхні випромінювання. Повітря, що надходить у пальник, вентилятором 5 прокачується через повітрепідігрівач 8, у якому використовується тепло газів, що відходять.

У сучасних радіаційних сушарках з газовим обігрівом ефективно використовують випромінюючі насадки з безполум'яним горінням. Такі пальники можуть використовуватися при спалюванні низькокалорійного генераторного газу. Принцип безполум'яного горіння з випромінюючою насадкою-шаром полягає в тому, що суміш палинкових газів і повітря пропускають через пористу стінку, виконану з монолітного вогнетривкого матеріалу, зі швидкістю, що перевищує швидкість запалювання газоповітряної суміші. Спочатку горіння проходить в звичайних умовах, потім полум'я поступово зменшується і при розігріві стінки до яскравого розжарювання горіння концентрується на її зовнішній поверхні, що випускає потужні потоки теплової радіації. Терморадіаційні сушарки вирізняються відносно високою витратою енергії - 1,5-2,5 кВт-год на 1 кг вологи, яка випаровується, що обмежує їхнє застосування.

Такі типи сушильних ІЧ-шаф, як «Феруза-Схід» і «Феруза-Фермер» виробництва підприємства «Феруза» (Санкт-Петербург), «Ікар» та інші використовують звичайні теплові ТЕНи, які фактично служать для нагріву взаємодії з продуктом повітря. У більшості спроектованих шаф цього типу встановлено вентилятори, які збільшують швидкість руху нагрітого повітря, що дозволяє йому, крім функцій теплоагента, виконувати ще й функцію видалення вологи, яка випаровується.

Заслугує на увагу поєднання радіаційно-конвективного сушіння з переривчастим (осцилюючим) режимом опромінення. Таке опромінення дозволяє уникнути перегрівання продукту, що дуже важливо для збереження його якості, а також знизити витрату енергії.

Під час відключення генератора ІЧ-променів відбувається вирівнювання температур по перетину частинок, температурний градієнт змінює свій знак і волога спрямовується від центру до поверхні. Відбувається інтенсифікація

процесу сушіння, а утворення скоринки усувається. Максимально інтенсифікувати процес сушіння також можна, комбінуючи киплячий або віброкиплячий шар та ІЧ-опромінення. У даному випадку створюється сприятливе поєднання позитивних властивостей псевдозріженого шару та ІЧ-нагрівання.

**Мікрохвильове сушіння (НВЧ-сушіння).** За кілька десятиліть, що минули з моменту появи наукових і технічних передумов для створення апаратури і технологій НВЧ-сушіння, створено величезну кількість різних варіацій установок НВЧ-нагрівання. Мікрохвильові установки або НВЧ-установки - обладнання, яке працює в діапазоні від 300МГц до 300 ГГц, що відповідає довжині хвиль від 1м до 1 мм. Найбільшого поширення в якості генератора НВЧ-випромінювання в мікрохвильових установках знайшли магнетрони на 2450, 2375 МГц і потужністю від 0,5 до 1 кВт. ККД окремих конструкцій магнетронів досягає 85%.

Під час сушіння у НВЧ-полі теплота виділяється в усьому об'ємі тіла, але внаслідок тепловіддачі від зовнішньої поверхні температура глибинних шарів виявляється вищою, ніж на поверхні. Різниця температур і вологості, що виникають у матеріалі, прискорюють переміщення вологи з глибини тіла до поверхні (направлення концентраційної і термодифузії збігаються) в десятки й сотні разів порівняно з конвективним сушінням. Нагрівання матеріалів в електромагнітному полі НВЧ обумовлене коливальним рухом і переорієнтацією зв'язаних зарядів - диполів - під дією електромагнітного поля НВЧ, виникає при цьому «внутрішнє тертя» диполів один до одного, що приводить до «внутрішнього» нагрівання матеріалу.

Мікрохвильове випромінювання забезпечує високу якість продукції, енерго- та ресурсозбереження, швидкість приготування, при цьому нагрівання відбувається по всьому об'єму продукту, зменшується руйнування вітамінів, біологічно активних речовин та ефірних олій.

**Високочастотні (діелектричні) сушарки.** ВЧ-нагрівання - прогресивний технічний прийом, що дозволяє значно інтенсифікувати теплові та масообмінні процеси. Застосування сушіння в полі струменів високої частоти ефективне для висушування товстошарових матеріалів, коли необхідно регулювати температуру і вологість не тільки на поверхні, але й у глибині матеріалу. Таким способом можна сушити матеріали, що володіють діелектричними властивостями (пластмаси, смоли, деревину та ін.). **Високочастотна сушарка** (рис. 10.2.29) складається з лампового високочастотного генератора 1 і сушильної камери 2. З мережі змінний струм надходить у випрямляч 7, потім - у генератор, де перетворюється в змінний струм високої частоти. Цей струм підводиться до пластин конденсаторів 3 і 4,



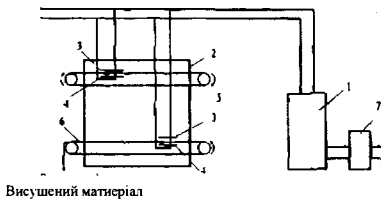


Рис. 10.2.29. Високочастотна (діелектрична) сушарка: 1 – ламповий високочастотний генератор, 2 – сушильна камера, 3,4 – пластини конденсаторів, 5, 6 – нескінченні стрічки, на яких знаходиться матеріал, який висушується, 7 – випрямляч

між якими рухається на стрічці матеріал, що висушується. У сушарці матеріал висушується спочатку на стрічці 5, а потім надходить на стрічку 6, де досушується. Під дією електричного поля високої частоти іони та електрони в матеріалі, що містить звичайно деяка кількість електроліту, наприклад розчину солі, змінюють напрямок руху синхронно зі зміною знаку заряду пластин конденсатора: дипольні молекули

отримують обертальний рух, а неполярні молекули поляризуються за рахунок зсуву їхніх зарядів. Ці процеси, які супроводжуються тертям, приводять до виділення тепла і нагрівання матеріалу, що висушується.

Змінюючи напруженість електричного поля, можна регулювати величину температурного градієнта між внутрішніми шарами матеріалу і його поверхнею, тобто регулювати швидкість сушіння, а також вибірково нагрівати лише одну зі складових частин неоднорідного матеріалу.

У полі струменів високої частоти можливе швидке (за рахунок посиленої термодифузії вологи) і рівномірне сушіння товстошарових матеріалів. Однак сушіння в полі високої частоти для більшості матеріалів виявляється дорожче конвективної у 3-4 рази. Крім того, устаткування сушарок у полі високої частоти більш складне і дороге в експлуатації. Тому застосування височастотного сушіння обмежено спеціальними випадками, наприклад конвеєрним сушінням дрібних дорогих виробів, і вимагає техніко-економічного обґрунтування в кожному конкретному випадку.

**Сублимаційні сушарки (ліофілізатори).** Останнім часом стрімко розвивається виробництво нових високоефективних медикаментів на білковій основі. За останнє десятиліття розробка нових методів введення лікарських препаратів та засобів для інгаляції сухих порошкоподібних речовин і їх безголкових дошкірних ін'єкцій або пролонговане парентеральне введення препаратів привело до зростання потреби в порошковій лікарській формі, що має в своєму складі активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ).

На відміну від виробництва і прийомів поводження з порошковими формами, призначеними для внутрішнього вживання, методи виробництва стабільних біофармацевтичних порошоків стикається з серйозними обмеженнями, пов'язаними з чутливістю пептидів та протеїнів до умов процесу подрібнення до порошкоподібного стану. Більш того, об'ємні властивості, такі, як розподіл за розмірами частинок в кінцевому продукті або їх щільність

різняться в залежності від призначення цього продукту. Частинки сухого порошку для інгаляції, наприклад, повинні бути менше 5 мкм у діаметрі, в той час як частинки для безголкової балістичної інжекції повинні бути діаметром 30-60 мкм і щільністю більше 0.7 г/мл для успішного внутрішньошкірного введення.

З появою новітніх лікарських засобів висуваються і нові вимоги до технологічного процесу. Основними тенденціями є підвищення концентрації активних речовин в лікарських препаратах і підвищення точності дозування. Крім того, дуже важливим параметром є біодоступність препарату. Білки являють собою комплексні структури, які можуть змінюватися при фізичному або хімічному впливі, наприклад при денатурації, агрегації, окисненні і гідролізі. Щоб цього уникнути, в асептичному виробництві успішно використовується ліофілізація (сублімаційна сушіння).

*Сублімаційне сушіння* - це сушіння матеріалів у замороженому стані. При такому сушінні волога, що знаходиться в матеріалі, переходить у пару, минаючи рідкий стан, тобто сублімує. Таке сушіння називається *сублімаційним*, або *молекулярним*. Його також називають *ліофільним* сушінням. Термін "ліофільний" походить від грецького *lyo* - розчиняю і *phileo* - люблю і означає легкорозчинний. Дійсно, порошки, отримані зазначеним методом, дуже гігроскопічні і легко розчинні. Сублімаційне сушіння відбувається в умовах глибокого вакууму (1 – 0.1 мм. рт. ст.) і, відповідно, за низьких температур.

Сублімаційне сушіння дозволяє зберегти основні біологічні якості матеріалів, що висушуються, і широко використовується у фармацевтичному і біотехнологічному виробництвах при одержанні ферментів, антибіотиків, препаратів крові та кровозамінників, імунобіологічних препаратів, біологічних розчинів, сивороток, мікробних культур, гормональних препаратів та ін.

Стосовно процесу сушіння сублімація вологого матеріалу - процес сушіння його в замороженому стані (сублімація льоду, що знаходиться у середині матеріалу).

Ефективність застосування вакууму при сушінні сублімацією полягає в тому, що зі збільшенням розрідження падає і температура фазового переходу; при підведенні тепла в умовах глибокого вакууму можна створити великі різниці температур між матеріалом і джерелом тепла в порівнянні зі звичайним вакуумним сушінням.

Однак не слід вважати, що сушіння сублімацією можливе тільки в умовах глибокого вакууму. Ще в XVI-XVII ст. проводили сушіння в замороженому стані у зимовий час на відкритому повітрі шкір і тканин. У даному випадку різниця температур дуже мала (близька до нуля), тому таке сушіння було дуже тривале і промислового застосування не одержало.

Дані дослідження показали, що при постійній температурі середовища інтенсивність випаровування, тривалість сушіння або швидкість відводу пари льоду, що випаровується, зростають зі зменшенням тиску. Весь процес сушіння можна розділити на три періоди: I - період *самозаморожування*, коли в результаті зниження тиску в сушильній камері відбувається заморожування вологи в матеріалі; при цьому різке зниження тиску приводить до інтенсивного випаровування вологи з поверхні матеріалу; при заморожуванні звичайно випаровується до 10-15 % усієї вологи, що видаляється; II - *період сублимації*, аналогічний періоду постійної швидкості сушіння; III - *період випаровування* залишкової вологи.

Механізм перенесення вологи від поверхні випаровування при сублимаційному сушінні відбувається шляхом ефузії (вільний рух молекул пари без взаємного стикання їх одна з одною).

Сушіння проводиться при обережному та м'якому обігріванні замороженого матеріалу водою, оскільки кількість тепла не повинна перевищувати його витрату на сублимацію льоду без його плавлення.

*Недоліком* сублимаційного сушіння є те, що сумарна витрата енергії та експлуатаційні витрати більші, ніж при будь-якому іншому способі сушіння (окрім діелектричного способу). Тому застосування такого високовартісного сушіння доцільне лише в тих випадках, коли необхідно якісне збереження всіх властивостей продукту при довготривалому зберіганні. Тому сублимацію застосовують для сушіння цінних продуктів, що не витримують звичайного теплового оброблення і які необхідно зберігати тривалий час без зміни їх біологічних властивостей (пеніцилін, деякі інші медичні препарати, плазма крові, високоякісні харчові продукти).

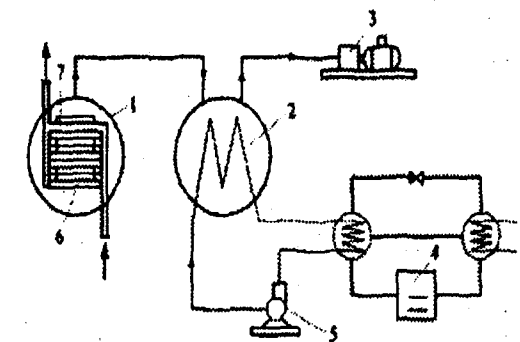


Рис. 10.2.30. Принципова схема сублимаційної сушарки:

1 - камера сушарки (сублиматор), 2 - конденсатор-виморожувач, 3 - вакуум-насос, 4 - холодильна установка, 5 - насос для циркуляції холодоагента (розсолу, етанолу та ін.), 6 - пустотіла плита, 7 - лист

Принципова схема сублимаційної сушарки наведена на рис. 10.2.30. У сушильній камері 1, яка називається сублиматором, знаходяться пустотілі плити 6, усередині яких циркулює гаряча вода. На плитах установлюють листи 7 з матеріалом, що висушується. Між плитами і листами є зазор, що сприяє передачі тепла переважно радіацією.

У фармацевтичному виробництві висушування проводять з: ампул, пеніцилінових флаконів або склотари більших об'ємів, у які наливають розчин або суспензію, що висушують. Як правило, заморожування проводять в окремих низькотемпературних морозильних камерах. Ємності із замороженим матеріалом, який підлягає висушуванню, швидко завантажують в охолоджену камеру сублиматора. Камеру герметизують і встановлюють необхідні параметри процесу. При сублимації паро-повітряна суміш з сублиматора 1 надходить у труби конденсатора-виморожувача 2, у міжтрубному просторі якого циркулює холодоагент (розсіл, охолоджений етанол та ін.). Конденсатор включається в один циркуляційний контур з випарником (аміачним, фреоновим та ін.) холодильної установки 4 і з'єднується з вакуум-насосом 3, який призначений для відсмоктування газів, що неконденсуються, і повітря із сублиматора. У трубах конденсатора відбуваються конденсація і заморожування водяної пари. Для безперервного видалення з конденсатора льоду, що утворюється в ньому, встановлюють два конденсатори, які по чергову працюють і розморожуються.

Першою стадією сублимації є заморожування, і його варто проводити з врахуванням евтектичних температур, що є індивідуальними для кожної речовини. *Евтектична температура* – це найвища температура, при якій відбувається кристалізація (заморожування) матеріалу, який підлягає висушуванню. При зазначеній температурі знаходяться в рівновазі рідина і тверда фаза. Заморожування розчинів, як і заморожування чистих речовин, відбувається при постійній температурі.

Встановлення евтектичної температури лабільних препаратів є обов'язковим, тому що це дозволяє визначити припустимий рівень нагрівання при висушуванні препаратів.

Визначають евтектичні температури різними методами: термічним, вимірюванням опору замороженого розчину і диференційно-термічним.

В основі термічного способу визначення евтектичних температур лежить спостереження за температурою матеріалу в процесі повільного заморожування-відтаювання. Електричний опір найбільш точно характеризує стан замороженого розчину. Сутність цього методу полягає в тому, що одночасно вимірюють температуру та електричний опір розчинів, які повільно нагріваються, і препаратів, попередньо заморожених, нижче евтектичних температур. Температура, при якій спостерігається перехід електричного опору від нескінченно великого до кінцевого (його можна вимірити), і буде відповідати евтектичній температурі.

Евтектичні температури препаратів можна визначити на установці, що складається з наступних приладів: вимірювач повних провідностей місткового

типу, автоматичного потенціометра і термоізоляційної камери з охолоджувальним середовищем.

При повному заморожуванні зразка, що представляє собою крижаний блок, електричний струм не проходить і опір у такому стані виміряти не вдається. При відтаюванні блоку опір можна виміряти і з підвищенням температури він зростає. Точки, у яких спостерігається перехід від лінійної залежності до криволінійної, будуть відповідати евтектичним температурам досліджуваних розчинів.

В теперішній час багато закордонних фірм, серед яких такі, як CHRIST, Tofflon, Luxun International Group випускають установки ліофільного сушіння – *ліофілізатори* (або *сублимаційні сушарки*). Розроблена фірмою CHRIST конструкція установки відкриває нові можливості: конденсатор розташований прямо під сушильною камерою, а в збільшеному отворі, через який відбувається сполучення між камерою і конденсатором, встановлена прямокутна запірна пластина з електрогідравлічним приводом. Таким чином, створюються ідеальні умови для потоку водяної пари. Тільки в тому випадку, якщо під час сушіння є достатні січення отворів, щоб справлятися з величезною кількістю пари, не буде виникати занадто висока різниця тисків між сушильною камерою і камерою конденсатора (особливо на початку процесу). Завдяки цьому продуктивність і економічність установки помітно збільшуються. За допомогою такої конструкції установки можна висушувати також особливо чутливі матеріали при температурі, близькій до точки плавлення (евтектична точка); час сушіння при цьому скорочується.

#### *Переваги установок ліофільного сушіння Tofflon:*

- надійні, високоякісні ключові компоненти від всесвітньо відомих виробників (Edwards, Mycom, Bitzer, Copeland, Grundfos, Alfa Laval, Danfoss, Pall, Omron, Dell, ABB, MKS та ін), а також високосортна нержавіюча сталь зі Швеції та Фінляндії.
- відповідність вимогам GMP;
- індивідуальні рішення відповідно до технічного завдання замовника з використанням широкого ряду опцій, наприклад:
  - вертикальні завантажувальні дверцята («Pizza door»);
  - розсувні двері (використовується, наприклад, для напівпромислових установок у ізоляторному виконанні);
  - система «Двері в двері»;
  - автоматична і напівавтоматична система завантаження і розвантаження продукту;
  - ізоляторне виконання;

○ монтаж установки на декількох рамах і на різних рівнях (наприклад, при нестачі місця, складній конфігурації приміщення або при обмеженні за навантаженням на перекриття);

○ модифікація наявних у клієнтів установок Tofflon для оптимізації їх роботи (наприклад, заміна звичайних системи охолодження системою охолодження рідким азотом);

○ гвинтові компресори (наприклад, Musom виробництва Японії);

○ безмасляні («сухі») насоси;

○ система охолодження рідким азотом;

○ подвійний теплообмінник;

○ зовнішня система СІР;

○ пристрій для визначення точки евтектики;

○ пробовідбірник;

○ тест на проникнення води;

○ контрольована система завантаження лотків наливом.

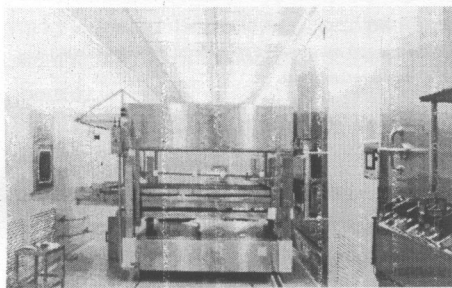
Ціни ліофільних установок Tofflon (рис. 10.2.31-10.2.33), виготовлених відповідно до індивідуальних вимог замовника, нижче, ніж ціни стандартних ліофільних установок деяких провідних світових виробників, і є цілком доступними для вітчизняних фармвиробників.

Кожна установка ліофільного сушіння Tofflon створюється у відповідності з системою забезпечення якості ISO 9001. Ліофільні сушарки валідуються протягом усього циклу: від плану забезпечення якості, програми якості до кваліфікації функціонування, від технічних вимог на проектування до кваліфікації проекту для валідації механічної, електричної та програмної частин проекту. У процесі виробництва та інспекції ліофільних сушарок Tofflon суворо дотримуються стандартних операційних процедур.

Можливе також альтернативне розміщення конденсатора збоку або позаду

камери з продуктом. У цьому випадку між камерою і конденсатором поміщається така ж прямокутна запірна пластина з електрогідравлічним приводом для збільшення площі перерізу потоку.

Завдяки компактній конструкції, утвореної за сетінтеграції камери і конденсатора, такі установки займають небагато місця. Установки, що стерилізують паром,



*Ліофільна установка Tofflon*

виробляються в основному у вбудовуваному виконанні. Установки без стерилізації паром можуть бути у вигляді шафи з обшивкою або у вбудовуваному в стіну виконанні.

Дана конструкція має такі основні *переваги*:

- простота контролю та легкий доступ до конденсатора через двері камери;
- великий поперечний переріз між сушильною камерою і камерою льодового конденсатора, постійна подача водяної пари до конденсатора;
- короткий шлях для водяної пари, завдяки чому досягається високий коефіцієнт корисної дії і економічної роботи установки;
- практично немає перепаду тиску між камерою конденсатора та сушильною камерою, що дозволяє також сушити чутливі і важкі для обробки речовини з низькою точкою затвердіння;
- відсутність перешкод для очищення камери сушіння і камери льодового конденсатора;
- мінімальна кількість ущільнень, що важливе в плані технічного обслуговування;
- відсутність проблем при валідації.

