

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**О.О. СЕРЬОГІН
В.В. ПОНОМАРЕНКО
Д.М. ЛЮЛЬКА**

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
ЧАСТИНА 2**

для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»
(спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв»)
денної та заочної форм навчання

Всі цитати, цифровий та фактичний
матеріал, бібліографічні відомості
перевірені. Написання одиниць
відповідає стандартам

Підпис(и) автора(ів) _____
« _____ » _____ 2011 р.

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
теоретичної механіки та ресур-
соощадних технологій
Протокол № 10
від 30.06.2011 р.

КИЇВ НУХТ 2011

Серьогін О.О., Пономаренко В.В., Люлька Д.М. Технологічне обладнання харчових виробництв. Частина 2: Конспект лекцій для студ. напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» (спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв») денної та заочної форм навчання – **К.: НУХТ, 2011. – 127 с.**

Рецензент **А.В. Башта**, канд. техн. наук

О.О. СЕРЬОГІН, доктор техн. наук,
В.В. ПОНОМАРЕНКО, кандидат техн. наук,
Д.М. ЛЮЛЬКА

© О.О. Серьогін, 2011
© В.В. Пономаренко, 2011
© Д.М. Люлька, 2011
© НУХТ, 2011

ЗМІСТ

	стор.
I. Технологічне обладнання для проведення масообмінних процесів	4
I.1 Основи теорії масообміну	4
I.2 Обладнання для проведення процесу екстракції	6
I.3 Дистиляція і ректифікація	22
I.3.1 Проста дистиляція	22
I.3.2 Обладнання для ректифікації сумішей	24
I.4 Сушіння харчових продуктів	30
I.4.1 Теоретичні відомості	30
I.4.2 Способи сушіння матеріалу	38
I.4.3 Класифікація сушильних установок	40
I.4.4 Обладнання для проведення процесу сушіння	41
I.5 Сорбційні процеси	50
I.5.1 Абсорбція	50
I.5.2 Адсорбція	61
I.6 Кристалізація	63
I.6.1 Зародження кристалів	63
I.6.2 Ріст кристалів	64
I.6.3 Обладнання для проведення кристалізації	65
I.7 Розчинення твердих речовин	67
I.8 Іонообмін	70
Запитання для самоперевірки до розділу I	70
II Технологічне обладнання для проведення теплообмінних процесів	72
II.1 Основні теоретичні відомості	72
II.2 Класифікація теплообмінних апаратів	75
II.3 Рекуперативні теплообмінні апарати	76
II.4 Регенеративні теплообмінні апарати	84
II.5 Змішуючі теплообмінні апарати	84
II.6 Обладнання для випарювання	88
II.7 Багатокорпусне випарювання	90
II.8 Конденсаційні установки	92
II.9 Обладнання для випікання	97
II.10 Обладнання для обробки холодом	107
II.10.1 Теоретичні відомості	107
II.10.2 Цикли роботи холодильних машин	109
II.10.3 Класифікація обладнання	110
II.10.4 Види холодильного обладнання	111
Запитання для самоперевірки до розділу II	125
Література	126

І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МАСООБМІНИХ ПРОЦЕСІВ

I.1 Основи теорії масообміну

Масообміном називається процес дифузійного переходу одного або декількох компонентів бінарних або багатокомпонентних сумішей із однієї фази в другу: з газової - в рідку або тверду, з рідкої - в тверду або в другу рідку, або в зворотному напрямі.

В загальному випадку масообмін проходить в три послідовних етапи: дифузія речовини, що переходить в об'ємі однієї фази до міжфазної поверхні, перехід через міжфазну поверхню і дифузія в об'ємі другої фази.

Масообмін характеризується кількістю речовини M , що переходить з однієї фази в другу за час τ , пропорційно рушійній силі процесу Δ і площі міжфазної поверхні F .

$$M = k \cdot F \cdot \Delta \tau,$$

де k – коефіцієнт пропорційності, або коефіцієнт масопередачі — кількість речовини, що перейшла з однієї фази в другу через одиницю міжфазної поверхні ($F = 1 \text{ м}^2$) в одиницю часу ($\tau = 1 \text{ с}$) при $\Delta = 1$.