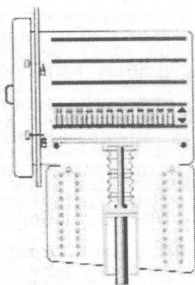


Рис. 10.2.31. Принципова схема двокамерної системи

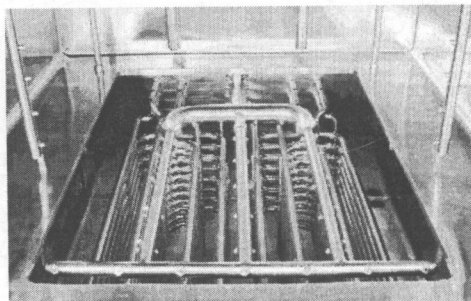
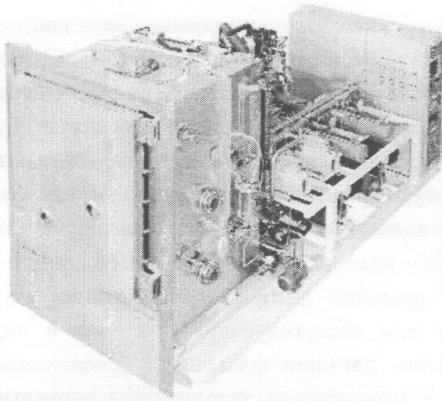


Рис. 10.2.32. Приклад типічної двокамерної установки з вбудованим конденсатором



*Рис. 10.2.33. Приклад промислової ліофільної сушарки*

У сфері асептичного виробництва найчастіше потрібне автоматичне завантаження і вивантаження флаконів у сушарку, щоб виключити ризик контамінації персоналом.

Поряд з класичними технологіями - застосуванням транспортерів і транспортних візків - використовуються роботи. Ця технологія надійно зарекомендувала себе і має цілий ряд переваг:

- можливість використання в чистому приміщенні;
- порівняно менші витрати;
- можливість використання роботів, яких можна легко пристосовувати до

нових умов процесу;

- навіть старі установки, що не мають дверей типу «Pizza door», можна доукомплектувати завантажувальним роботом.

У процесі роботи використовується не тільки широко поширене вимірювання температури продукту і динаміки тиску (тест на підвищення тиску), але і вимірювання електричного опору (Lyo\_Control / Ліо\_контроль) і зменшення ваги проби («осередок зважування») під час технологічного процесу.

Вимірювальний пристрій Lyo-control дозволяє визначити діапазон заморожування продукту, що висушується. Виміряні значення температури продукту та електричного опору служать для визначення параметрів процесу, що забезпечують надійний режим роботи, і дають інформацію про поведінку продукту під час процесу заморожування і сушіння. Можливе використання результатів вимірювань в автоматичному управлінні процесом для підтримки потрібної температури на полицях.



У ході процесу комірка зважування працює в екстремальних температурних умовах і у вакуумі та залишається в установці протягом усього процесу сушіння. Проба розташовується поряд з іншими флаконами на полицях, що забезпечує репрезентативність результатів. Завдяки практично безперервному зважуванню є можливість визначати швидкість сушіння під час будь-якої фази процесу в різних температурних умовах. Закінчення сушіння можна легко і швидко визначити по зменшенню ваги продукту.

Ще одна інновація – використання бездротового вимірювання температури продукту: класичні провідні вимірювальні датчики часто є причиною виникнення проблем при обслуговуванні (так званій «пучок з кабелів»). Нерідко при розміщенні датчиків флакони з пробамі падають, і продукт забруднює сушарку. У промислових установках з автоматичними системами завантаження та вивантаження розміщення звичайних температурних датчиків практично не представляється можливим, особливо за наявності двері з прорізами (Pizza door) та ізоляторів. У цьому випадку цикли сушіння найчастіше проходять без вимірювання температури продукту, і процес керується тільки на основі даних, отриманих при автоматичному розливі продукту у флакони або чаші і передають в онлайнному режимі повідомлення про відповідну температуру продукту протягом всього процесу ліофілізації. Таким чином, в цих установках гарантується оптимальний захист продукту. Завдяки використанню запобіжних функцій управління установкою, запобігаються неприпустимі структурні зміни (наприклад, зміна структури речовини або танення з наступною можливою перехресною контамінацією).

Цікавою є конструкція *циклічної вакуум-сублімаційної сушарки*, в якій поєднаний сублімаційний та терморадіаційний вид сушіння (рис. 10.2.34). Застосовується така конструкція для сушіння рідких термолабільних продуктів мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Тут сушіння проводиться при обережному обігріванні замороженого матеріалу не водою, а інфрачервоним промінням.

Сушарка складається з корпусу 1, в середині якого знаходиться десубліматор 2. Вздовж осьової лінії корпусу розташований вертикальний вал 3, на якому закріплені горизонтальні диски 4. В середині корпусу розташований продуктопровід 5, оснащений радіальними горизонтальними пристроями 6, що є піногенераторами. Сушарка оснащена пристроями 11 для пошарового видалення сухого продукту з поверхні диска. Диски та розміщені над ними піногенератори можна регулювати по висоті. Десубліматор закритий екраном 10. Сушарка оснащена патрубком 7 для подавання вихідного продукту, патрубком 9 для під'єднання до вакуум-насосу та пристроєм 12 для видалення сухого продукту з сушарки.

Вакуум-сублімаційна сушарка працює наступним чином. Рідкий продукт патрубком 7 подається в продуктопровід 5, а потім в радіальні горизонтальні пристрої 6, що являють собою піногенератори. Продукт спінюється та у вигляді піни наноситься шаром на верхню поверхню горизонтальних дисків 4, що закріплені на вертикальному обертовому валу 3. Протягом часу нанесення продукту тиск в сушарці встановлюється нижче потрібної точки. Продукт заморожується при пониженні тиску або заморожується при подаванні холодоагенту в диски.

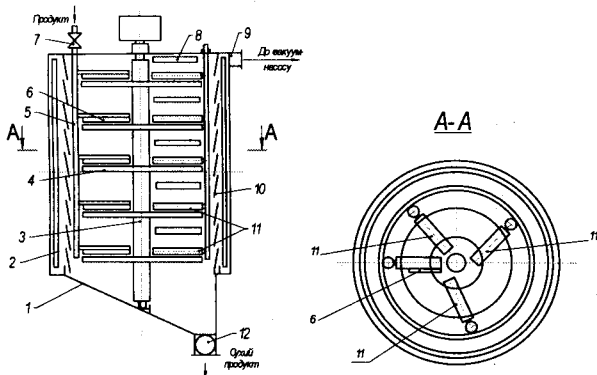


Рис. 10.2.34. Схема циклічної вакуум-сублімаційної сушарки:

- 1 - корпус; 2 - десубліматор; 3 - вертикальний вал; 4 - горизонтальні диски;  
 5 - продуктопровід; 6 - піногенератори; 7 - патрубок для подавання вихідного продукту;  
 8 - інфрачервоні випромінювачі; 9 - патрубок для під'єднання до вакуум-насосу;  
 10 - екран; 11 - пристрої для пошарового видалення сухого продукту; 12 - пристрій для видалення сухого продукту з сушарки

Вмикаються інфрачервоні випромінювачі 8 та починається процес сушіння. Сухий продукт пошарово видаляється пристроями 11. Відбувається оновлення поверхні сушіння. Сухий продукт спадає в нижню частину сушарки та видаляється пристроєм 12. По закінченню процесу сушіння тиск в сушильній камері підвищується до значення не нижче потрібної точки. Газова фаза видаляється з камери вакуум-насосом.

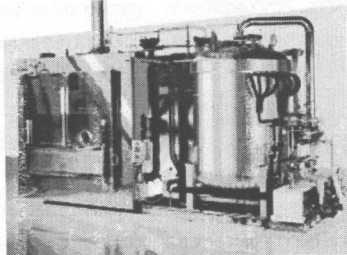
Нанесення попередньо спіненого продукту забезпечує рівномірну структуру шару, що сушиться, а пошарове видалення сухого продукту – оновлення поверхні сублімації, розкриття бульбашок та, як наслідок, багаторазове збільшення поверхні масопередачі. Горизонтальні диски забезпечують рівномірність шару продукту та розвинуту поверхню масопередачі в одиниці об'єму камери.

Стала також доступна така виробнича технологія як надкритична рідина, яка вже продемонструвала свою доцільність на практиці. *Розпилювальна сушарка*, тобто розпилювання рідкого розчину або суспензії в хмару дрібних крапельок з тим, щоб швидко випарувати розчинник і сформувати частинки, – це сьогодні основний метод виробництва і промислової обробки стабільних білкових порошків, хоча чутливі пептиди та білки можуть інактивуватися в процесі обробки, в зв'язку з адсорбцією і денатурацією на межі дотику повітря з рідиною, а також під впливом тепла при випаровуванні.

*Розпилювальне сублімаційне сушіння* – це відносно новий метод виробництва біофармацевтичних порошків, що дозволяє підвищити розчинність погано розчинних хімічних сполук.

Розпилювальне сублімаційне сушіння зазвичай включає:

- розпилювання рідкого розчину або суспензії з використанням однорідних, пневмо- або ультразвукових розпилювачів для формування краплин;
- швидке заморожування цих краплин у криогенному газі або рідині;
- сублімацію замороженої води з подальшим отриманням кінцевих сухих частинок.



*Розпилювальна сублімаційна сушарка*

При розпилювальному сублімаційному сушінні використовують наступні методики: заморожування зрошенням у пару над рідким криогеном, заморожування зрошенням в рідкий криоген. Обидві методики можуть бути використані з подальшим вакуумним сублімаційним сушінням або сублімаційним сушінням при атмосферному чи субатмосферному тиску.

*Заморожування зрошенням в рідину* – це дуже нова технологія розпилення і створення частинок, при якій порція рідини або водний розчин, або розчин, що містить воду і органічні розчинники, а також активний (АФІ) і формоутворюючі наповнювачі, розпилюється під поверхнею стиснутої рідини, такі, наприклад, як стиснутий рідкий CO<sub>2</sub>, гелій, пропан, етан, або криогенні рідини азот, аргон або гідрофторофери. Азот найчастіше використовується як криоген, оскільки він недорогий та інертний до навколишнього середовища.

Численні недавні дослідження показали, що обидва цих методи можуть виявитися дуже ефективними, якщо необхідно виробляти порошкоподібні форми погано розчинних у воді сполук з доброю змочуваністю і поліпшити

характеристики їх розчинності, якими вони володіють завдяки своїй аморфності.

Розпилювальна сублимаційна сушарка використовується в технологічному процесі, якщо продукт повинен мати наступні властивості:

- пористу структуру з великою питомою площею поверхні;
- бути готовим для вживання у якості кінцевого або проміжного продукту;
- високу біодоступність погано розчинних у воді сполук.

Придатність процесу для отримання певних конкретних частинок і порошкової форми і відповідний вибір ґрунтується на потребах для конкретного застосування. Критеріями оцінки процесу є: розмір частинок, та розподіл їх за розміром, ефективність процесу і вихід продукту, масштабність, довготривалість фізичної та біохімічної стабільності порошку. Розпилювальна сублимаційна сушарка є прийнятним методом, якщо визначальними критеріями є контроль розміру частинок, їх сферична форма і великий вихід продукту. Більше того, це може виявитися технологією вибору при необхідності підвищення біодоступності погано розчинних у воді препаратів.

### **Комбіновані сушарки**

Найбільш перспективними для сушіння матеріалів, які важко висушити, є комбіновані апарати, в яких відбувається сушіння при однакових гідродинамічних режимах, що дозволяє суттєво інтенсифікувати процес.

Вологі матеріали з вільною та зв'язаною вологою часто мають високий початковий вологовміст та яскраво виражені адгезійно-когезійні властивості. В таких випадках перша ступінь сушіння повинна забезпечити дезагрегацію матеріалів, які злипаються та скомкуються. Такий процес може бути досягнутий в циліндричному апараті з швидкохідною мішалкою при підвищених швидкостях повітря за умови виносу підсушеного продукту в режимі пневматичного транспорту в другій ступінь – камеру досушування. Таку конструкцію має апарат, який є першою ступінню (підсушувачем) комбінованих циклонних та аерофонтанних сушарок. В нижній частині підсушувача утворюється інтенсивно киплячий шар, який переходить у верхній частині апарату в пневмотранспорт. Друга ступінь комбінованих циклонних сушарок являє собою циклонну камеру, а комбінованих аерофонтанних сушарок – аерофонтанну камеру.

Комбіновані сушильні установки можуть використовуватися не лише для сушіння, але й для проведення комплексних процесів, які поєднують сушіння з хімічною реакцією, подрібненням або гранулюванням матеріалу.

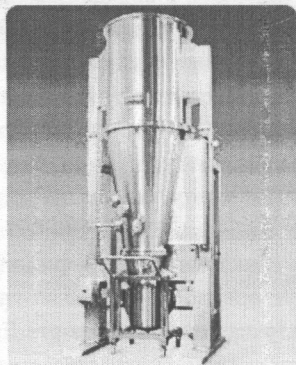
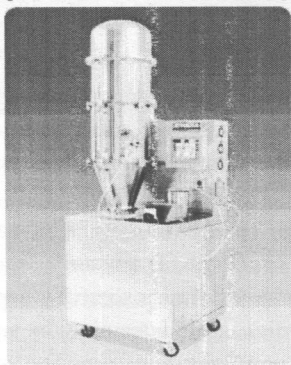
Такі сушарки отримали широке розповсюдження останнім часом (рис. 10.2.35). Необхідно відмітити, що в сушильних установках використовується, як механічне, так і пневматичне подрібнення. Ще більше значення, ніж сушіння з одночасним подрібненням, має сушіння, поєднане з грануляцією.

Однокамерні системи все більше застосовуються для виготовлення гранул у виробництві твердих лікарських форм.

Однокамерна технологія виробництва гранул може бути вибрана з ряду причин:

- у сучасних промислових однокамерних системах вихід готового продукту перевищує 99 %;
- органічні розчинники порівняно легко регенерувати, оскільки в таких системах потрібно обробляти чисті пари розчинника, а не великі об'єми повітря з низьким вмістом органічних розчинників, як у випадку апаратів з псевдозрідженим шаром. Сушіння відбувається під вакуумом, тобто при практичній відсутності кисню, що суттєво знижує небезпеку вибуху.
- в однокамерних апаратах порівняно легко забезпечити захист навколишнього середовища при роботі з високоактивними речовинами, завдяки повністю замкнутій конструкції і вбудованим системам миття;
- однокамерні апарати можна застосовувати для асептичного виробництва гранул, оскільки це повністю циклічний процес і в апарат можна вбудувати додаткову систему стерилізації.

Процес гранулювання в однокамерних системах відбувається так само, як в традиційних змішувачах грануляторах.



*Рис. 10.2.35 Сушарки-гранулятори*

Володіючи рядом переваг над класичними системами грануляції і подальшого сушіння однокамерні системи грануляції сушіння знаходять все

більш широке застосування. Можна виділити декілька основних *переваг* однокамерних установок перед класичними схемами:

- для монтажу однокамерної установки в чистому приміщенні потрібно значно менше місця, ніж для установок киплячого шару і тим більше для інтегрованих систем грануляції-сушіння. Частина приводів і допоміжних систем апарату виносяться в технічну зону;

- якість отримуваних в процесі грануляції-сушіння гранул вища, ніж при роботі в киплячому шарі – вміст повітря в гранулах нижче в першому випадку, що позитивно позначається на процесі таблетування;

- значно спрощується робота з органічними розчинниками внаслідок необхідності конденсації малих об'ємів парів розчинника;

- спрощується процедура переходу з одного продукту на інший внаслідок значного скорочення часу миття устаткування;

- однореакторні установки дозволяють полегшити роботу з високотоксичними продуктами, минаючи стадію розвантаження вологого грануляту і транспортування його в сушарку киплячого шару.

Слід відмітити останні розробки в області проектування і виробництва однокамерних систем грануляції-сушіння, запропонованих компаніями Aeromatic-Fielder (Швейцарія) і Collette (Бельгія), що входять до складу групи Niro Pharma Systems концерну GEA. Компанія Aeromatic-Fielder, як засновник однореакторних систем, пропонує устаткування високого класу, що відповідає найжорсткішим вимогам сучасної промисловості. Пропоноване компанією устаткування має стандартне нижнє розташування основного приводу гранулятора і розташований збоку чоппер для турбулізації потоку. Компанія Collette пропонує унікальні однореакторні установки з верхнім розташуванням приводу мішалки. Установки Collette UltimaPro на сьогоднішній день є єдиними у своєму роді. Серія установок UltimaPro поєднує в собі всі доступні на сьогоднішній день методи сушіння: вакуум, введення осушуючого газу в камеру апарату, мікрохвилі, рівномірне похитування камери відносно вертикальної осі апарату для досягнення максимально м'яких режимів сушіння і збільшення поверхні теплообміну між стінками камери і продуктом.

### ***Способи інтенсифікації процесів сушіння***

У зв'язку зі зростанням виробництва різних фармацевтичних і біотехнологічних продуктів, підвищенням вимог до їх якості, удосконаленням технології виробництва виникає потреба у розробленні нових способів сушіння, які б забезпечували високу якість продукту, максимальну автоматизацію, механізацію і значну інтенсифікацію процесу.

Для інтенсифікації процесу сушіння і підвищення економічної ефективності роботи апаратів можуть бути вибрані такі способи:

- використання більш високих початкових температур теплоносія в умовах автоматизованих контролю і регулювання температури. З підвищенням температури теплоносія різко скорочується тривалість сушіння, внаслідок чого матеріал зберігає свої якісні показники, при цьому зменшуються питомі витрати палива та електроенергії;

- використання великих локальних швидкостей, пульсуючих газових потоків і вібрації частинок матеріалу, закручених високошвидкісними потоками, тощо;

- застосування електричних і магнітних полів;

- застосування як теплоносія перегрітої пари, одержаної при сушінні матеріалу;

- застосування комбінованих способів сушіння і поєднання різних процесів в одному апараті;

- використання вторинних теплових ресурсів.

## **Розділ 11. МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТРОЛЬ НА БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ**

Створення і вдосконалення комп'ютерної техніки, поява нових технологій передачі, обробки, накопичення і представлення інформації полегшило і прискорило обчислювальну роботу в багатьох галузях науки і техніки. Квантова хімія, молекулярна механіка, планування хімічного синтезу, прогнозування біологічної активності, отримання і обробка експериментальних даних за допомогою нових інформаційних технологій і комп'ютерної техніки - це лише деякі типові приклади. Збільшення внеску інформаційних технологій в розвиток фармацевтики пов'язане, насамперед, з появою персональних комп'ютерів з високими експлуатаційними характеристиками і нових технологій передачі інформації. Завдяки доступності для широкого кола користувачів таке устаткування стало звичайним в більшості фармацевтичних та біотехнологічних лабораторій і учбових закладах світу. При розробленні ліків, як правило, поєднують у собі майстерність хіміків-синтетиків і хіміків-спектроскопістів з великими знаннями про фізико-хімічну природу хімічних речовин в біологічних системах. Всі ці навички можуть бути доповнені сучасним програмним забезпеченням, яке може управляти і інтерпретувати аналітичні дані для тисяч речовин, а також надавати інформацію, необхідну для передбачення і синтезу аналогів з кращими (drug-like) властивостями.

Виконання бактеріологічних досліджень в умовах сучасної лабораторії вимагає враховувати наступні умови:

- збільшення обсягу аналізів;
- розширення спектра досліджуваних збудників;
- посилення ролі умовно-патогенних мікроорганізмів;
- збільшення чистоти резистентних штамів.

Бактеріологічна лабораторія на сьогоднішній виконує ряд певних функцій:

1. Виконання рутинних досліджень, з дотриманням встановлених вимог, правил і норм.
2. Формування бази даних біологічно активних речовин та її ретроспективний аналіз.
3. Рекомендації щодо цілеспрямованої терапії збудників на основі аналізу бази даних.

У свою чергу база даних біологічно активних речовин вирішує наступні завдання:

1. Раціональне призначення антибактеріальних препаратів допомагає уникнути формування стійкості мікроорганізмів до лікарських препаратів, що



дозволяє зменшити тривалість перебування хворого в стаціонарі і, тим самим, знизити витрати на лікування пацієнтів.

## 2. Зменшення розповсюдження внутрішньолікарняних інфекцій.

Таким чином, головною метою лабораторних бактеріологічних досліджень є вибір адекватної розробки технології антибіотиків при постійно зростаючих вимогах до якості результатів. Проте, для вирішення цього завдання необхідна стандартизація всіх етапів мікробіологічного дослідження для виключення лабораторних помилок у процесі роботи й оцінки результату.

Основні сучасні вимоги до бактеріологічного аналізу:

- зниження суб'єктивного чинника;
- скорочення часу отримання результату;
- зниження трудовитрат при виконанні зрослого обсягу аналізів;
- об'єктивізація читання результату;
- можливість аналізу ситуації;
- створення оптимальних схем хеміотерапії.

В мікробіології обсяг і спектр аналізів зростає, вимоги до якості зростають, при цьому особлива увага приділяється ефективній антибіотикотерапії. У цих умовах оптимальним виходом є стандартизація та автоматизація всіх етапів аналізу.

Раціональним вирішенням проблеми є використання в бактеріологічних лабораторіях автоматизованих аналізаторів і комерційних тест-систем, що дозволяють дотримуватися всіх перерахованих вимог. Якщо виділити основні етапи бактеріологічного аналізу: культивування, ідентифікація та антибіотикограма, то стандартизація першого етапу – отримання культури, полягає у використанні готових або дегідратованих поживних середовищ. При цьому автоматизація етапів розливу і введення добавок (ростових, селективних) допомагає виключити неконтрольовані помилки, що впливають на весь подальший процес. Автоматичні системи для приготування агаризованих середовищ і автоматичний розливний модуль, який при з'єднанні з такою системою для приготування агаризованих середовищ дає продуктивність 900 чашок за годину. Безпека роботи і постійний контроль за процесом гарантують стандартизацію умов приготування складних багатокomпонентних середовищ.

### *Системи безперервного моніторингу скринінгу гемокультур ВАСТЕС*

В останні роки дедалі більшої актуальності набуває дослідження крові на стерильність. Поступово цей вид аналізу виходить на перше місце за потребою в клінічній практиці. Автоматизація скринінгу гемокультур існує у світі більше 20 років. В даний час на нашому ринку цей вид досліджень представлений

двома приладами: серія BACTEC (Becton Dickinson, США) і Bact / Alert (bioMerieux, Франція)

Ці прилади призначені для постійного моніторингу гемокультур. Принцип роботи обох приладів зводиться до постійного інкубування і якнайшвидшого виявлення позитивних зразків крові, поміщених у флакон зі спеціальним середовищем. Постійний моніторинг росту за допомогою флюоресценції або колориметрії та контролю газоутворення дає певні *переваги*:

- об'єктивність результатів;
- збільшення чутливості методу;
- гарантія відсутності контамінації (флакон не відкривають протягом

всього моніторингу).

Першою клінічною та комерційною системою, яка успішно пройшла

випробування був BACTEC 460 (рис. 11.1) з радіометричною системою вимірювання. Принцип дії, який використовується в попередніх системах, залишається важливим і до цього часу.

На початку 1990 рр. було впроваджено систему для гемокультур з постійним моніторингом Bact/Alert (Organon Teknika), відразу за нею з'явилася система BACTEC 9000 (Becton Dickinson). Зручність цих систем спонукало безліч

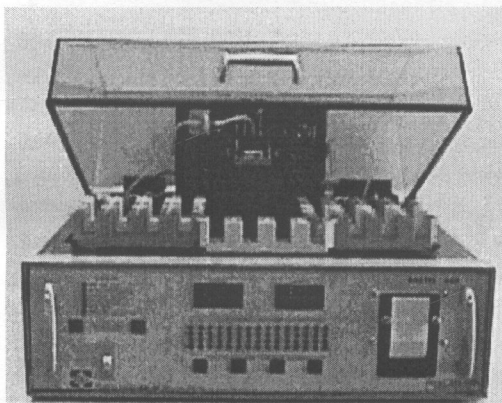


Рис. 11.1. Система безперервного моніторингу скринінгу гемокультур BACTEC

лабораторій у всьому світі до використання технології автоматичного дослідження крові на стерильність.

Системи з безперервним моніторингом мають ряд спільних рис. Один комп'ютер може управляти роботою від 1 до 50 блоків для інкубації. Флакони з середовищем і зразком крові поміщаються в індивідуальні комірки в інкубаційному блоці. Далі тестування виконується без будь-яких маніпуляцій користувача (до того моменту, коли флакон визнається позитивним і витягується для подальшої роботи: фарбування по Граму і субкультивування), що спрощує і прискорює роботу. У кожній системі флакони з гемокультурою індивідуально зчитуються кожні 10-15 хв. до появи ознак росту мікроорганізмів. Результати зчитування кожного флакона зберігаються і аналізуються комп'ютерною системою, при цьому будується крива росту

мікроорганізмів на підставі алгоритмів, закладених в програмне забезпечення кожного приладу.

Перша комерційна система для гемокультур Vact/Alert з'явилася в 1991 році. У 1999 році була випущена система Vact/Alert 3D (рис. 11.2), яка є більш компактною, має сенсорний екран, дозволяє простіше поміщати і витягувати флакони, а також має вбудовану систему контролю якості. Кожен інкубаційний модуль призначений для 240 флаконів. В основу кожного флакона введений вугільний діоксид (сенсор), відокремлений від кров'яної сироватки мембраною, напівпроникною для  $\text{CO}_2$ , що дозволяє визначати кількість  $\text{CO}_2$  у флаконі. Сенсор змінює колір при збільшенні концентрації  $\text{CO}_2$  у флаконі.



*Рис. 11.2. Система моніторингу скринінгу гемокультур Vact*

В основі кожного флакона, що знаходиться на інкубації, розташований світловипромінюючий і світлопоглинаючий діоди. У системі Vact/Alert використовуються наступні середовища: стандартні аеробні і анаеробні (без добавки сорбенту для антибіотиків), FAN аеробні і анаеробні (з активованим вугіллям і сорбентом), PF педіатричні для дітей і літніх пацієнтів (з серцево-мозковою сироваткою і активованим вугіллям). Також випущені флакони MB

для виявлення мікобактерій в крові і флакони MP для виявлення мікобактерій в інших біологічних рідинах.

Було проведено кілька клінічних випробувань середовищ FAN Vact/Alert зі стандартними флаконами для цього ж приладу. Наступний звіт виявив клінічне значення цих порівнянь і визначив, що флакони FAN вловлюють значно більше фрагментів септицемії, головним чином рецидивів і ситуацій з пацієнтами, які отримують теоретично ефективну антимікробну терапію. Jorgensen з колегами проводили порівняння аеробних FAN флаконів і BACTEC Plus і відзначили повний збіг при виявленні клінічно значущих мікроорганізмів і епізодів септицемії.

Компанія Becton Dickinson випустила в 1992 році серію приладів BACTEC 9000 (рис. 11.3) для постійного моніторингу гемокультур: для середніх лабораторій BACTEC 9120 (для інкубування 120 флаконів) і для великих лабораторій BACTEC 9240 (240 флаконів). У кінці XX ст. був випущений маленький прилад BACTEC 9050 (50 флаконів), розроблений для лабораторій з невеликим навантаженням, бажаючих працювати автоматизованими методами. Також як і Bact/Alert ця система використовує

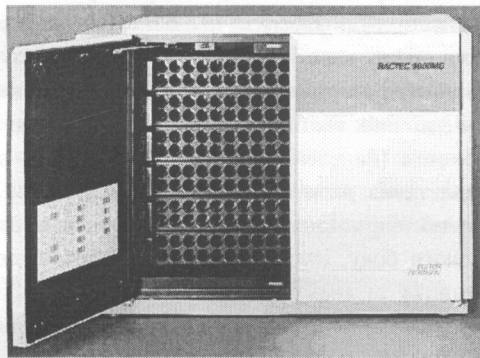


Рис. 11.3. Система BACTEC 9120

вугільний діоксидний сенсор, розташований в основі кожного флакона з середовищем. На відміну від Bact/Alert система

BACTEC використовує флуоресцентний механізм для визначення бактеріального росту. Система має кілька середовищ для роботи: стандартні Aerobic/F і Anaerobic/F середовища, PLUS аеробні та анаеробні середовища зі спеціальною смолою (сорбент для антибіотиків), Lytic/10 анаеробні середовища з лізуючим реагентом, педіатричні Peds Plus середовища зі смолою, Mucos/F Lytic середовища для поліпшеної детекції грибів і мікобактерій в крові. Всі середовища в своїй основі мають трипказо-соевий бульйон.

При дослідженні флаконів Plus/F зі смолою в приладах BACTEC 9240 і 9050 час детекції позитивних флаконів для аеробів був однаковим в обох приладах. Що ж стосується порівняння флаконів BACTEC Plus/F aerobic з Bact/Alert FAN aerobic, то суттєвих відмінностей не було виявлено. Час детекції позитивного флакона однаковий в обох системах, але, стрептококи визначаються на 7 год. раніше в приладах системи BACTEC, а гриби, зокрема, *S. albicans*, раніше на 8 год. виявляється в приладі Bact/Alert. Однією з найважливіших проблем бактеріологічного аналізу є виділення *Mycobacteria tuberculosis* з різних біологічних рідин. В даний час серед мікробіологічних автоматів, представлених у нашій країні, існують два прилади, що скорочують і уніфікують процес виявлення збудника туберкульозу: Bact/Alert 3D (bioMerieux) і BACTEC MGIT 960 System (Becton Dickinson). Основним завданням на цьому етапі є скорочення часу виявлення збудника і визначення лікарської стійкості виділених штамів за максимально короткий час, без погіршення якості роботи. Система BACTEC MGIT 960 розрахована на

завантаження 960 зразків, по 320 зразків в одному інкубаційному блоці. Загальна пропускна здатність приладу до 8000 зразків у рік (при протоколі дослідження в 42 дні).

### *Напівавтоматичні бактеріологічні аналізатори*

Початкові етапи роботи на будь-якому напівавтоматичному бактеріологічному аналізаторі схожі: в першу чергу необхідно отримати чисту (18-24 год.) культуру збудника, після чого провести мікроскопію та фарбування за Грамом, а також поставити ряд орієнтовних тестів. Ця первинна інформація про збудника визначає вибір тест-систем (панелей) для подальшої роботи з культурою вже на приладі. Використання готових тест-систем (панелей, стрипів і т.д.), спеціально розроблених фірмою-виробником для роботи на кожному конкретному приладі, з одного боку, істотно спрощує і прискорює схему проведення ідентифікації збудника та визначення антибіотикограми, з іншого боку дозволяє отримати високоспецифічний стандартизований результат. Тест-системи для одного приладу не можуть бути використані для розшифрування результатів на іншому.

Для роботи на панелях (стрипах) необхідно приготувати розчин з культури вирощеного збудника, що вимагає високої точності, тому що в певному об'ємі рідини повинна бути строго певна кількість мікроорганізмів. У лунках панелей знаходяться ліофілізовані біохімічні субстрати, які при додаванні розчину тестової живої культури вступають, або не вступають в реакцію, зі зміною при цьому або кольору, або помутніння, чи з утворенням бульбашок повітря. Результати реакції можна отримати тільки після періоду інкубації (4 або 18-24, іноді до 48 год., в залежності від протоколу роботи у певних температурних і атмосферних умовах).

Панелі для визначення чутливості збудників до антибіотиків являють собою стандартний набір антибіотиків, представлених в двох концентраціях.

Результати дослідження визначаються за наявністю росту в лунках панелі і порівнянням з контролем. Вони можуть бути представлені у вигляді: чутливий, помірно-стійкий і стійкий (S, I, R).

Напівавтоматичні бактеріологічні аналізатори по суті є тільки пристроєм для читання результатів тестів, отриманих по кожній лунці, і аналізу цих даних для остаточної відповіді або з ідентифікації, або по чутливості мікроорганізму до антибіотиків.



Рис. 11.4. Планшетний фотометр  
*iEMS-reader*

Планшетний фотометр i-EMS-reader (Labsystems, Фінляндія, рис. 11.4). Це 8-ми канальний прилад з вбудованим термостатом (14-40 °С), системою знімних фільтрів і шейкерів. Це єдина «відкрита» система, сумісна з комп'ютером, що працює у поєднанні з програмним забезпеченням, як мікробіологічний або імуноферментний аналізатор.

Автоматизацію забезпечують програма «Бакта» і система мікробіологічного моніторингу «Мікроб», в цьому випадку зчитувач повинен бути приєднаний до комп'ютера. Всі тест-системи випускаються у форматі 96-лункових планшетів.

Іншим напівавтоматичним бактеріологічним аналізатором є miniAPI (або його аналог АТВ-Expression, bioMerieux, Франція, рис. 11.5). Цей прилад



Рис. 11.5. Напівавтоматичний бактеріологічний аналізатор miniAPI.

складається з зчитувача з вбудованим монітором і денситометра для автоматичного визначення погущення бактеріальної суспензії. При бажанні система комплектується автоматичною піпеткою для стандартизації та зручності внесення розчину мікроорганізмів у лунки тест-системи. Стрипи для ідентифікації розроблені на основі API-технології. Панелі для ідентифікації діляться на звичайні (інкубація до 24 год.) і швидкі (4-5 год.). Вони розроблені для

наступних видів мікроорганізмів: ентеробактерії, грам-негативні палички, стафілококи, гриби, анаероби, стрептококи. Ідентифікаційні стрипи можуть зчитуватися як автоматично, так і вручну. Стрипи для визначення чутливості до антибіотиків також існують у звичайному (24 год.) і швидкому (4 год.) режимі інкубації. Вони розроблені для наступних видів збудників: сечові грам-негативні палички, грам-негативні, збудники шкірних інфекцій, неферментуючі стафілококи, анаероби, гемофілія та бранханеми, гриби, стрептококи та пневмококи, ентерококи, *Stap. aureus*, ентеробактерії з розширеним набором антибіотиків (30 шт.), визначення бета-лактамаз розширеного спектру.

### **Мікробіологічний аналізатор MULTISKAN ASCENT**

Комплексна система ідентифікації бактерій в клінічній мікробіології  
Multiskan Ascent – автоматизоване робоче місце мікробіолога, хіміотерапевта і

епідеміолога. Це напівавтоматична система, призначена для ідентифікації мікроорганізмів і визначення антибіотикочутливості за допомогою стандартних 96-лункових планшетних тест-систем, а також проведення кінетичних вимірювань з побудовою кривих росту мікроорганізмів.

Multiskan Ascent (рис. 11.6) відкриває нові можливості в області фотометричних досліджень для практичних і наукових лабораторій у всьому світі. Високоякісна оптична система забезпечує чудову відтворюваність, точність і надійність результатів.

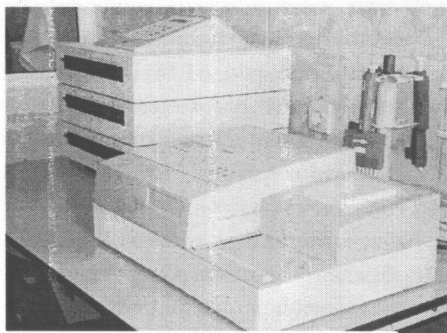


Рис. 11.6. Мікробіологічний аналізатор  
MULTISKAN ASCENT

Завдяки розширеному вимірювальному діапазону, що гарантує лінійність вимірювання до 4 одиниць оптичної густини, скорочується час, необхідний для отримання результату. Multiskan Ascent забезпечує швидке і точне вимірювання. Вдосконалена оптична система фотометра, що дозволяє проводити сканування не тільки 96-, а й 384-лункової мікропланшети, дозволяє значно скоротити час фотометричних вимірювань при

великомасштабних дослідженнях. При цьому час сканування 96-лункової і 384-лункової мікропланшети становить лише 9 і 20 секунд, відповідно.

Основні характеристики аналізатора:

- вертикальний планшетний фотометр з вбудованим термостатом, системою контролю температури, з вбудованим орбітальним шейкером;
- стандартний набір світлофільтрів (340, 405, 414, 450, 492, 540, 620, 690 нм);
- лінійний діапазон - від 0 до 4 одиниць оптичної густини;
- управління роботою приладу здійснюється за допомогою зовнішнього комп'ютера і програмного забезпечення.

Автоматизацію в мікробіології, епідеміології та хіміотерапії забезпечують програми: "Мікроб-Автомат" і система мікробіологічного моніторингу "Мікроб-2".

Програма "Мікроб-Автомат" дозволяє ідентифікувати більше 360 видів мікроорганізмів. Ідентифікація бактерій проводиться з використанням комерційних тест-систем MIKRO-LA-TEST виробництва компанії "PLIVA-Lachema Diagnostika" та MMT, патогенних грибів - з використанням тест-систем фірми "BIO-RAD".

Система мікробіологічного моніторингу "Мікроб-2" включає експертну систему, що виробляє оцінку даних, отриманих у результаті проведення досліджень з ідентифікації мікроорганізмів та визначенні їх антибіотикочутливості *in vitro*, і корекцію їх на підставі відомостей про природні стійкості або чутливості окремих мікроорганізмів або їх груп, про поширення серед них набутої резистентності, а також відомостей про кореляцію даних чутливості, отриманих *in vitro*, клінічної ефективності антибактеріальних препаратів.

МІКРО-LA-TEST містить вдосконалені набори в стрипових планшетах:

- Ентер тест 24, Ентер-Рapid 24, Ентер тест 16, Ентер-Скрін, НЕФЕРМ тест 24, Стрепто тест 16, Стаф тест 16, Енкокус тест, Нейссера тест, Анаеро тест 23, УРЕ-АШП тест;

- ідентифікаційні смужки: КОЛІ тест, ОКСІ тест, Піра тест, ВП тест, ОНП тест, Гіппурат тест;

- ідентифікаційні диски: V, X, V + X фактори, Бацитрацин 10 ОД і 1 ОД, оптохін, новобіоцин, V + K.

### *Автоматичні мікробіологічні аналізатори VITEK*

Автоматичний мікробіологічний аналізатор VITEK 2 Compact (рис. 11.7) призначений для ідентифікації мікроорганізмів і визначення їх чутливості до антибіотиків. Це сучасний, потужний, компактний прилад, що прекрасно зарекомендував себе у світі та в Україні.

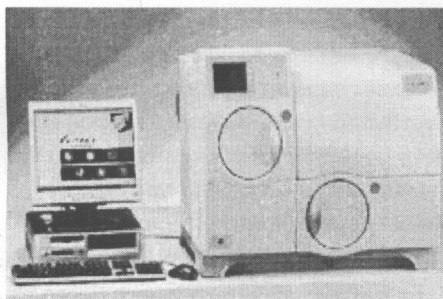


Рис. 11.7. Автоматичний мікробіологічний аналізатор VITEK

Пропонуються моделі на 15, 30 або 60 досліджень одночасно.

За допомогою мікробіологічного аналізатора VITEK можна здійснювати широкий спектр досліджень

Витратними матеріалами для аналізатора є одноразові картки VITEK 2, технологія яких бере початок у інноваційних програмах NASA, де вони використовувались для ідентифікації інфекцій астронавтів.

Прилад складається з 2-х блоків: пристрій для заповнення та пристрій для запаювання карт.

Аналізатор керується комп'ютером спеціальною програмою. Після приготування розчину з вирощеної культури, мутність якого (тобто кількість мікроорганізмів в одиниці рідини) обов'язково оцінюється на нефелометрі, що



входить до складу приладу, карта заповнюється автоматично за допомогою вакууму, що дозволяє уникнути контамінації та нерівномірного заповнення лунок, після чого карта герметично запаюється. Не дивлячись на те, що всі названі процедури виконуються автоматично, переміщення карти для заповнення, запаювання та інкубації, вимагає ручних дій, потім аж до моменту отримання результату аналізатор працює в автоматичному режимі. Після використання карти видаляються з приладу вручну.

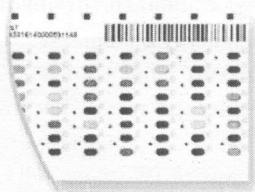


Рис. 11.8. Планшета для проведення ідентифікації мікроорганізмівта антибіотико-чутливості

мікроорганізмів (гемофілія, нейсерії, дріжджі та анаероби) заснована на турбідометрії реакційного середовища в лунці. Система повністю комп'ютеризована і працює автоматично. Картка – це повністю готовий продукт, який пройшов всі етапи контролю якості виробником. Вся продукція стандартизована, незалежно від випущеної партії.

Картки для проведення ідентифікації та антибіотикочутливості розділені, тому, залежно від потреб лабораторії, можна або проводити ідентифікацію без чутливості, або визначати чутливість лише до антибіотиків, не витрачаючи кошти на зайві тести. Ідентифікація мікроорганізмів проводиться по багатьох біохімічних тестах. Антибіотикограма визначається на підставі оцінки мінімальних інгібуючих концентрацій (МІК) до ряду антибіотиків у кожній картці. Такі можливості дозволяють із 100% гарантією визначити вид мікроорганізму.