Рушійною силою процесів масообміну є різниця концентрацій речовини, що переходить з однієї фази і станом її рівноваги в другій фазі. Величина рушійної сили залежить від схеми відносного руху контактуючих фаз (прямотечія, протитечія, і т.д.). Коефіцієнт масопередачі крім того, визначається ще гідродинамічним станом в масообмінному апараті тобто зв'язаний з конструкцією цього апарату і його робочим режимом.

Склад сумішей, що приймають участь в масообмінних процесах виражають в основному в абсолютних масових або мольних долях.

Фазова рівновага.

Замкнута система, що складається з однієї, двох і більше фаз є рівноважною, якщо в ній з часом не приходить ніяких якісних і кількісних змін.

Матеріальні баланси масообмінних процесів.

В системі газ – рідина відбуваються процеси виділених з газових сумішей одного або кількох компонентів шляхом їх розчинення в рідинах. Процес переходу газової фази в рідину називається **абсорбцією**, зворотній перехід - **десорбція**.

В системі пар - рідина відмічається, що пар, який утворюється з киплячої рідини більше насичений низько киплячим компонентом. При контакті зустрічних потоків рідкої і парової фаз однакового якісного складу пар буде збагачуватись низькокиплячим компонентом, а рідина - високо киплячим. В результаті такого багаторазового контакту між фазами можливо досягти розділення бінарної рідкої суміші $A + B$ на практично чисті компоненти A і B : низькокиплячий компонент A буде в основному в паровій фазі, а висококиплячий B - в рідкій. Такий процес розділення називається **ректифікацією**.

В системах рідина – тверде тіло проходить процеси **кристалізації** – виділення твердої речовини з розчинів, а при вилученні розчинених речовин в рідині твердим поглиначем – **адсорбція**.

Якщо з твердої речовини відбувається процес виділення одного, або кількох компонентів в рідку фазу, шляхом їх вибіркового розчинення - то такий процес називається **екстракцією**. Найпростішим процесом в системі тверде тіло - рідина є **повне розчинення**.

В системах газ – тверде тіло відбувається поглинання газо- або пароподібних компонентів з газових або парових сумішей твердим поглиначем - **адсорбція**.

В більшості випадків всі перераховані процеси масообміну відбувається в апаратах безперервної дії при зустрічному русі взаємодіючих потоків. Якщо масові (об'ємні, масові) витрати газового потоку на вході і виході з апарату позначити через G_1 і G_2 з концентраціями компонентів y_1 і y_2 , а рідкого потоку через L_1 і L_2 з концентраціями перехідного компоненту x_1 і x_2 (рис. I.1), то повинні бути справедливі наступні рівняння матеріальних балансів:

$$\begin{aligned} G_2 + L_1 &= G_1 + L_2, \\ L_1 x_1 + G_2 y_2 &= L_2 x_2 + G_1 y_1. \end{aligned}$$

Складемо рівняння матеріального балансу для будь якого перерізу $x-x$ по речовині, що переходить в фазу G :

$$Lx - L_1 x_1 = Gy - G_2 y_2$$

або:

$$y = \frac{G_2 y_2 - L_1 x_1}{G + \frac{L}{G} x}.$$

Останнє рівняння описує закономірності зміни концентрацій речовини, що переходить по висоті масообміного апарату і називається **рівнянням робочої лінії**.

В процесі масообміну часто витрати взаємодіючих потоків не змінюються по висоті апарату ($L = const$ і $G = const$) і рівняння робочої лінії приводиться до вигляду:

$$y = \frac{G y_2 - L x}{G + \frac{L}{G} x}$$

і є рівнянням прямої лінії.

Якщо на графіку зміни концентрацій провести робочу лінію процесу вище кривої фазової рівноваги (рис. I.1a), то це значить що відбувається перенос речовини з фази L в фазу G .

Якщо робоча лінія розміщена нижче кривої фазової рівноваги (рис. I.1б), то відбувається перехід речовини з фази G в L , і в кожному випадку рушійна сила буде дорівнювати різниці $y - y_p$ або $y_p - y$.