Система VITEK використовується для видової ідентифікації мікроорганізмів: грам-негативних; грам-позитивних; нейсерій і гемофілів; анаеробів; дріжджеподібних; бациллярних.

Для оцінки чутливості мікроорганізмів до антибіотиків використовують більше 10 карток із різними наборами антибіотиків.

Аналізатори VITEK 2 Compact не мають аналогів за рівнем автоматизації усіх етапів роботи. Оснащені комп'ютером і простим у використанні програмним забезпеченням на базі Windows. Отримання результату на VITEK 2 Compact передбачає всього 3 етапи:

- 1) виділення чистої культури;

У системі VITEK застосовують планшети з 30-ма або 64-ма мікролунками із біохімічними субстратами або антибіотиками (рис.11.8). В кожну лунку автоматично вноситься суспензія бактерій з відомою концентрацією мікробних тіл. Ідентифікація

концентрацією

мікробних тіл. Ідентифікація

2) приготування суспензії;

3) внесення її до апарату.

Після внесення карток до системи аналізатор сам виконує завантаження проб, герметизацію, інкубацію, зчитування, обробку даних, видачу та інтерпретацію результатів тощо.

Результати можуть бути отримані як у вигляді критичних значень (SIR), так і розрахункових значень МІК. Час ідентифікації та визначення чутливості за допомогою аналізатора VITEK для більшості мікроорганізмів не перевищує 4-6 год. База даних приладу містить понад 300 таксонів. Є такі ідентифікаційні картки: GNI + (для визначення грамнегативних і неферментуючих бактерій), GPI (для визначення грампозитивних бактерій), YBC (для визначення грибів), BAC (для визначення бацил), ANI (для визначення анаеробів), NHI (для визначення гемофілів, нейсерії), UID-3 (для скринінгу сечових патогенів).

Вибір карт для визначення чутливості відбувається за необхідним набором антибіотиків і типом мікроорганізмів. Існує більше 12 варіантів карт з антибіотиками, а також карт для дослідження синергізму і механізмів стійкості (наприклад, тест для визначення лактамаз розширеного спектру чи виявлення низького ступеня метицилін-резистентності для стафілококів). Одним із потужних інструментів роботи на приладі є експертна оцінка отриманих результатів чутливості до антибіотиків, за рахунок виявлення набутої резистентності мікроорганізмів, прогнозу розвитку лікарської стійкості, визначення потреби в антибіотиках на майбутнє. Статистична програма дозволяє проводити моніторинг інфекції.

Використання даного апарату дозволяє значно економити час, який при звичайній схемі роботи витрачається на приготування середовищ, їх розливання, відбраковування неякісних середовищ, засів мікроорганізмів, періодичну перевірку результатів, зчитування результатів з кожної пробірки або чашки.

Аналізатор VITEK 2 Compact автоматично кожні 15 хв. перевіряє кожную лунку картки в різних місцях по кілька разів. Якщо на якомусь з етапів картка визнається позитивною, а мікроорганізм ідентифікованим, то картка автоматично виділяється з системи. У систему закладений індивідуальний підхід до кожного мікроорганізму, тобто швидкість отримання результатів залежить тільки від швидкості росту мікроорганізму. Таким чином, час до отримання результату щодо ідентифікації або чутливості мікроорганізмів може займати від 3 до 10 год.

У систему VITEK 2 Compact вбудовано унікальну експертну програму з елементами штучного інтелекту Advanced Expert System (AES). Ця програма визначає механізми резистентності досліджуваних мікроорганізмів,

підтверджує результати ідентифікації та чутливості, порівнюючи їх з наявною в ній обширною базою даних. Здійснює попередження, виводячи інформацію на екран або вбудований принтер, при виявленні нетипових профілів резистентності (наприклад, змішана культура, повторно виявлена резистентність). Надає звіт про конкретний механізм резистентності, виявлений у штамі, що тестується (наприклад,  $\beta$ -лактамази розширеного спектру). Прилад дозволяє здійснювати епідеміологічний контроль отриманих результатів. Зберігає всі отримані результати в своїй базі даних.

#### *Система автоматизованого бактеріологічного дослідження WalkAway*

Прилад WalkAway-40, 96 дозволяє проводити ідентифікацію мікроорганізмів і визначення їх чутливості до антибактеріальних препаратів за 2-3 год. і 4-24 год. відповідно. Тестований спектр включає в себе більше 300 мікроорганізмів, у тому числі грам-позитивні, грам-негативні, гриби, анаероби, нейсерії та ін. Панелі мають флуоресцентну позначку. Аналізатор дозволяє при необхідності проводити тільки ідентифікацію або оцінку чутливості, а також одночасно визначати чутливість та ідентифікацію на одній панелі. Аналізатор WalkAway вибирає дозу і шляхи введення антибіотиків, дає рекомендації відповідно до міжнародної експертної системою оцінки призначення лікарських засобів. Прилад дозволяє здійснити епідеміологічні дослідження.

Актуальною є автоматизована система для зчитування й аналізу результатів диско-дифузійного методу на планшеті OSSIRIS. Це єдиний бактеріологічний аналізатор «відкритого» типу, в якому можливе використання будь-яких реагентів.

Принцип роботи приладу:

– дослідження 2х-мірного зображення чашки Петрі з дисками та зонами пригнічення росту;

– зіставлення діаметру зон росту зі значеннями NCCLS (міжнародні рекомендації по диско-дифузійному методу);

– визначення профілю резистентності мікроорганізмів з видачею рекомендацій з використання антибіотиків.

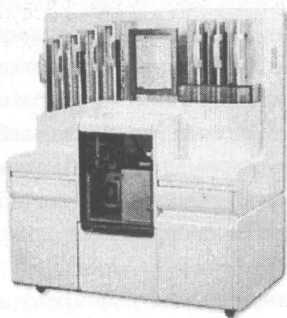


Рис. 11.9. Система автоматизації мікробіологічного посіву PREVI Isola

#### *Система автоматизації мікробіологічного посіву PREVI Isola*

PREVI Isola модернізує традиційну медичну практику, програма має високі

робочі характеристики системи, в тому числі функції, що поліпшують систему охорони здоров'я. Система PREVI Isola (рис. 11.9) розроблена для модернізації аналітичного етапу лабораторної діагностики, як частина проекту по повній автоматизації мікробіологічної лабораторії.

Система PREVI Isola створена для позбавлення мікробіологів від рутинної роботи з посіву зразків на чашки. Для внесення зразка на агаризоване середовище використовується інноваційний, широкий, одноразовий пластиковий аплікатор, що забезпечує хороший контакт з агаром, максимально ефективно використання поверхні агару і дозволяє домогтися прекрасної ізоляції колоній і відтворюваності. Система PREVI Isola дозволяє стандартизувати і повністю автоматизувати процедуру посіву. Продуктивність системи - до 180 чашок на годину, при цьому розсівання зразка здійснюється на 1 - 10 типів середовищ.

Мета створення системи PREVI Isola - повна автоматизація мікробіологічної лабораторії з використанням інноваційного обладнання та ІТ-рішень, для полегшення праці лабораторних співробітників і забезпечення максимально швидкого результату.

### *Системи MICROBACT для видової ідентифікації мікроорганізмів*

Microbact (рис. 11.10) – це система біохімічної ідентифікації культур аеробних і мікроаерофільних грамнегативних бактерій: оксидазопозитивних і деяких оксидазонегативних. Система дозволяє ідентифікувати близько 40 видів бактерій, в першу чергу ентеропатогенних.

Час визначення однієї культури: 1 - 2 доби. До складу системи входять: пластикові тест-смужки з лунками (або тест-пластинки) з різними біохімічними субстратами, підставка-тримач і кольорові ідентифікаційні таблиці.

При ідентифікації бактерій враховують: зміну кольору рН-індикаторів при споживанні субстратів (порівнюють з ідентифікаційними таблицями); утворення індолу; забарвлення за Грамом; наявність оксидази і нітрат-редуктази.

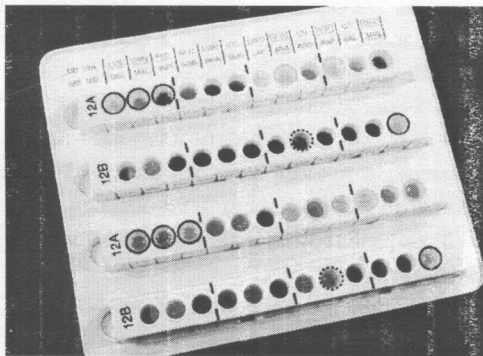


Рис. 11.10. Системи для видової ідентифікації мікроорганізмів MICROBACT

Мікроорганізму присвоюється спеціальний 9-значний код, який вводиться в пакет спеціальних комп'ютерних програм.

### **Система швидкої видової ідентифікації мікроорганізмів MICROLOG**

MicroLog (рис. 11.11) – це унікальні аналітичні системи для швидкої видової ідентифікації бактерій (у т.ч. анаеробних і патогенних), дріжджів і міцеліальних грибів.

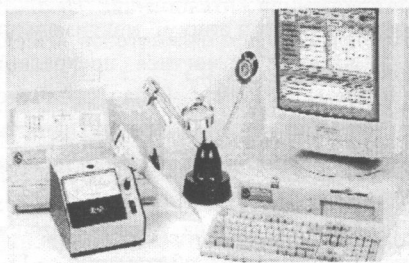


Рис. 11.11. Система швидкої видової ідентифікації

Вони поєднують високу специфічність визначення біохімічних властивостей мікроорганізмів ("Metabolic Fingerprint"), що проводиться в стандартних умовах, зі швидкістю і точністю комп'ютерної обробки і інтерпретації отриманих результатів на основі потужних баз даних. Системи "MicroLog™" дозволяють ідентифікувати до 2000 видів мікроорганізмів. Час

ідентифікації складає як правило 4-24 год. для бактерій і 24-96 год. для дріжджів та грибів. Системи знаходять широке застосування в харчовій промисловості, в т.ч. на виробництві молочних продуктів і напоїв, у фармацевтичній промисловості, ветеринарії та медицині, при проведенні екологічних досліджень.

Основні компоненти систем – спеціальні тест-планшети з прозорого полімеру, в лунках яких містяться стерильні висушені реагенти. Стандартні планшети містять набір з 95 джерел вуглецю і окисно-відновний індикатор (солі тетразолію) та пакет програм для обробки та інтерпретації отриманих результатів.

Найбільш досконалі модифікації OmniLog, включають спеціальне устаткування, що дозволяє повністю автоматизувати процес від інкубації до остаточної ідентифікації мікроорганізмів.

Системи для швидкої видової ідентифікації інкубують в анаеробних умовах, при обов'язковій відсутності водню - з використанням газогенуючих пакетів Oxoid нового покоління.

Для ідентифікації використовуються тільки молоді культури мікроорганізмів, вирощені на спеціально розроблених поживних середовищах. При ідентифікації бактерій обов'язково визначають їх відношення до фарбування за Грамом і морфологію. Суспензії мікроорганізмів для проведення тестів готують на основі спеціальних гелеутворюючих рідин. Для приготування

суспензій дріжджів використовується стерильна вода. Щільність суспензій визначають за допомогою турбідометра за спеціальними стандартами.

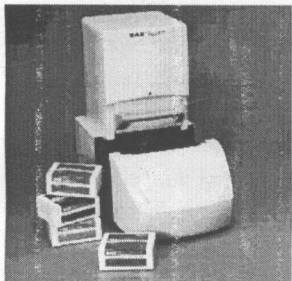
При аналізі структури природних мікробних спільнот в лунки тест-планшета "ECO" вносять безпосередньо аліквоти досліджуваної проби води або суспензії, наприклад ґрунтів та ін.

### *Системи для швидкої видової ідентифікації мікроорганізмів BAX*

BAX (рис. 11.12) – це автоматизована система для швидкого і точного виявлення патогенних бактерій в сировині і готовій продукції підприємств харчової промисловості, і в пробах з навколишнього середовища. Принцип дії: ПЛР-аналіз (ланцюгова полімеразна реакція).

#### *Переваги:*

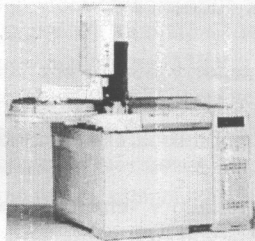
- таблетована форма реагенту для ПЛР-аналізу;
- спеціальні пробірки під час аналізу закриваються і виключають ризик контамінації і помилок оператора;
- єдина методика аналізу для всіх видів бактерій;
- можливість одночасного аналізу по багатьох «маркерах»;
- можливість аналізу до 96 зразків за одне завантаження;
- збереження, архівування, роздрук, розсилання даних.



*Рис. 11.12. Система швидкої видової ідентифікації мікроорганізмів BAX*

Час аналізу приблизно 4 год. Система включає: PCR-аналізатор; персональний комп'ютер повної комплектації з принтером; оригінальний пакет програм; блоки сухого нагріву; блоки охолодження; аксесуари та витратні матеріали для проведення аналізів.

### *Система ідентифікації мікроорганізмів SHERLOCK*



*Рис. 11.13. Система видової ідентифікації мікроорганізмів SHERLOCK*

Система ідентифікації мікроорганізмів MIDI Sherlock (рис. 11.13) є однією з найбільш універсальних і точних в даний час. Ця система дозволяє практично повністю автоматизувати процес ідентифікації мікроорганізмів, об'єднуючи технологію аналізу жирних кислот, що входять до складу клітин мікроорганізмів, з комп'ютеризованою газовою хроматографією з високою

роздільною здатністю.

Хроматографічна система автоматично визначає склад комплексу жирних кислот, що входять до складу клітин бактерій або грибів, а потім ідентифікує його, порівнюючи з комплексами жирних кислот відомих мікроорганізмів, які зберігаються у великій базі даних системи MIDI Sherlock. Це дозволяє швидко, з максимальною точністю і мінімальними витратами зробити визначення видової приналежності досліджуваного мікроорганізму. Вартість однієї ідентифікації складає в середньому менше 2 доларів. Це робить систему MIDI Sherlock не тільки однією з найточніших, але й однією з найбільш економічних у світі.

Склад жирних кислот клітин - дуже стійка генетична риса, яка зберігається в поколіннях мікроорганізмів з дуже високим ступенем ймовірності. Результати автоматизованого хроматографічного аналізу жирних кислот не поступаються у точності аналізу основного генетичного матеріалу живих клітин - молекул ДНК, який в даний час є еталоном достовірності при ідентифікації біологічного матеріалу. Прості мутації, або зміна генетичного матеріалу клітин в результаті діяльності плазмід, не змінюють склад жирних кислот клітин мікроорганізмів. Максимально знизити вплив навколишнього середовища дозволяють стандартизовані умови вирощування мікроорганізмів, які описані в методиці проведення їх ідентифікації за допомогою системи MIDI Sherlock.

База даних MIDI Sherlock:

*Аероби.* Ідентифікація грам-негативних неферментуючих мікроорганізмів, мікобактерій, бацил, та інших важко ідентифікованих організмів, широко поширених у навколишньому середовищі, є рутинним процесом для системи MIDI Sherlock. База даних аеробів містить відомості про склад комплексів жирних кислот у більш ніж 1100 видів організмів.

*Анаероби.* Потужна VPI база даних анаеробних мікроорганізмів дозволяє звичайній мікробіологічній лабораторії швидко і точно ідентифікувати важкі для визначення анаероби. База даних системи Sherlock містить відомості про більше 800 видів цих організмів.

*Дріжджі.* Дані про склад комплексів жирних кислот у більш, ніж 200 видів дріжджових грибів і актиноміцетів, які є в базі системи, дають дослідникові безпрецедентні можливості для ідентифікації цих зазвичай важко ідентифікованих мікроорганізмів.

Система Sherlock може надати неоціненну допомогу спеціалістам найрізноманітніших напрямків мікробіології. Компанією MIDI спільно з Науково-дослідним інститутом Інфекційних хвороб Збройних Сил США (USAMRIID) останнім часом була створена спеціальна база даних Sherlock

Bioterrorism Library, що дозволяє швидко і точно ідентифікувати кілька найважливіших біологічних видів особливо патогенних мікроорганізмів, які можуть бути використані як засіб здійснення актів біотероризму та ведення біологічної війни: *Bacillus anthracis*; *Bacillus cereus*; *Bacillus thuringiensis*; *Brucella melitensis*; *Burkholderia cepacia*; *Burkholderia gladioli*; *Burkholderia mallei*; *Burkholderia pseudomallei*; *Francisella philomiragia*; *Francisella tularensis*; *Yersinia pestis*; *Yersinia pseudotuberculosis*.

База даних Sherlock, що містить відомості про понад 800 видів організмів, може надати значну допомогу в ідентифікації анаеробних організмів VPI.

У базі даних Sherlock містяться дані про сотні видів організмів, що розвиваються у харчових продуктах і патогенних для людини, родів *Listeria*, *Bacillus*, *Campylobacter*, *Clostridium*, *Salmonella*, *Lactobacillus*. Це більше, ніж може запропонувати будь-який інший бактеріологічний аналізатор.

Система Sherlock забезпечує стабільність складу жирних кислот у різних організмів дає система Sherlock, що створює унікальні можливості в ідентифікації шкідливих для людини бактерій, які можна виростити тільки на середовищі R2A або подібних середовищах, що використовуються для вирощування патогенних організмів-забрудників питної води. Здатність ідентифікувати види *Escherichia*, *Legionella* і *Klebsiella* і інші робить систему Sherlock потужним інструментом у цій області Науки про тварин. У базі даних системи Sherlock містяться відомості про види *Campylobacter*, *Rasteurella*, *Haemophilus*, *Brucella*, *Streptococcus*, *Bordetella* та багатьох інших видів мікроорганізмів, патогенних для тварин.

Дані про види *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Aeromonas*, і багато інших морських організмів включені в базу даних Sherlock. Дані про нові види можуть бути легко внесені до бази даних за допомогою спеціального програмного забезпечення.

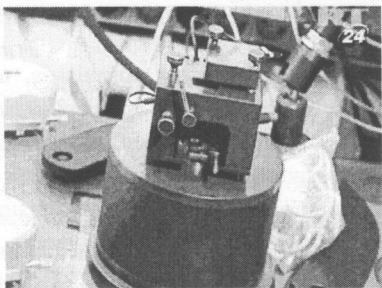
У базу даних Sherlock включені відомості про п'ять основних груп фітопатогенних організмів. Крім цього в ній є відомості про найбільш патогенні для рослин види *Xanthomonas* і *Pseudomonas*.

Система MIDI Sherlock використовується для вивчення стану навколишнього середовища, поширення в навколишньому середовищі патогенних мікроорганізмів, аналізу складу ґрунту, мікробіології бродіння, вивчення збудників перидонтозу, епідеміології, вивчення жирних кислот у продуктах харчування, тощо.



*Скануючі зондові мікроскопи і аналіз мікроскопічних препаратів.  
Програмне забезпечення для управління скануючими зондовими  
мікроскопами*

Скануючі зондові мікроскопи призначені для отримання зображення поверхні підослідного об'єкта шляхом її зондування. Ці інструменти стали одними з основних у роботі нанотехнологів. Біотехнологам такі мікроскопи допомагають дослідити вірусні частинки, що сприяє ретельному вивченню захворювань і розробленню нових лікарських препаратів.



*Рис. 11.14. Скануючий зондовий мікроскоп FemtoScan*

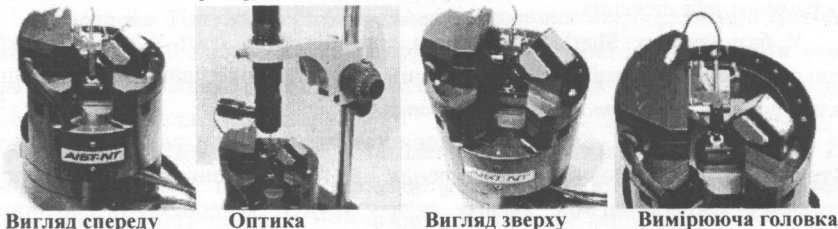
**FemtoScan** (рис. 11.14) дозволяє вивчати не тільки будову бактерій і вірусів, а й розглядати нанозображення, нанесені на атомну решітку.

У мікроскопі FemtoScan вперше у світі реалізована технологія дистанційного керування і аналізу даних. Доступ до пристрою можуть отримати безліч користувачів, просто підключившись до системи по локальній мережі або через Інтернет. За допомогою

програми *FemtoScan Internet* можна підключитися до будь-якого мікроскопа в будь-якій частині світу. Це дуже зручно, адже потрібно всього один апарат.

Скануючий зондовий мікроскоп FemtoScan можна використовувати у створенні індивідуальних ліків для конкретних пацієнтів, детально вивчаючи будову матерії.

**SmartSPM** (рис. 11.15) надає можливість вибору оптимального місця наведення рееструючого лазера, а також можливість тестування поверхні, що відбиває кантилевер перед початком вимірювань.



*Рис. 11.15. Скануючий зондовий мікроскоп SmartSPM*

Моторизація позиціонування зразка в горизонтальній площині дозволяє користувачеві легко знаходити область, в якій необхідно проводити сканування. В автоматичному режимі користувачеві необхідно лише вказати

основні параметри зонда і поле сканування для того, щоб SmartSPM автоматично повністю налаштував систему, підвів зонд до поверхні зразка і почав сканування. Завдяки вбудованій в програмне забезпечення мови програмування, користувач має можливість адаптувати прилад під свої специфічні завдання, а також організувати серію автоматизованих вимірювань у різних точках поверхні зразка. Вбудована макромова для програмування DSP дозволяє створювати власні алгоритми сканування, зняття силових кривих, а також процедури нанолітографії.

#### *Переваги SmartSPM:*

- цілком автоматизований СЗМ дозволяє виконувати автоматичне налаштування приладу перед початком вимірювань;
- високошвидкісний 100 мкм сканер, ємнісні датчики, що забезпечують високу лінійність і точне позионування;
- система з ІЧ лазером з довжиною хвилі 1300 нм дозволяє вимірювати широкий діапазон зразків з високою роздільною здатністю, включаючи зразки чутливі до видимого світла;
- прямий і бічний оптичний доступ;
- режим True Non-contact та спеціальна процедура для безпечного підведення зонда до зразка;
- цифровий модульний контролер з швидким DSP, USB інтерфейсом і можливістю розширення функціональності;
- оптичний доступ до зразка.

#### *Методики вимірів SmartSPM:*

- контактна, напівконтактна і безконтактна атомно-силова мікроскопія (АСМ);
- АСМ латеральних сил;
- АСМ струмів розтікання (три програмно перемикаються діапазону від 10 пА до 100 мкА);
- АСМ зонду Кельвіна (з роздільною здатністю не гірше 3 мВ);
- магнітно-силова мікроскопія (з латеральним роздільною здатністю не менше 70 нм);
- електро-силова мікроскопія (з роздільною здатністю не менше 5 мВ);
- скануюча ємкостна мікроскопія;
- вимірювання силових кривих;
- вимірювання вольт-амперних характеристик;
- нанолітографії;
- наноманіпуляції.

Функціональність програмного забезпечення для роботи з АСМ: автоматичне налаштування реєструючої системи, автоматичне конфігурування

і стандартизація вимірювальних методик, автоматичний пошук резонансної частоти кантилевер, можливість роботи з силовими кривими, створення користувацьких функцій, скриптів і елементів інтерфейсу, програмування засобів макромови DSP контролера в режимі реального часу, можливість обробки зображень в координатній області, включаючи побудови перерізів, можливість обробки зображень частотної області, включаючи фільтрацію і аналіз спектрів, конволюція і деконволюція зображень, підтримка режимів нанолітографії і наноманіпуляцій.

Програмне забезпечення (ПЗ) для АСМ функціонує під управлінням операційної системи Windows XP і має вбудовану довідкову систему.

**OmegaScope** (рис. 11.16) – це СЗМ з конфокальним раманівським і флуоресцентним спектрометром.

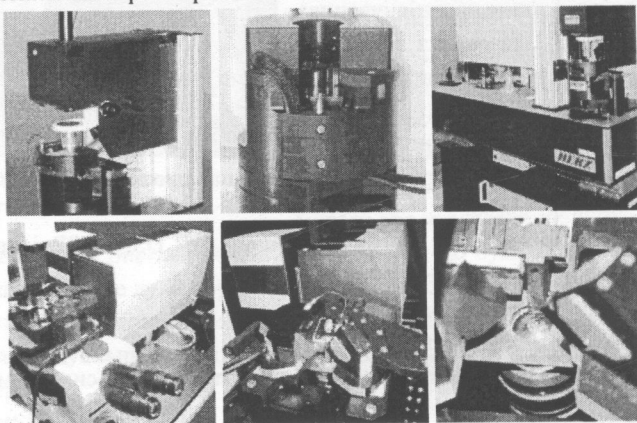


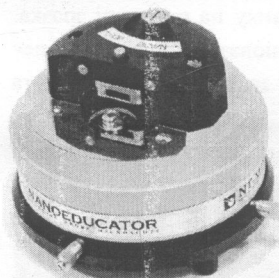
Рис. 11.16. Скануючий зондовий мікроскоп

OmegaScope – це спеціально розроблена система, яка поєднує в собі сучасні скануючі зондовий і раманівські мікроскопи. Відкрита конструкція СЗМ головки дозволяє використовувати об'єктиви  $100\times$  з числовою апертурою 0.7, встановлені над зразком і об'єктиви  $20\times$  з числовою апертурою 0.42, встановлені збоку від зразка. Також, можливо використовувати будь-які об'єктиви, розташовані знизу зразка, включаючи імерсійний. Наявність доступу до зразка зверху та збоку - дозволяє впливати на зразок лазером із заданою поляризацією і збирати розсіяне світло з поверхні зразка, що надзвичайно важливо для проведення ГКР/TERS експериментів. Реєструюча система з ІЧ лазером з довжиною хвилі 1300 нм дозволяє вимірювати зразки чутливі до видимого світла. З таким лазером користувач може проводити одночасно АСМ сканування та вимірювання флуоресценції або раманівського випромінювання без перехресних перешкод.

### *Переваги:*

- СЗМ, інтегрований з конфокальний мікроспектрометром;
- прямий і бічний оптичний доступ до зразка для проведення конфокальних і ГКР (TERS) експериментів високої роздільної здатності;
- автоматизована зміна збудливого лазера.

Стандартний комплект обладнання включає в себе вимірювальну головку з автоматизованим налаштуванням реєструючої системи, сканер на гнучких направляючих і монолітних п'єзопакетах, систему моторизованого позиціонування зразка, систему автоматизованого безпечного підведення зонда до зразка, оптичний стіл і систему віброізоляції, модульний, розширюваний, слотовий, цифровий USB контролер, сучасний персональний комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням; систему введення-виведення випромінювання, пов'язану з оптичною системою спостереження за зондом і зразком; спектральний модуль;



*Рис. 11.17. Nanoeducator - навчально-науковий комплекс на базі скануючого зондового мікроскопа*

Функціональність програмного забезпечення для роботи з СЗМ аналогічне SmartSPM.

**Nanoeducator** (рис. 11.17) – це навчально-науковий комплекс на базі скануючої зондової мікроскопії для освітнього процесу в області нанотехнології.

Навчальний процес з використанням Nanoeducator спрямований на освоєння основ роботи на СЗМ, набуття навичок досліджень наноб'єктів та наноструктур, проведення зондової нанолітографії і наноманіпуляцій. Nanoeducator забезпечує комплексний підхід до

освітнього процесу забезпечується наявністю наступних складових:

- базовий скануючий зондовий мікроскоп;
- навчальний посібник з основ СЗМ спектроскопії та нанолітографії;
- детальну інструкцію для користувача;
- наявність віртуальної Демо-версії програми, що дає можливість для користувача послідовно через всі етапи отримання якісного СЗМ зображення;
- апробований лабораторний практикум з набором навчальних зразків для досліджень.

Вимірювальна система має спеціальну конструкцію, в якій враховано необхідність захисту від випадкових поломок, вбудована цифрова відеокамера дозволяє вибрати необхідну ділянку на поверхні зразка і контролювати стан зонда і процес його підведення до поверхні. Спеціальний зондовий датчик

може бути відновлений шляхом травлення, що зменшує експлуатаційні витрати і дозволяє купувати додаткові практичні навички користувачеві системи.

Нове програмне забезпечення навчально-наукового комплексу сумісне з операційними системами MAC і Windows XP.

Особливості Nanoeducator: простий інтерфейс, покрокове налаштування СЗМ методик, наочність, анімаційне навчання, проста заміна досліджуваного зразка, можливість відновлення зонда і недорогі витратні матеріали Nanoeducator, спеціально розроблена для навчання основним методикам СЗМ. Прилад дозволяє проводити АСМ та ВТМ виміри без заміни зонда. Вимірювальна головка включає сканер з предметним столиком, на який встановлюється зразок і зондовий датчик. Конструкція вимірювальної головки розроблена таким чином, щоб виключити випадкове ушкодження сканера при поперечному зміщенні. На вимірювальну головку встановлена цифрова відеокамера, обладнана автономним джерелом освітлення. Можливість переміщення відеокамери дозволяє вибрати певну ділянку на поверхні зразка. Положення джерела світла також можна змінювати, що дозволяє підкреслювати особливості рельєфу поверхні зразка за рахунок зміни кута підсвічування.

**Certus Standard** (рис. 11.18) – найдоступніший скануючий зондовий мікроскоп дослідницького класу. Certus Standard - базова конфігурація скануючого зондового мікроскопа Certus, призначена для вирішення широкого класу дослідницьких та аналітично завдань.

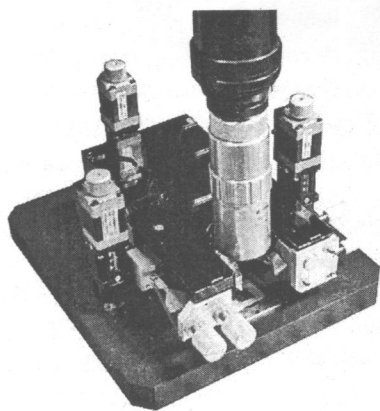


Рис. 11.18. Скануючий зондовий мікроскоп Certus Standard

До комплексу Certus Standard входять: скануюча головка Certus, відеомікроскоп, інтегрований рухомий столик для зразків, контролер EG-3000, програмне забезпечення Nspec. Сканування по осях X, Y, Z дозволяє отримувати зображення поверхні і проводити наступне редагування зображення з мінімальними спотвореннями і втратами інформації. Автоматичне підведення зонда до зразка вирішує проблему трудомісткого ручного підведення зонда до зразка, що здійснюється трьома моторизованими ніжками. Відкритий дизайн скануючої головки дозволяє проводити спостереження

за поверхнею досліджуваного зразка під кутом 0-90°, встановлювати додаткові пристрої й устаткування. Модульна конфігурація дозволяє встановлювати

скануючий зондовий мікроскоп Certus Standard на традиційні оптичні мікроскопи (прямі або інвертовані), поєднувати з оптичними приладами і модернізувати цей прилад. Підведення голівки до зразка здійснюється однією моторизованою ніжкою. Проте, не дивлячись на мінімалізм комплектації, Certus Light є повноцінним СЗМ дослідного рівня. А завдяки низькій ціні і простій надійній конструкції, Certus Light може використовуватися для навчання студентів, початківців, фахівців і доступний для будь-якої дослідницької лабораторії НДІ, ВНЗ або комерційної організації. Крім того, Certus Light представляє інтерес для фахівців, наукові інтереси яких передбачають інтеграцію скануючого зондового мікроскопа з уже наявними у них обладнанням або проводять дослідження на СЗМ епізодично.

**Centaur** (рис. 11.19) – це скануючий зондово-оптичний мікроспектрометр, що складається зі спектрометра і оптичного мікроскопа.

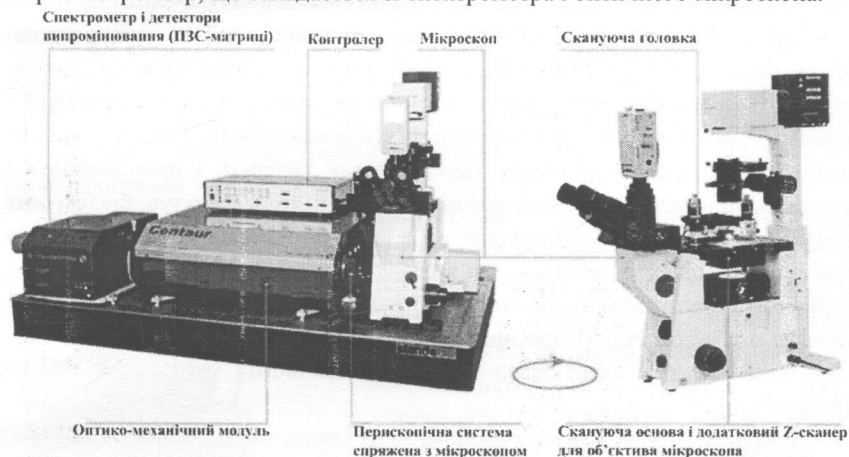


Рис. 11.19. Скануючий зондовий мікроспектрометр Centaur

Прилад нового покоління, в якому реалізовані основні методики скануючої зондової мікроскопії, оптичної мікроскопії та спектроскопії. Centaur - це прилад дослідницького класу нового покоління, який поєднує в собі:

- скануючий зондовий мікроскоп (атомно-силовий мікроскоп);
- традиційний оптичний прямиий або інвертований мікроскоп;
- конфокальний лазерний мікроскоп;
- спектрометр комбінаційного (раманівського) розсіювання;
- спектрометр флюоресценції;

Принципи, закладені в конструкцію приладу, дозволяють проводити як незалежні дослідження топографії і спектральних характеристик поверхні, так і одночасно отримувати спектрально-топографічні характеристики досліджуваних об'єктів. Завдяки цьому, можливо зробити однозначне зіставлення топографії поверхні з її структурою і складом. Крім того, Centaur дозволяє отримувати окремий спектр в кожній досліджуваній точці. Поєднання спектроскопії комбінаційного (раманівського) розсіювання і скануючої зондової мікроскопії на приладі Centaur дозволяє проводити дослідження в галузі фізики, хімії, біології, а також міждисциплінарних наук, таких як матеріалознавство, фармацевтика, біотехнології та нанотехнології. Це вивчення складу, структури і взаємодії органічних і неорганічних речовин, особливостей структури біологічних клітин, мікроелектромеханічних систем (MEMS) і багато чого іншого.

Комбінація методів скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії комбінаційного (раманівського) розсіювання дозволяє проводити аналіз складу і структури органічних і неорганічних речовин, традиційних і композитних матеріалів. Скануючий зондово-оптичний мікроспектрометр Centaur дозволяє проводити дослідження фізичних характеристик поверхні і приповерхневих шарів речовин і матеріалів, вивчення тканин, клітин та їх структур, біологічних молекул і їх взаємодій, дослідження в області взаємодії імплантатів з біологічними об'єктами, дослідження в області нанотехнологій, фармацевтики, матеріалознавства, мінералогії, геології, гемології, криміналістики, аналізу предметів мистецтва та багатьох інших.

Особливості скануючого зондово-оптичного мікроспектрометра Centaur:

- спільна робота скануючої основи Ratis і скануючої головки Certus;
- одночасне отримання інформації про топографію поверхні і спектральні характеристики;
- отримання спектру в кожній точці поверхні сканування;
- використання методик традиційної оптичної мікроскопії;
- низький рівень шумів за рахунок горизонтального розташування оптичного модуля;
- інтеграція з прямими або інвертованими оптичними мікроскопами для роботи з прозорими і непрозорими зразками;
- єдиний контролер і програмне забезпечення для повноцінної спільної роботи обладнання, що входить до складу Centaur.

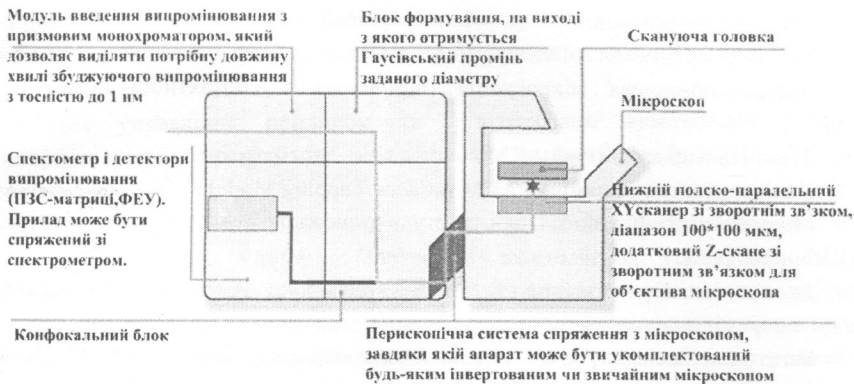


Рис 11.20. Схема скануючої зондової-оптичного мікроспектрометра Centaur

До складу скануючого зондово-оптичного мікроспектрометра Centaur (рис. 11.20) входить скануюча СЗМ головка Certus, скануюча основа Ratis, конфокальний модуль, монохроматор, оптичний мікроскоп (прямий або інвертований), контролер управління основними частинами Centaur EG-3000, єдине програмне забезпечення Nspec.

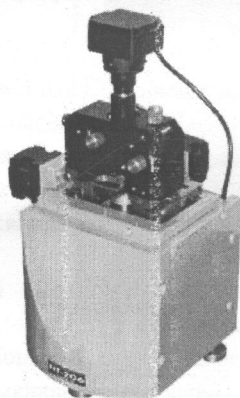


Рис. 11.21. Блок сканування атомно-силового мікроскопа NT-206

NT-206 (рис. 11.21) – це багатофункціональний скануючий зондовий мікроскоп, являє собою атомно-силовий мікроскоп в комплексі з апаратними та програмними засобами, необхідними для вимірювання та аналізу мікро-і субмікрорельєфу поверхонь, об'єктів мікро- і нанометрового розмірного діапазону, їх мікромеханічних та інших властивостей з високою роздільною здатністю. Вбудована відеосистема у поєднанні з автоматизованою платформою мікроперемещення забезпечують зручність налаштування приладу і можливість точно вибирати область вимірювань на поверхні зразка, що якісним чином підвищує

функціональність приладу при роботі з мікрооб'єктами.

У залежності від специфіки дослідницьких завдань ACM NT-206 може комплектуватися спеціалізованими змінними модулями для проведення мікротриболометричних і адгезіометричних вимірювань або наноіндентування.



Режими вимірювань:

1. Контактна статична АСМ.
2. Латерально-силова мікроскопія (одночасно з контактною статичною АСМ).
3. Безконтактна динамічна АСМ.
4. Напівконтактна динамічна АСМ (аналог Tapping Mode).
5. Мікроскопія фазового контрасту (одночасно з напівконтактною динамічною АСМ).
6. Двопрохідний режим (для статичної і динамічної АСМ) та двопрохідний режим з перемінним підйомом (для статичної і динамічної АСМ).
7. Багатоциклове сканування ділянки (для статичної і динамічної АСМ).
8. Багатошарове сканування ділянки зі змінним навантаженням.
9. Електростатична силова мікроскопія (двопрохідна методика).
10. Статична силова спектроскопія (з розрахунком кількісних характеристик, поверхневої енергії і модуля пружності зразка в точці аналізу).
11. Динамічна силова спектроскопія
12. Температурно-залежні вимірювання (для всіх перерахованих вище режимів).

Багатофункційний скануючий зондовий мікроскоп NT-206 потребує використання спеціалізованої комплектації та спеціалізованих зондів.

Поле сканування NT-206: від 5x5 мкм до 50x50 мкм. Максимальний діапазон вимірювання від 2 до 4 мкм. Латеральна роздільна здатність (площини XY): 1-5 нм (в залежності від жорсткості поверхні зразків). Вертикальна роздільна здатність (напрямок Z): 0,1-0,5 нм (в залежності від жорсткості поверхні зразків). Розмір матриці сканування: до 1024x1024 крапок. Швидкість сканування: 40-250 крапок/сек (в площині XY). Мінімальний крок сканування: 0,3 нм.

*Схема сканування:* рухомий зразок під нерухомим зондом і переміщається в площині XY (горизонтально) і в Z-напрямку (вертикально). Розміри зразка - до 30x30x5 мм; при використанні додаткової проміжної вставки допускається вимір зразків висотою до 35 мм. Перед вимірюванням зонд може бути переміщений в необхідну ділянку над зразком за допомогою автоматизованої платформи. Для забезпечення огляду ділянки сканування та об'єктів, над якими перебуває зонд, в приладі використовується відеокамера, яка дозволяє спостерігати за переміщеннями зонда над поверхнею. Відеосистема і платформа автоматизованого переміщення зонда над зразком включені в базову комплектацію приладу (вбудовані за замовчуванням). Поєднання цих двох опцій дозволяє досить гнучко вибирати на поверхні області (об'єкти) для сканування при безпосередньому візуальному контролі

оператора. Прилад включає базову платформу з вбудованою платформою автоматизованого ХУ-позиціонування і вимірювальну головку з інтегрованою відеосистемою

Для управління приладом та візуалізації вимірюваних даних використовується програмне забезпечення **SurfaceScan** (рис. 11.22) або **SurfaceView**.

Програмне забезпечення управління ACM NT-206 SurfaceScan - це 32-розрядний додаток Windows. Програмне забезпечення управління ACM забезпечує всі попередні налаштування й установки, необхідні для роботи ACM: візуальний контроль за налаштуванням лазерно-променевої системи детектування, настроюванням коливань кантилевер (у динамічному режимі), налаштування системи зворотного зв'язку, позиціонування зразка під зондом, а також підведення зразка до зонду перед вимірами і відведення після. Забезпечується вибір повного поля сканування або будь-якого зменшеного в межах ділянки для вимірювань.

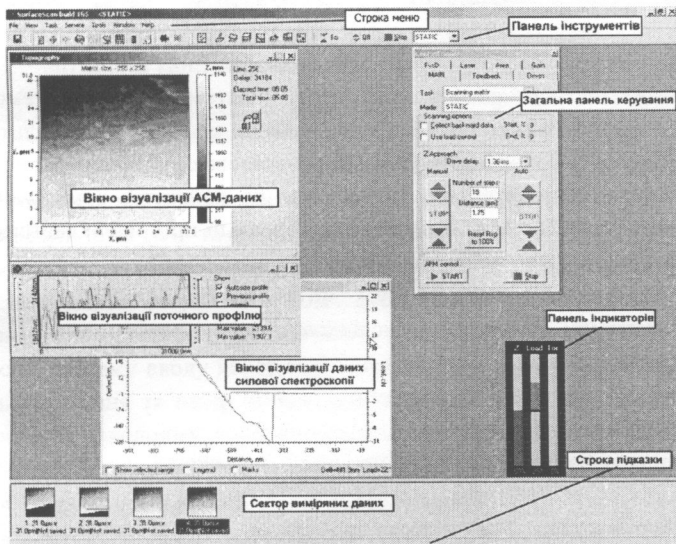


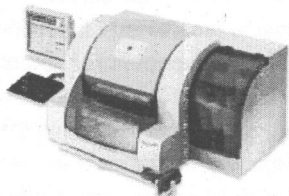
Рис. 11.22. Візуалізації вимірюваних даних мікроскопом NT-206 програмним забезпеченням SurfaceScan

Оператор може стежити за процесом сканування і отримання АСМ-зображень у будь-якій комбінації або перемикатися між скануваннями в одному вікні. Додатково відображається поточний профіль. Отримані дані зберігаються у файлах спеціального формату, які можуть потім оброблятися,

візуалізуватися (в 2-D і 3-D) і аналізуватися за допомогою спеціалізованого програмного пакету SurfaceView.

### *Автоматична система для екстракції нуклеїнових кислот EasyMAG*

Найефективніший у світі повністю автоматичний екстрактор нуклеїнових кислот (рис. 11.23), швидко здійснює екстракцію РНК/ДНК з різноманітних видів зразків. Прилад здатний обробити 1-24 зразки за робочий цикл. Під час роботи передбачно регулювання об'єму зразку та об'єму елюату на кожен зразок.



*Рис. 11.23. Автоматична система для екстракції нуклеїнових кислот EasyMAG*

Надзвичайно простий у користуванні: інтуїтивна програма користувача; сенсорний екран інтерфейсу; інструкції щодо подачі проб на екрані; пристрій для зчитування штрих-кодів; електронний багатоканальний

дозатор; система, що забезпечує оптимальне використання реагентів.

Простий, надійний, компактний, при роботі з автоматичною системою для екстракції нуклеїнових кислот EasyMAG. Ризик контамінації зводиться до мінімуму, оскільки завдяки використанню одноразових витратних матеріалів та вакуумній аспірації пристрій для розливання не контактує з рідинами та з камерою для зразків. EasyMAG реєструє універсальні протоколи екстракції для більшості типів зразків. Можливість регулювання об'єму зразка, об'єму елюату, типу зразка, робочого процесу.

Автоматичний контроль та відслідковування:

- контроль за допомогою штрих-кодів;
- реєстрація всіх операцій системи;
- відслідковування реагентів;
- відслідковування робочого процесу на екрані у хронологічному порядку.

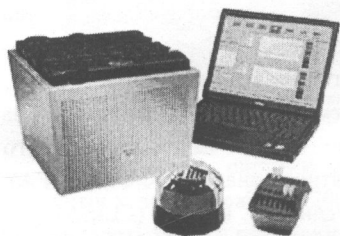
Пробопідготовка: 24 екстракції за 10-15 хв.

Пропускна здатність: 24 екстракції за 1 год. (з лізисом “на борту”); 24 екстракції за 40 хв. (з лізисом “назовні”)

*Автоматичне обладнання Smart Cycler II (Cepheid) для кількісного та якісного аналізу продуктів реакції ампліфікації полімеразної ланцюгової реакції*

Повністю автоматизований процес. Достатньо внести зразок та реагенти у пробірку та розмістити цю пробірку в термоциклері Smart Cycler II (рис. 11.24), як кількісний та якісний аналіз продуктів реакції ампліфікації висвітлюється на екрані дисплея.

Продукти ампліфікації можна досліджувати без розкриття пробірок із ампліфікаційною сумішшю, що повністю виключає можливість контамінації. Метод флюоресцентної реєстрації продуктів ампліфікації дозволяє кількісно



*Рис. 11.24. Автоматичне обладнання Smart Cycler II для кількісного та якісного аналізу*

оцінювати результати безпосередньо у ході полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР).

Smart Cycler II містить 16 незалежних модулів I-CORE (Intelligent Cooling/heating Optical REaction), кожен з яких здатен підтримувати потрібний температурний режим. Системне програмне забезпечення дозволяє проводити одночасно та

незалежно один від одного дослідження по різних протоколах ПЛР, критеріях оцінки результатів ПЛР та аналізу даних усього за 40 хв. Високоякісна оптична система та високоякісне оригінальне програмне забезпечення реалізують кількісний аналіз результатів ПЛР. Комплектація Smart Cycler II включає обладнання та програмне забезпечення, необхідне для отримання результатів: процесор, систему вводу інформації CDSW, ноутбук, програмне забезпечення, панель керування та набір аксесуарів, що включає міні-центрифугу, штативи для пробірок і охолоджуючого штативу для пробірок Smart Cycler.

*Переваги використання обладнання Smart Cycler II:*

- висока чутливість детекції серед аналогів;
- низька собівартість тесту: реагенти будь-яких виробників;
- швидка ампліфікація: повний цикл за 20-40 хв. (аналогів не існує). 16 модулів можуть працювати одночасно за незалежними протоколами. Перевірити зразок можна за 1-16 параметрами одночасно всього за 40 хв;
- кількісний аналіз, мультиплексний аналіз (детекція декількох міток одночасно);
- компактна транспортабельна система.

### Автоматичний імуноферментний аналізатор міні VIDAS

Компактний автоматичний імунофлуоресцентний аналізатор міні VIDAS (рис. 11.25) для проведення аналізу санітарної чистоти продуктів харчування, харчової сировини, комбікормів та проб з навколишнього середовища.



Рис. 11.25. Автоматичний імуноферментний аналізатор міні VIDAS

У моделях компактних аналізаторів міні VIDAS реалізована концепція максимальної простоти, надійності та економічності роботи. Сьогодні аналізатори VIDAS встановлено в більше, ніж 2500 лабораторіях, що спеціалізуються на санітарно-мікробіологічних дослідженнях.

Системи VIDAS працюють за принципом імуно-ферментного флуоресцентного аналізу (ІФФА, ELFA), який об'єднує ІФА (ELISA) з вимірюванням флуоресценції кінцевого продукту. Це технологія забезпечує відмінну чутливість і специфічність аналізу, що неодноразово підтверджено сертифікатами відповідності ISO, AOAC, HPBC, EMMAS тощо.

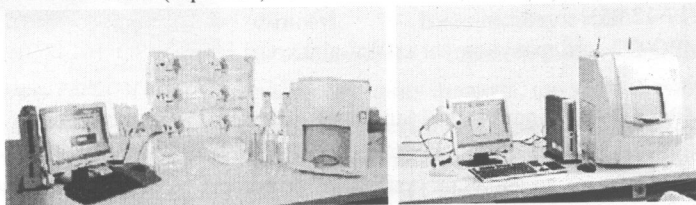
Основними характеристиками аналізаторів міні VIDAS є: простота в обслуговуванні, швидкість і точність вимірювання, відмінна відтворюваність результатів, економічність і надійність; не потрібні спеціальні навички роботи, жодні додаткові реагенти, щоденні калібрування і т.д. Важливо, що реалізована в приладах концепція дозволяє кількості виконуваних аналізів практично не впливати на їх собівартість: 50 аналізів на день, 10 або тільки 1 – результат не дорожчає.

Міні VIDAS – унікальний прилад, що являє собою «закриту» систему. Меню тестів аналізаторів Міні VIDAS, щорічно розширюється. Сьогодні меню промислових аналізів налічує 12 тестів (у т.ч. визнані «референсними»): швидка детекція патогенних мікроорганізмів у харчових продуктах (результат отримують через 24-48 год.): *Salmonella*, *Listeria* (у тому числі *L.monocytogenes*), *Campylobacter*, *E.coli*, ентеротоксину *Staphylococcus*.

Міні VIDAS забезпечує швидке отримання результату - при використанні стрипів для імуно-концентрації: «Результат – наступного дня» (для *Salmonella* та *E.coli*), при використанні адаптованих селективних середовищ виробництва bioMérieux (для *Listeria*).

*Автоматична система TEMPO для підрахунку мікроорганізмів у зразках харчового походження*

TEMPO (рис. 11.26) – перша у світі автоматизована система для проведення аналізу якісних бактеріологічних показників харчових продуктів провідного світового виробника продукції для промислової мікробіології – компанії bioMérieux (Франція).



*Рис. 11.26. Автоматична система TEMPO*

Ефективність системи підтверджується довірою виробників харчових продуктів у всьому світі. З 2007 року встановлено вже біля 200 систем. Вони забезпечують велику пропускну здатність, швидкість отримання результату (на 1-2 дні раніше ніж референсні методи) і надійність результату, в основі чого – класична мікробіологічна технологія. TEMPO надзвичайно легка у роботі, автоматизує більшість етапів дослідження та не вимагає додаткових знань і зусиль.

Система TEMPO працює за принципом детекції флуоресценції специфічного субстрату та статистичної обробки даних (метод найбільш вірогідного числа). Ця технологія офіційно валідована як альтернативний метод дослідження.

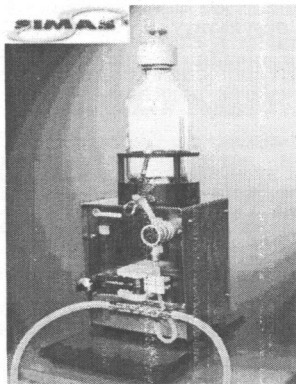
Основними характеристиками аналізаторів TEMPO є простота в обслуговуванні, швидкість і точність вимірювання, величезна пропускну здатність (до 150 тестів за годину), автоматичний контроль результату, відтворюваність і ведення бази даних, надійність результату. Не потрібні спеціальні навички роботи, не потрібні додаткові витрати на поживні середовища, місце у термостаті, час на приготування середовищ, висів мікроорганізмів на приготовані середовища, підрахунок результатів, статистичну обробку тощо. Потрібно приготувати зразок, інкубувати картки TEMPO для отримання готового результату.

TEMPO – унікальний і самодостатній прилад, що являє собою «закриту» систему. Меню параметрів відповідає вимогам європейських та американських регламентів і щорічно розширюється (найближчим часом очікується 3 нових тести).

Сьогодні меню TEMPO налічує такі тести для швидкого підрахунку мікроорганізмів у харчових продуктах (результат отримують через 22-48 год., в залежності від виду тесту):

1. TEMPO TVC – підрахунок тотальної мезофільної мікрофлори (загальне мікробне число).
2. TEMPO TC, CC – підрахунок загальної кількості колі форм (ISO 1614810 12/17-12/05).
3. TEMPO EC – підрахунок загальної кількості E.coli (ISO 1614810 12/17-12/05).
4. TEMPO EB – підрахунок загальної кількості ентеробактерій (ISO 1614810 12/17-12/05).
5. TEMPO STA – підрахунок загальної кількості коагулазо-позитивних стафілококів.
6. TEMPO LAB – підрахунок бактерій молочно-кислої групи.
7. TEMPO YST – підрахунок плісняви та дріжджів.

### *Система BLOOD - O- MAT*



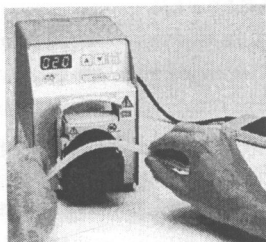
*Рис. 11.27. Дозатор агару  
Blood-O-Mat*

Призначена для дозування кров'яного агару в готове стерильне живильне середовище при розливі. Система встановлюється між апаратом для автоматичного приготування середовища і автоматичним дозатором, який укомплектований магнітною мішалкою, скляною ємністю для агару Pirex (1 літр або 0,5 літра).

Система BLOOD-O-MAT (рис. 11.27) запобігає лізису крові (розриву еритроцитів, і як наслідок – втраті кров'ю червоного забарвлення), що має місце при приготуванні кров'яного агару традиційним методом; забезпечує турбулентне перемішування крові з готовим середовищем (агаром); швидке дозування готової суміші в чашки Петрі. Необхідною умовою для роботи системи Blood-O-Mat є постійна температура змішування (кров + агар).

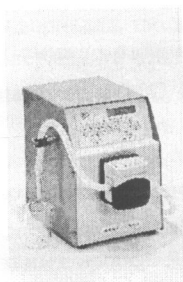
### *Перистальтичні насоси*

Відбір готового середовища і її дозоване розливання у будь-які ємності можна здійснити за допомогою простих і зручних у використанні мікропроцесорних перистальтичних насосів виробництва "Selecta". Насоси комплектуються нижньою педаллю-вимикачем.



*Рис. 11.28. Перистальтичний насос PERCOM N-M*

Перистальтичний насос PERCOM N-M (рис. 11.28) має мікропроцесорну модель, РК дисплей, сенсорне керування. Можливе його підключення до будь-якого апарату автоматичного приготування середовища для дозування стерильного поживного середовища у будь-які ємності. Використовуються силіконові автоклаваючі шланги. Зовнішній діаметр застосовуваних шлангів, що застосовуються – 8-12 мм. Швидкість дозування – 1-73 л/год.



*Рис. 11.29. Перистальтичний насос Перистальтика ПР*

Перистальтичний насос Перистальтика ПР-2003 (рис. 11.29) містить мікропроцесор, РК дисплей та сенсорне керування. Існує можливість підключення його до будь-якого апарату автоматичного приготування і дозування поживного середовища у будь-які ємності. Використовуються силіконові автоклаваючі шланги. Зовнішній діаметр шлангів, які застосовуються, від 8 до 12 мм. Має бічний тримач для силіконового шланга, що полегшує дозування. Швидкість дозування до 108 л/год.



## ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТУРИ

Технологічний розрахунок апаратури полягає у визначенні потрібної продуктивності і порівнянні її з розрахованою продуктивністю того чи іншого апарата. За результатом порівняння обирають апаратуру та визначають потрібну кількість устаткування. Методика розрахунків залежить від того, як працює апарат: періодично чи безперервно.

При безперервному веденні процесу вихідний компонент завантажують безперервно, а продукти вивантажують (безперервно), такий процес має велику продуктивність і легко автоматизується.

У випадку періодичного процесу, який найчастіше спостерігається в ХФП, вихідні компоненти і продукти завантажуються та вивантажуються періодично і, як правило, кожна операція проводиться в окремому апараті.

Технологічні розрахунки містять таблицю норм технологічного режиму і закінчуються зведеною таблицею специфікації обладнання.

### Принципи розрахунку кількості та об'єму апаратів періодичної дії

Перш, ніж приступити до розрахунків, введемо позначення основних параметрів:

$\phi$  – коефіцієнт заповнення апарата;

$\phi_{\phi}$  – фактичний коефіцієнт заповнення апарата;

$N$  – потужність виробництва, т/рік;

$n$  – кількість робочих днів у році;

$P_{\text{д}}$  – добова потужність виробництва ( $P_{\text{д}} = N / n$ );

$K$  – перерахунковий коефіцієнт від завантаження на 1 т готового продукту до добового завантаження ( $K = P_{\text{д}} / I_{\text{т}} = P_{\text{д}}$ );

$V_{\text{т}}$  – об'єм матеріалів, які переробляються на даній стадії на 1 т готового продукту,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{д}}$  – об'єм матеріалів, які переробляються на певній стадії впродовж доби,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{а}}$  – повний об'єм апарата за каталогом,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{а}}'$  – розрахунковий об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{р}}$  – робочий об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$\alpha$  – кількість операцій, які проводяться на певній стадії за добу, оп/доба;

$\beta$  – кількість операцій, які проводяться в даному апараті за добу, оп/доба;

$\tau$  – час роботи апарата, год;

$m_{\text{р}}$  – розрахункова кількість апаратів, шт;

$m$  – кількість апаратів, які встановлюються на певній стадії, шт;

$\delta$  – запас потужності апаратів на певній стадії.

### Розрахунок реакторів на першій стадії

Для розрахунку апаратів періодичної дії потрібно виходити з величини добової продуктивності  $V_D$  і тривалості технологічного циклу  $\tau$ .  $V_D$  береться з даних матеріального балансу щодо даної стадії (якщо матеріальні розрахунки проводились на добу продуктивність) або розраховують.

При розрахунках на 1 т готового продукту

$$V_D = V_T \cdot K = V_T \cdot N / n$$

Тривалість технологічного циклу  $\tau$  визначають за нормами технологічного режиму з регламенту виробництва, з урахуванням змін ємкості і типу обладнання у виробництві, яке проектується.

Звичайно норми технологічного режиму подаються у вигляді таблиці (наприклад, таблиця 1), в яку заносяться нормативи часу на виконання окремих операцій та стадій, враховуючи допоміжний час, а також вказуються основні параметри ( $t$  °C, P,  $\tau$  та ін.) проведення технологічного процесу.

Починаючи розрахунок, вибирають за каталогом об'єм апарата  $V_a$  (м<sup>3</sup>) першої (основної) стадії. Далі визначають робочий об'єм апарата  $V_p$ :

$$V_p = V_a \cdot \phi$$

Величину коефіцієнта заповнення апарата  $\phi$  вибирають залежно від того, яким є процес. Для реакторів:

- без вспінювання та інтенсивного перемішування  $\phi = 0,8$ ;
- з кипінням чи інтенсивним перемішуванням  $\phi = 0,65-0,7$ ;
- з вспінюванням  $\phi = 0,4-0,6$ .

Для мірників, сховищ і збірників  $\phi = 0,85-0,9$ .

Таблиця 1

Нормативи технологічного режиму на стадії I

№ п/п	Назва операцій	Тривалість, год – хв	Маса, кг	Температура, °C	Тиск, МПа
1	Огляд апарата	0-05			
2	Завантаження речовини А (вих. реч.)	0-15	330		
3	Підігрів (від 20 до 55-60°C)	0-20		55-60	
4	Завантаження суспензії В	1-15	550	55-60	
5	Витримка (при 55-60°C)	2-00		55-60	
6	Охолодження	0-20			
n	....	....			
7+n	Аналіз	0-05			
8+n	Перетискання	0-20			0,5
	Всього	5-40			

Тоді число операцій, які проводяться на цій стадії протягом доби  $\alpha$ :

$$\alpha = V_D / V_P = V_D / (V_a \cdot \varphi) \quad (\text{бажано, щоб } \alpha = 2-5 !)$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному апараті упродовж доби  $\beta$ :

$$\beta = 24 / \tau$$

Тоді розрахункова кількість апаратів, які використовуються  $m_p$ , приймається із співвідношення:

$$m_p = \alpha / \beta = (V_D \cdot \tau) / (V_a \cdot \varphi \cdot 24)$$

На основі значення  $m_p$  приймаємо кількість апаратів, які встановлюються на цій стадії  $m$  (наприклад:  $m_p = 2,64$  тоді  $m = 3$  або  $m_p = 1,1$ , тоді  $m = 2$ ).

Оптимальна кількість апаратів на 1 стадії 1–3, але не більше 5–6.

За даними  $m_p$  і  $m$  визначаємо запас потужності апаратів на даній стадії  $\delta$ :

$$\delta = [(m - m_p) / m_p] \cdot 100\%$$

$\delta$  показує час простоювання апаратів між окремими стадіями (бажано до 10-15 хв), оптимальне значення  $\delta$ :

– для реакторів  $\delta = 10-15\%$ ,

– для складних за конструкцією апаратів (автоклави, центрифуги)  $\delta = 15-25\%$ .

Якщо значення  $\delta$  виходять за межі оптимального не дуже (наприклад, 16 %), то  $m$  є допустимим, якщо ж сильно (наприклад, 35 %), то роблять перерахунок стадій, при цьому змінюють  $V_a$ .

Коли буде визначено оптимальне значення  $\delta$  і визначено  $m$ , то з каталогів вибирають основні параметри ( $V_n$ ,  $D$ ,  $H$ ) апарата.

#### *Розрахунок устаткування на II-ій та на наступних стадіях*

Вибір апаратів ємкісного типу на наступних стадіях виробництва проводять за умови, що  $\alpha = \text{const}$ . Тоді робочий об'єм реакторів визначають за формулою:

$$V_P = V_d / \alpha,$$

$$V_d = V_T \cdot K$$

Значення  $V_T$  береться з таблиць матеріального балансу цієї стадії.

Приймаємо  $\varphi$  і розраховуємо  $V_a'$ :

$$V_a' = V_P / \varphi$$

Відповідно за значенням  $V_a'$  за каталогом вибираємо  $V_a$  і визначаємо фактичний коефіцієнт заповнення апарата  $\varphi_\Phi$ :

$$\varphi_\Phi = V_P / V_a$$

За нормами технологічного режиму визначаємо  $\tau$  і відповідно

$$\beta = 24 / \tau$$

Знаходимо  $m_p$ :

$$m_p = \alpha / \beta$$

і приймаємо  $m$ . Тоді розраховуємо запас потужності апаратів на цій стадії  $\delta$ :

$$\delta = (m - m_p) / m_p * 100\%$$

Таким чином розраховують реактори на всіх подальших стадіях, а їхні основні розміри вибирають з каталогів.

Крім реакторів використовуються й інші апарати, наприклад: фільтри, сушарки, мірники, сховища тощо.

Мірники розраховують аналогічно до реакторів на II стадії, однак найчастіше час роботи мірника є невеликим (10-30 хв.) і в цьому випадку визначати  $\delta$  не потрібно (його значення будуть дуже великими, тому їх не рахують). Однак, якщо час роботи мірника великий, тоді  $\delta$  слід рахувати.

Розрахунок сховищ рідких матеріалів проводять за формулою:

$$\delta' = V_a \cdot \varphi \cdot z / V_d,$$

де  $\delta'$  – запас рідкого продукту, доби;

$z$  – кількість сховищ;

$V_d$  – об'єм рідкого продукту, що використовується впродовж доби,  $m^3$ .

Згідно з правилами техніки безпеки на заводі можна зберігати:

– легкозаймісті органічні рідини (спирти, ефіри, ацетон тощо) не більше доби, тобто  $\delta' = 0,5-1$  доба;

– органічні рідини, які не горять (оцтова кислота) –  $\delta' = 1-2$  доби;

– розчини солей, кислот, лугів, які не горять –  $\delta' = 2-3$  доби.

З іншого боку:

$$V_a = (V_d \cdot \delta') / (\varphi \cdot z), \quad [m^3].$$

Збірники для рідких продуктів зазвичай встановлюють після операцій фільтрування, центрифугування, відгонки тощо; їх розраховують або як реактори, або як сховища, залежно від тривалості технологічного процесу. Тобто якщо великий час роботи апарата – то розраховують як реактор, а якщо незначний – як сховище.

При орієнтовному розрахунку кількості друк- і нутч-фільтрів розраховують кількість апаратів і поверхню фільтрування. При цьому для обчислень використовують об'єм осаду  $V_T$ , який береться з таблиць матеріального балансу певної стадії.

$$V_d = V_T \cdot K,$$

$$V_p = V_d / \alpha,$$

де  $V_p$  – робочий об'єм осаду (осад, який знаходиться на фільтрі),  $m^3$ .

Приймаємо  $H$  (м) – висоту осаду на фільтрувальній перегородці:

– для нутч-фільтра  $H = 0,1-0,3$  м,

– для друк-фільтра  $H = 0,05-0,25$  м.

Тоді поверхня фільтрувальної перегородки  $F_p$  матиме площу:

$$F_p = V_p / H, [M^2]$$

За нормами технологічного режиму визначасмо  $\tau$  і відповідно знаходимо  $\beta$  і  $m_p$ :

$$\beta = 24 / \tau,$$

$$m_p = \alpha / \beta$$

та приймаємо  $m$ . Тоді розраховуємо запас потужності фільтрів  $\delta$ :

$$\delta = (m - m_p) / m_p * 100\%$$

Далі з каталогу, на основі  $F_p$  і  $m$ , вибираємо площу фільтрувальної перегородки та інші параметри апарата.

Для розрахунку кількості камерних сушарок з таблиці матеріального балансу вибирають об'єм осаду  $V_T$ , що поступає на стадію сушіння, тоді:

$$V_d = V_T * K,$$

$$V_p = V_d / \alpha$$

Приймаємо  $H$  (м) – висоту осаду на протвені ( $H = 0,01-0,05$  м).

Знаходимо площу всіх протвенів

$$F_p = V_p / H, [M^2]$$

За каталогом на основі  $F_p$  вибираємо  $F$ .

Знаходимо площу одного протвеня

$F_{np} = a \cdot b, [M^2]$  (як правило, він має розміри 30x50 або 40x60 см).

Тоді кількість протвенів буде:

$$n' = F / F_{np} \text{ [штук]}$$

Зазвичай, кількість протвенів  $n$  є парною і може бути вибрана з каталогу.

З каталогу вибираємо сушарку, знаходимо  $\beta$  і  $m_p$ :

$$\beta = 24 / \tau,$$

$$m_p = \alpha / \beta$$

та приймаємо  $m$ . Розраховуємо запас потужності  $\delta$ :

$$\delta = (m - m_p) / m_p * 100\%$$

Наприкінці розрахунку кожного з апаратів наводиться коротка його характеристика (розміри, об'єм тощо) з вказівкою про конструкційний матеріал і спосіб виготовлення (наприклад, сталевий С.3, зварний) та короткі відомості про особливості конструкції (оболонка, тип мішалки...). Паралельно з технологічними розрахунками розробляють технологічну схему, при цьому розраховують і вказують всі апарати.

Технологічні розрахунки закінчуються таблицею 2, яка називається: «Специфікація технологічного обладнання».

Наприклад:

Специфікація технологічного обладнання

№ п/п	№ на тех.сх.	Назва апарата	К-ть апаратів	Об'єм, м <sup>3</sup>	Матеріал	Ос-ні розміри		Коротка Характеристика
						D, мм	H, мм	
1	P-1	Реактор	2	1	X18H10T	1200	1500	сорочка, пропелерна мішалка

Коли потрібна дуже велика потужність, то з довідників вибирають апарати безперервної дії.

### Задачі для самоперевірки

3. Яку кількість реакційних апаратів періодичної дії слід використати, якщо кількість операцій, що проводяться на певній стадії протягом доби є 3.9 оп/добу, а в одному апараті за добу – 2.9?

4. Скільки операцій в апараті на певній стадії потрібно провести протягом доби, щоб переробити 2 м<sup>3</sup> сировини; коефіцієнт заповнення апарату 70 %, а його повний об'єм 1м<sup>3</sup>?

5. Визначити кількість сульфураторів, потрібних для сульфування нітрохлорбензолу й апаратів для висолювання сульфомаси у виробництві натрієвої солі п-нітрохлорбензол-о-сульфокислоти. Кількість сульфомаси  $V = 5 \text{ м}^3/\text{добу}$ , тривалість сульфування  $\tau = 12 \text{ год}$ ; кількість рідини, що переробляється в апараті для висолювання  $V = 20 \text{ м}^3/\text{добу}$ , час операції висолювання  $\tau = 18 \text{ годин}$ . Процес виробництва періодичний, а повний об'єм апарату за каталогом на першій стадії 2 м<sup>3</sup>.

6. Визначити кількість та об'єм основних реакційних апаратів ємкісного типу, які потрібно встановити на перших двох стадіях у виробництві фармпрепарата, що працюють у періодичному режимі, повний об'єм апарата за каталогом на першій стадії 1,6 м<sup>3</sup>.

$$1 \text{ стадія } V_d = 18 \text{ м}^3$$

$$\tau'_{\text{операції}} = 3 \text{ год.}$$

$$2 \text{ стадія } V_d = 35 \text{ м}^3$$

$$\tau''_{\text{операції}} = 4 \text{ год.}$$

7. Визначити кількість і об'єм основних реакційних апаратів ємкісного типу, які потрібно встановити на другій стадії у виробництві фармпрепарата, при періодичному режимі виробництва, якщо повний об'єм апарата за каталогом на першій стадії 2 м<sup>3</sup>,  $\varphi = 0,8$ .

$$1 \text{ стадія } V_d = 6 \text{ м}^3$$

$$\tau'_{\text{операції}} = 6 \text{ год.}$$

$$2 \text{ стадія } V_d = 15 \text{ м}^3$$

$$\tau''_{\text{операції}} = 9 \text{ год.}$$

8. Визначити кількість і об'єм основних реакційних апаратів ємкісного типу, які потрібно встановити на другій стадії у виробництві фармпредпарата, при періодичному режимі виробництва, якщо повний об'єм апарата за каталогом на першій стадії  $5 \text{ м}^3$ ,  $\varphi = 0,7$ .

1 стадія  $V_d = 12 \text{ м}^3$   $\tau'_{\text{операції}} = 6 \text{ год.}$

2 стадія  $V_d = 10 \text{ м}^3$   $\tau''_{\text{операції}} = 4 \text{ год.}$

9. Визначити кількість і об'єм основних реакційних апаратів ємкісного типу, які потрібно встановити на другій стадії у виробництві фармпредпарата, при періодичному режимі виробництва, якщо повний об'єм апарата за каталогом на першій стадії  $3,2 \text{ м}^3$ ,  $\varphi = 0,8$ .

1 стадія  $V_d = 4 \text{ м}^3$   $\tau'_{\text{операції}} = 13 \text{ год.}$

2 стадія  $V_d = 6 \text{ м}^3$   $\tau''_{\text{операції}} = 10 \text{ год.}$

### Приклад розв'язку задач:

Визначити кількість й об'єм основних реакційних апаратів ємкісного типу, які потрібно встановити на перших двох стадіях у виробництві фармпредпарата, що працює в періодичному режимі.

1 стадія  $V_d = 18 \text{ м}^3$   $\tau = 3 \text{ год.}$

2 стадія  $V_d = 35 \text{ м}^3$   $\tau = 6 \text{ год.}$

*Розв'язок:*

1 стадія. Приймаємо  $V_a = 3,2 \text{ м}^3$ ,  $\varphi = 0,75$

тоді  $V_p = V_a \cdot \varphi = 3,2 \cdot 0,75 = 2,4 \text{ м}^3$ ,

$\alpha = V_d / V_p = 18 / 2,4 = 7,5 \text{ оп/добу}$

$\beta = 24 / \tau = 24 / 3 = 8 \text{ оп/добу}$

$m_p = \alpha / \beta = 7,5 / 8 = 0,94$ , приймаємо  $m = 1$

тоді  $\delta = (m - m_p) / m_p \cdot 100 = (1 - 0,94) / 0,94 \cdot 100 \% = 6,4 \%$

2 стадія  $V_p = V_d / \alpha = 35 / 7,5 = 4,67$  приймаємо  $\varphi = 0,70$

тоді  $V'_a = V_p / \varphi = 4,67 / 0,7 = 6,67$ , за каталогом вибираємо  $V_a = 25,0 \text{ м}^3$ ,

$\beta = 24 / \tau = 24 / 6 = 4 \text{ оп/добу}$

$m_p = \alpha / \beta = 7,5 / 4 = 1,875$ , приймаємо  $m = 2$

тоді  $\delta = (m - m_p) / m_p \cdot 100 = (2 - 1,875) / 1,875 \cdot 100 \% = 6,7 \%$

*Відповідь:* На першій стадії потрібно використати 1 апарат з  $V_a = 3,2 \text{ м}^3$ , на другій стадії – 2 апарати з  $V_a = 25,0 \text{ м}^3$ .

# ДОДАТКИ

Таблиця 1. Основні фізико-хімічні властивості деяких газів і пари речовин за нормальних умов  
( $T_0 = 273 \text{ K}$ ,  $P_0 = 101,3 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт.ст.}$ )

№ п/п	Газ	Формула	Мол. маса, кг/кмоль	Густина, кг/м	Питома теплосміність, кДж/(кг·K)		Критичні точки		Температура кипіння, $T_{\text{кип.}}^{\circ\text{C}}$	Теплота пароутвор. г, кДж/кг	В'язкість, $\mu 10^6, \text{ Па}\cdot\text{с}$
					$C_p$	$C_v$	$T_{\text{кр.}}^{\circ\text{C}}$	$P_{\text{кр.}} \text{ ат}$			
1	Азот	$\text{N}_2$	28,02	1,25	1,04	0,745	-147,1	33,8	-195,8	200	17,0
2	Аміак	$\text{NH}_3$	17,03	1,771	2,24	1,67	132,4	112,7	-33,4	1370	9,18
3	Аргон	$\text{Ar}$	39,94	1,782	0,53	0,32	-122,4	48,5	-185,9	163	20,9
4	Ацетилен	$\text{C}_2\text{H}_2$	26,04	1,171	1,68	1,35	35,7	62	-83,66	392,6	9,35
5	Ацетон	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	58,1	2,59	1,566	-	235,5	47	56	565,7	6,6
6	Бензол	$\text{C}_6\text{H}_6$	78,11	-	1,25	1,14	288,5	48,3	80,2	393	7,2
7	<i>n</i> -Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	58,12	2,673	1,91	1,73	152	37,8	-0,5	386	8,1
8	Бутилен	$\text{C}_4\text{H}_8$	56,12	2,5	1,53	-	146,4	39,7	-6,3	407	7,2
9	Водень	$\text{H}_2$	2,016	0,090	1,42	1,01	-239,9	12,9	-252,7	454	8,42
10	Повітря	-	28,95	1,293	1,01	0,72	-140,7	37,6	-195	196,3	17,3
11	<i>n</i> -Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	86,2	3,84	1,66	1,53	234,7	30,2	68,7	378	6,1
12	Гелій	$\text{He}$	4,0	0,179	5,28	3,18	-268	2,26	-268,9	19,5	18,8
13	Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	100,2	4,46	1,66	-	266,9	27	98,4	375	5,65
14	Діоксид азоту	$\text{NO}_2$	46,0	-	0,804	0,62	158,2	100	21,2	712	17,5
15	Діоксид сірки	$\text{SO}_2$	64,1	2,93	0,633	0,503	157,5	77,8	-10,8	394	11,7
16	Діоксид вуглецю	$\text{CO}_2$	44,0	1,98	0,838	0,654	31,1	72,9	-78,2	574	13,7
17	Кисень	$\text{O}_2$	32,0	1,429	0,913	0,654	-118,8	49,7	-183,0	213	20,3
18	Метан	$\text{CH}_4$	16,0	0,72	2,23	1,70	-82,5	45,6	-161,6	511	10,3
19	Метиловий спирт	$\text{CH}_3\text{OH}$	32,04	1,426	1,62*	1,35*	240	81,1	64,5	1100	11,4*
20	Оксид вуглецю	$\text{CO}$	28,0	1,25	1,05	0,754	-140,2	34,5	-191,5	212	16,6
21	<i>n</i> -Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	72,2	-	1,72	1,58	197,1	33,0	36,1	360	8,7
22	Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	44,1	2,02	1,87	1,65	96,8	43,0	-42,1	427	7,9
23	Пропілен	$\text{C}_3\text{H}_6$	42,1	1,91	1,63	1,44	91,9	45,4	-47,7	440	8,35
24	Сірководень	$\text{H}_2\text{S}$	34,1	1,54	1,06	0,804	100,4	90,1	-60,2	549	11,66
25	Сірковуглець	$\text{CS}_2$	76,1	3,39	0,67	0,563	279	78,8	46,3	374,6	8,9
26	Хлор	$\text{Cl}_2$	70,9	3,22	0,482	0,355	144,0	76,1	-33,8	306	12,3
27	Хлористий водень	$\text{HCl}$	36,45	1,64	0,78	0,556	51,4	82,7	-85,0	443,7	13,3
28	Фтор	$\text{F}_2$	38,0	1,695	0,83	0,60	-101	56,8	-188	172	22,5
29	Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	30,1	1,36	1,73	1,45	32,1	48,8	-88,5	486	8,5
30	Етилен	$\text{C}_2\text{H}_4$	28,1	1,26	1,53	1,26	9,7	51,6	-103,7	482	9,4
31	Етиловий спирт	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$	46,1	2,043	1,61*	1,49*	243,1	63,7	78,3	921,8*	11,3*
32	Етиловий ефір	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	74,12	3,31	1,59*	-	193,8	36,8	34,5	350*	9,0*

\* Параметри визначені при температурі кипіння рідини.



Таблиця 2. Густина рідин і водних розчинів в залежності від температури

Речовина	Густина, кг/м <sup>3</sup> , при температурі °С						
	0	20	40	60	80	100	120
Азотна кислота, 100 %	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
Азотна кислота, 50 %	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аміак рідкий	639	610	580	545	510	462	390
Аміачна вода, 25 %	918	907	897	887	876	866	856
Анілін	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон	813	791	768	746	719	693	665
Бензин	767	751	735	717	699	681	665
Бензол	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловий спирт	824	810	795	781	766	751	735
Вода	1000	998	992	983	972	958	943
Гас освітлювальний	830	819	808	795	781	766	751
Гексан	677	660	641	622	602	581	559
Гліцерин, 50 % розчин	1136	1126	1116	1106	1006	996	986
Діетиленгліколь	1130	1120	1100	1092	1074	1060	1046
Діетиловий ефір	736	714	689	666	640	611	576
Діхлоретан	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Етилацетат	924	901	876	851	825	797	768
Етиловий спирт, 100 %	806	789	772	754	735	716	693
Етиловий спирт, 60 %	904	891	878	864	849	835	820
Етиловий спирт, 40%	947	935	923	910	897	885	872
Ізопропиловий спирт	801	785	768	752	735	718	700
Кальцій хлорид, 20 % розчин	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
m-Ксилол	882	865	847	831	796	796	77
Метилловий спирт, 100 %	810	792	774	756	736	714	-
Метилловий спирт, 40 %	946	935	924	913	902	891	880
Мурашина кислота	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Натр ідкий, 50 % розчин	1540	1525	1511	1497	1483	1469	1454
Натр ідкий, 40 % розчин	1443	1430	1416	1403	1389	1375	1360
Натр ідкий, 30 % розчин	1340	1328	1316	1303	1289	1276	1261
Натр ідкий, 20 % розчин	1230	1219	1208	1196	1183	1170	1155
Натрій хлорид, 20 % розчин	1157	1148	1139	1130	1120	1110	1100
Нітробензол	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Пропіловий спирт	819	804	788	770	752	733	711
Сірчана кислота, 98 %	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
Сірчана кислота, 75 %	1689	1669	1650	1632	1614	1597	1580
Сірчана кислота, 60 %	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Сірковуглець	1293	1263	1233	1200	1165	1125	1082
Соляна кислота, 30 %	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1090
Толуол	884	866	847	828	808	788	766
Оцтова кислота, 100 %	1072	1048	1027	1004	981	958	922
Оцтова кислота, 50 %	1074	1058	1042	1026	1010	994	978
Хлорбензол	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Хлороформ	1526	1489	1450	1411	1380	1326	1280
Чотирихлористий вуглець	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390

Таблиця 3. Питома теплосмість рідин і водних розчинів в залежності від температури

Речовина	Теплосмість, Дж/(кг К), при температурі °С						
	0	20	40	60	80	100	120
Азотна кислота, 100 %	1751	1760	1781	1802	1823	1844	1864
Азотна кислота, 50 %	2795	2849	2904	2975	3058	3100	3184
Аміак рідкий	4609	4735	4860	5112	5447	5740	6201
Аміачна вода, 25 % розчин	4316	4316	4358	4441	4525	4609	4735
Анілін	1998	2040	2086	2128	2174	2216	2262
Ацетон	2116	2179	2242	2304	2371	2434	2497
Бензол	1634	1730	1827	1927	2024	2120	2178
Бутиловий спирт	2107	2325	2543	2765	2983	3205	3423
Вода	4232	4186	4182	4190	4190	4232	4274
Гексан	2246	2246	2246	2246	2246	2246	2246
Гліцерин, 50 % розчин	3562	3562	3520	3520	-	-	-
Діхлоретан	1060	1148	1240	1328	1420	1512	1600
Етилацетат	1848	1919	1990	2066	2137	2208	2279
Етиловий ефір	2212	2267	2409	2652	2891	3130	3364
Етиловий спирт, 100 %	2292	2484	2715	2966	3222	3515	3808
Етиловий спирт, 60 %	3058	3142	3310	3478	3603	3771	3980
Етиловий спирт, 40 %	3436	3520	3645	3687	3813	3938	4022
Етиловий спирт, 20 %	3813	3855	3896	3938	3980	4064	4106
Ізопропиловий спирт	2363	2660	2958	3256	3548	3842	4135
Кальцію хлорид, 25 % розчин	2891	2941	2975	3058	3100	3142	3184
Натрій їдкий, 50 % розчин	-	3239	3222	3214	3205	3197	3193
Натрій їдкий, 40 % розчин	3381	3423	3460	3478	3486	3486	3486
Натрій їдкий, 30 % розчин	3452	3520	3587	3624	3641	3641	3641
Натрій їдкий, 20 % розчин	3528	3612	3666	3695	3712	3720	3720
Натрію хлорид, 20 % розчин	3943	3934	3922	3900	3896	3855	3855
Метиловий спирт, 100 %	2468	2568	2669	2765	2866	2966	3067
Метиловий спирт, 40 %	3520	3561	3603	3603	3645	3687	3729
Мурашина кислота	1965	2053	2141	2225	2313	2400	2484
Ніпробензол	1400	1454	1508	1567	1622	1676	1735
Октан	2204	2204	2204	2204	2204	2204	2204
Оцтова кислота, 100 %	1885	1994	2103	2208	2317	2426	2535
Оцтова кислота, 50 %	3058	3100	3142	3184	3268	3310	3352
Сірчана кислота, 98 %	1404	1458	1513	1571	1626	1684	1735
Сірчана кислота, 75 %	1873	1940	2007	2074	2137	2208	2275
Сірчана кислота, 60%	2200	2283	2367	2451	2535	2618	2702
Сірковугілець	985	997	1014	1026	1039	1056	1068
Соляна кислота, 30 %	2304	2472	2640	2807	3017	3184	3352
Толуол	1613	1705	1797	1890	1982	2070	2120
Хлорбензол	1257	1320	1382	1445	1508	1575	1638
Хлороформ	993	1022	1052	1081	1110	1140	1169
Чотирихлористий вуглець	838	863	892	922	947	976	1005

Таблиця 4. Температура кипіння і теплота фазових перетворень деяких рідин при атмосферному тиску

Хімічна сполука	Формула хімічної сполуки	Мол. маса, кг/кмоль	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С		Теплота фазового переходу, кДж/кг	
				T <sub>кип</sub>	T <sub>плав</sub>	Г <sub>випар</sub>	Q <sub>плав</sub>
Ацетон	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	58,08	810	56	-94,3	523	98,1
Аміак	NH <sub>3</sub>	17	682	-33,4	-77,7	1374	350,4
Анілін	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	93,1	1022	184,4	-6,3	448	113,5
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	900	80,2	+5,5	394	126,1
Бутанол	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74,12	810	117,7	-90	590,4	125,3
Вода	H <sub>2</sub> O	18	998	100	0	2264	333
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	660	68,7	-95	337,2	151,4
Етанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	790	78,3	-114	849,3	108
Етилацетат	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,1	900	77,1	-83,6	373	119
Етиленгліколь	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62,1	1115	197,5	-87	800,8	-
m-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,1	864	139,1	-47,8	343,6	128
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	32	800	64,7	-98	1100	99,3
Метил ацетат	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74,1	930	57,5	-98,7	411	-
Нітробензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	123,1	1200	210,6	+5,8	410,6	94,3
Сірковуглець	CS <sub>2</sub>	76,1	1290	46,3	-112	352	57,7
Толуол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	92,1	870	110,8	-95	362,5	71,9
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112,6	1042	130,6	-45,2	320,5	66,7
Хлороформ	CHCl <sub>3</sub>	119,4	1530	61,2	-64,5	248	-

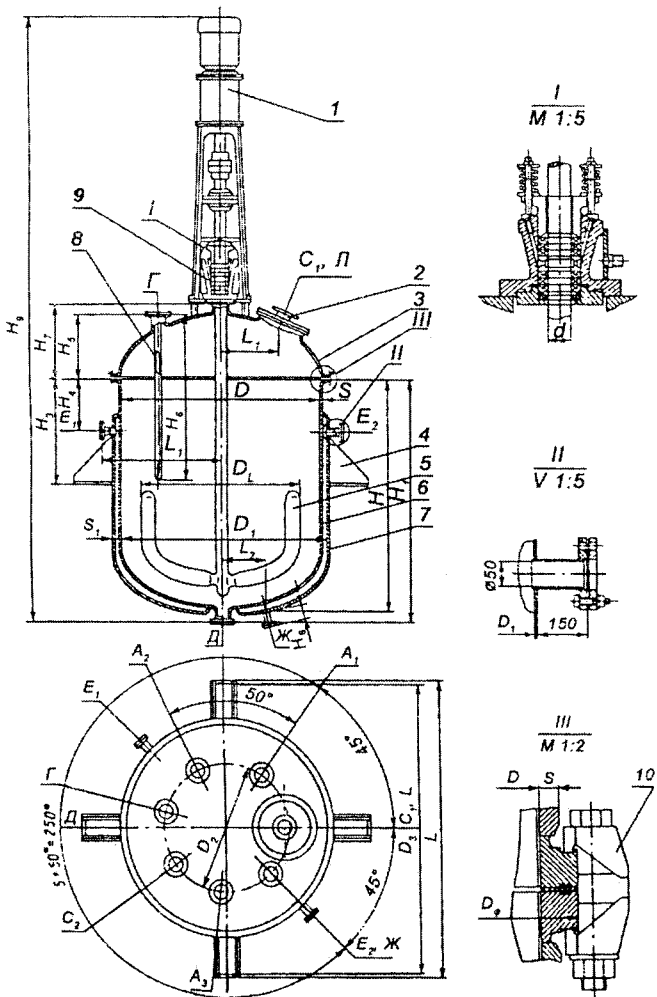


Рис.1. Апарат з механічним перемішувачем (з поверхню теплообміну у вигляді оболонки). Креслення загального вигляду

Таблиця штуцерів

Позн.	Назва	Кількість	Прохід умовний Ду, мм	Тиск умовний Ру, МПа
А1-3	Вхід продукту	3	100	0,1
Г	Для гільзи термометра	1	100	0,1
Д	Вихід продукту	1	100	0,1
Е1-2	Вихід холодоагенту	2	50	0,2
Ж	Вхід холодоагенту	1	50	0,2
С1-2	Для оглядового скла	2	100	0,1
Л	Люк	1	400	0,1

Таблиця 6

Перелік основних складових частин апарата

Зона	Форма т	Поз.	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Збірне креслення</u>		
		1		Привід мішалки	1	
		2		Кришка люку	1	
		3		Кришка	1	
		4		Опора	4	
		5		Мішалка якірна	1	
		6		Корпус	1	
		7		Оболонка	1	
		8		Гільза з термометром	1	
		9		Ущільнення торцеве	1	
		10		Механізм зажимний	4	
					0	

Таблиця 7.

Основні технічні дані сталіних емальованих апаратів з перемішуючим обладнанням

Показник	Об'єм, м <sup>3</sup>							
	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16
Умовний тиск (надлишковий), МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не більше								
В корпусі	0,6(6)	0,6(6)	0,6(6)	0,3(3)	0,3(3)	0,3(3)	0,3(3)	0,3(3)
В оболонці	1,0(10)	1,0(10)	1,0(10)	0,6(6)	0,6(6)	0,6(6)	0,6(6)	0,6(6)
Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup>	2,28	3,45	4,73	6,3	9,1	12,3	18,5	27,4
Діаметр валу мішалки в зоні сальникового ущільнення, мм	57	57	65	65	80	130	130	130
Основні розміри, мм:								
D	900	1000	1200	1400	1600	1800	2200	2400
D <sub>1</sub>	1000	1100	1300	1500	1700	2000	2404	2604
D <sub>2</sub>	620	700	850	950	1000	1220	3052	3288
D <sub>3</sub>	1290	1525	1730	2020	2240	2580	2935	3910
D <sub>4</sub>	760	800	950	1050	1250	1550		
H	870	1140	1280	1440	170	2250	2935	3910
H <sub>1</sub>	960	1245	1385	1545	1895	2355	3060	4035
H <sub>2</sub>	2760	3040	3340	3630	4700	5600	5405	6380
H <sub>3</sub>	530	600	700	800	830	1100	1775	1855
H <sub>4</sub>	250	290	320	340	400	460	1020	1095
H <sub>5</sub>	315	345	375	445	505	515	—	—
H <sub>6</sub>	500	700	700	1000	1300	1300	—	—
H <sub>7</sub>	365	405	465	555	610	670	—	—
H <sub>8</sub>	90	90	90	90	90	90	—	—
L	1350	1615	1820	2130	2350	2710	3192	3448
L <sub>1</sub>	608	658	758	858	958	1108	1352	1452
L <sub>2</sub>	200	330	330	330	330	400	—	—
L <sub>3</sub>		300	365	380	460	530	—	—
S	12	12	14	14	16	16	—	—
S <sub>1</sub>	8	8	8	8	8	8	—	—
R	260	300	350	400	500	610	—	—
d	24	24	24	35	35	35	—	—
Маса, кг, не більше	1060	1400	1890	2440	3740	5200	7700	10000

## ЛІТЕРАТУРА

1. Блинов Н. П. Основы биотехнологии. Для студентов институтов; аспирантов и практических работников. Издательская фирма "Наука" СПб 1995 г.с, 600 стр. 166 ил.
2. Виестур У. Э., Шмите И. А., Жилевич А. В. Биотехнология. Биотехнологические агенты, технология, аппаратура. Рига, Зинатне, 1987.
3. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. — М.: КолосС, 2004. — 296 е.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
4. Биотехнология: Учебное пособие для ВУЗов / Под ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова.- М.: Высшая школа, 1987, стр. 15-25.
5. Биотехнология/под ред. И. Хиггинса, Д. Беста, Дж. Джонса/пере-вод с английского/под ред. А. А. Баева. - М.: Мир, 1988. - 479 с.
6. Бекер М.Е. Введение в биотехнологию. – Рига: Звайгене, 1974.
7. Альперт Л. З. Основы проектирования химических установок. – М.: Высшая шк., 1976. – 272 с.
8. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Федосеев К. Г. Процессы и аппараты биотехнологии в химико-фармацевтической промышленности. – М.: Медицина, 1969. – 199 с.
10. Дитнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
11. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й. Каталог основної і допоміжної апаратури / Метод. вказівки – Львів: ДУ "ЛП", 1999. – 140 с.
12. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки, приклади і задачі, основи проектування виробництва. В 3 т. – Львів: НУ"ЛП", 2004.
13. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов – М.: Высшая шк., 1986. – 280 с.
14. Поперечний А.М., Черевко О.І., Гаркуша В.Б., Кирпиченко Н.В., Ласкіна Н.А. Процеси і апарати харчових виробництв. – К.: «Центр учбової літератури», 2007. – 304с.
15. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352с.
16. Шалугін В.С., Шмандрій В.М. Процеси та апарати промислових технологій. - К.: «Центр учбової літератури», 2007. – 392с.
17. Промышленное обозрение. - №4 (15). - 2009

18. Стабников В.Н., Попов В.Д., Лысянский В.М. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Пищ. пром-сть, 1976.
19. Разумов И.М. Псевдооживление. М.: Госгортехиздат, 1960. 314 с.
20. Класен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. М.: Химия, 1982. 272 с.
21. Промышленная технология лекарств. Под ред. Чуешова В.И. В 2 т. Харьков: Основа. Изд-во УкрФА, 1999.
22. Промышленная технология лекарств: Под редакцией профессора В.И. Чуешова. - х.: МТК- Книга; Издательство НФАУ, 2002.- 716с.
23. Руководство к лабораторным занятиям по заводской технологии лекарственных форм / Под ред. проф. Тенцовой А.И.-М.: Медицина, 1986, - 210 с.
24. Технологія ліків промислового виробництва: Підручник для студентів ВФНЗ і фарм. факультетів ВМНЗ III-IV рівнів акредитації/ В.І Чуєшов, Л.М.Хохлова, О.О.Ляпунова та ін.; Ред. Чуєшов В.І. – Харків: Вид-во НФаУ “Золоті сторінки”, 2003. – 720 с.
25. . Технология лекарственных форм /Под ред. Т.С.Кондратьевой: в 2-х т. Т.1., Медицина, 1991.- 496 с.
26. Технология лекарственных форм /Под ред. Л.В. Ивановой: в 2-х т. Т.2 – М.: Медицина, 1991 – 544 с.
27. Медицинский бизнес. - №2 (92) - 2002.– С.38-41.
28. И.Р. Кричевский, Фазовые равновесия в растворах при высоких давлениях. – М.; Госхимиздат, 1952
29. Сидоров Ю. І., Чуєшов В. І., Новіков В. П. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості. – Вінниця: НОВА КНИГА, 2009. – 816 с.
30. Фармацевтичні та медикобіологічні аспекти ліків: Навч. посіб./за ред. І. М. Перцева; Нац. фармац. ун-т. 2 – ге вид., переробл. і доп. – Вінниця: НОВА КНИГА, 2007. – 728 с.
31. Шаповалов А.В. Основы механизации химико-фармацевтических производств: Учебник для студентов вузов. В 2 т. Т.1/ А.В. Шаповалов, А.И. Зайцев, В.И. Чуешов. – Харьков: Изд-во НфаУ: Золотые страницы, 2006. – 504 с.
32. Виробництво твердих лікарських форм з урахуванням вимог GMP Аптека. - №10(431). – 2004.
33. Фармацевтическая отрасль. - № 1 (24). – 2011.- С.90-91
34. Медицинский бизнес. - № 5 (106). - 2003, С.9
35. Медицинский бизнес. - № 11 (123). - 2004.С.48-49
36. Медицинский бизнес. - № 9 (121). - 2004. С. 17-19



37. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної і фармацевтичної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування», навчальний посібник.- Львів: «Інтелект- Захід», 2008,- 736с.
38. Фармацевтическая отрасль. - № 5 (22). - 2010
39. Явчуновский В.Я. Микроволновая и комбинированная сушка: физические основы, технологии и оборудование. –Саратов: Изд-во Сарат.Ун-та, 1999. -213с.
40. ИК - сушка – перспектива развития сушильной отрасли/Клямкин Н.К.// Техн. и оборуд. для села, 1999 –с. 20-21.-Рус.
41. Медицинский бизнес. - № 11 (123). – 2004. – С.24-25.
42. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984 – 320с., ил.
43. Касаткин Л.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., Химия, 1971. – 783 с.
44. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. М.: Химия. 1988 - 352 с.
45. Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. Научные основы техники сушки. М.: Наука, 1997 - 448 с.
46. Процеси та апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003 – 400 с.
47. Современный уровень технического оснащения при изготовлении инъекционных растворов / Б.И. Вакушин, В.А. Еремин, В.Г. Доля и др. // Хим.-фармац. журн. — 1990. — Т. 24. — № 1.
48. Технология и стандартизация лекарств: Сб. науч.тр. ГНЦЛС / Под ред. В.П. Георгиевского, Ф.А. Конева. — Х., 1996.
49. Тютенков О. Л. Каталог. Специальное технологическое оборудование химико-фармацевтической промышленности. - Центральное бюро научно-техническое информации, 1974. -290 с.
50. Чуешов В.И. Каталог технологического оборудования химико-фармацевтической промышленности / Чуешов В.И., Сичкарь А.А., Гладух Е.В., Костюк Г.В. и др. – Винница: Нова Книга, 2010. – 272 с.
51. Настанова СТ\_Н МОЗУ 42\_4.0:2015. – Лікарські засоби. Належна виробнича практика / М. Ляпунов, В. Загорій, О. Безугла та ін. – Київ: МОЗ України, 2015. – 315 С.
52. Підручник «Нормативно-правове регулювання діяльності біотехнологічних і фармацевтичних підприємств» для студентів напрямів підготовки «Фармація» та «Біотехнологія» / Стасевич М.В., Кричківська А.М., Громовик Б.П., Баранович Д.Б., Корнієнко О.М., Новіков В.П. // Видавництво ТзОВ «Тріада плюс». - м. Львів. – 2011. – 288 с.
53. *Електронний ресурс*. – Режим доступу: <http://www.tabletka2006.com>
54. *Електронний ресурс*. – Режим доступу: <http://www.fermenter.ru>

55. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.minipress.ru>
56. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.pharma-technologies.com>
57. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://hparma2006.com>
58. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://tablet-machine.com>
59. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://mfarm.ru>
60. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.novitek-pharm.com>
61. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.gmpua.com>
62. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.mfarm.ru>
63. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.kapsulator.ru>
64. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.farnpribor.ru>
65. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://nikopharm.com.ua>
66. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://capsulator.narod.ru>
67. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.roinmelag.com>
68. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.lyondellbasell.com>
69. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://processes.open-mechanics.com>
70. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.ideasandmoney.ru/Ntrr/Details/145326>
71. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://diaveritas.com.ua>
72. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.bioinformatix.ru>
73. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://uapf.com.ua>
74. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://super-chemistry.narod.ru>
75. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.simas.ru/products>
76. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://ecolab.kiev.ua/modules/>
77. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://himlabor.kiev.ua>
78. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.simas.ru/products>
79. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru>
80. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru>
81. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.spm.genebee.msu.ru>
82. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.aist-nt.ru>
83. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.omega.com>
84. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru>
85. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.ntmtd.com>
86. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.nanoscantech.com>
87. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.simas.ru>
88. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.thermoscientific.com>
89. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.biomerieux-usa.com>
90. *Электронный ресурс.* – Режим доступа: <http://www.cepheid.com>

**М.В. Стасевич, А.О. Милянч, Л.С. Стрельников,  
Т.В. Крутських, І.Р. Бучкевич, О.І. Зайцев, І.О. Гузьова,  
О.П. Стрілець, Є.В. Гладух, В.П. Новіков**

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ  
ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ**

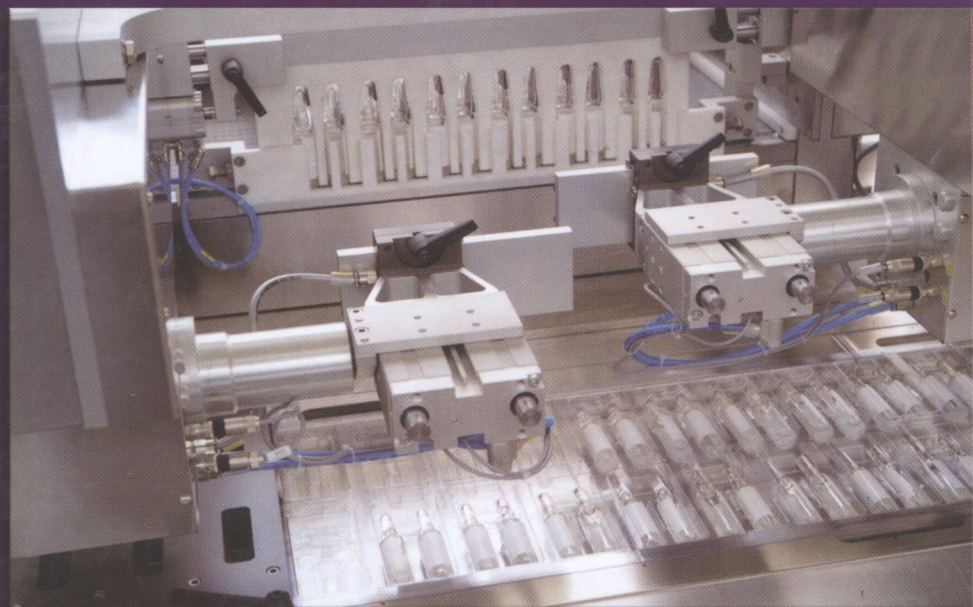
**ПІДРУЧНИК**

Підписано до друку 11.07.2016 р.  
Формат 60x84/16. Папір друк. №2. Гарнітура Times New Roman  
Умовн. друк. арк. 25,65. Тираж 300 прим. Другий наклад 50 прим.

Видавництво ПП «Новий Світ - 2000»  
а/с 5026, м. Львів-53, 79053, Україна  
e-mail: novsv2000@gmail.com

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції:  
серія ДК № 59 від 25.05.2000 року,  
видане Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення та радіомовлення України

Надруковано в поліграфічному центрі ПП «Новий Світ - 2000»



Вища освіта в Україні  
Видавництво “Новий Світ – 2000”



ISBN 978-966-418-288-8