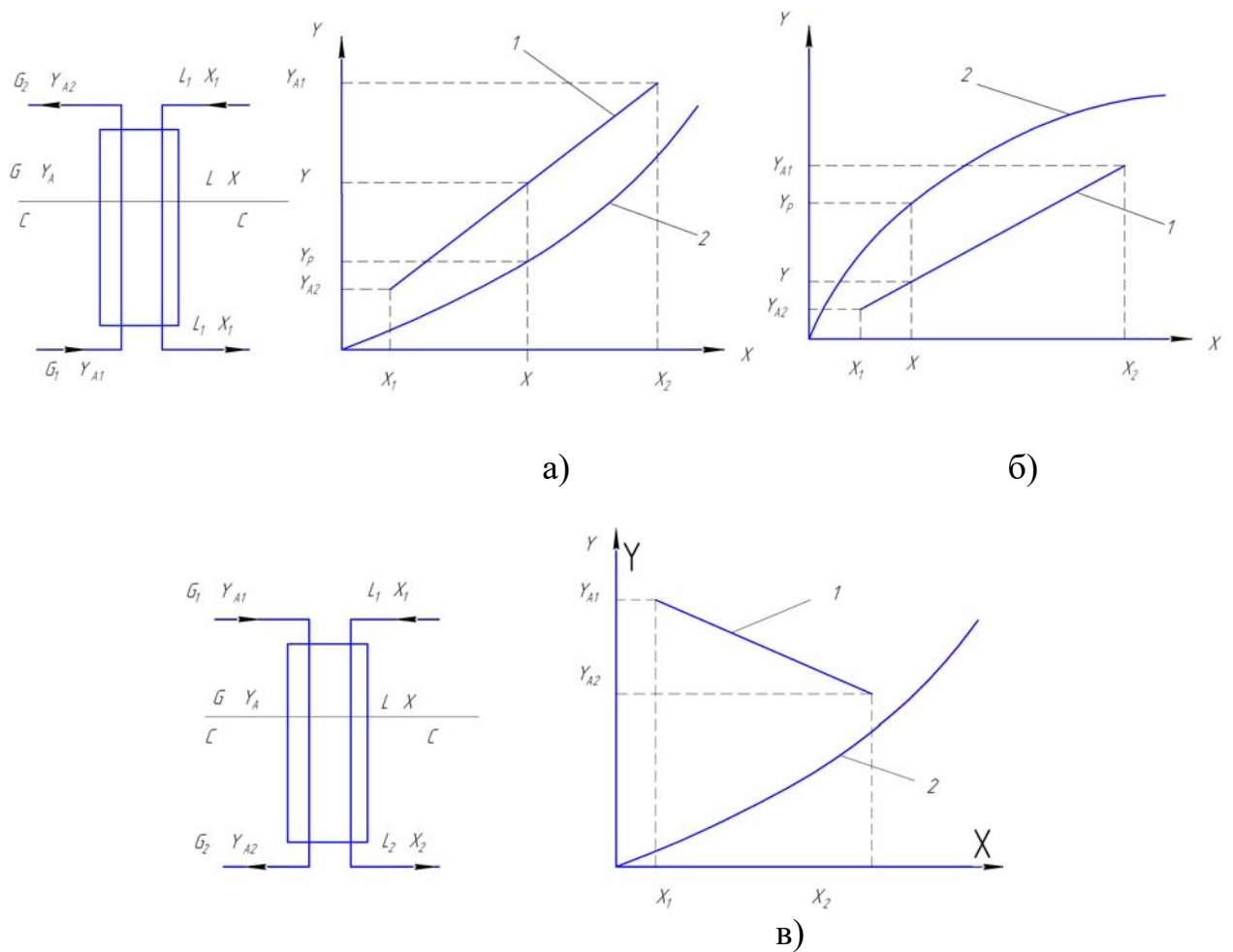


Рис. 1.1 Поток компонентів:

а, б – протитечія; в – прямотечія; 1 – робоча лінія; 2 – лінія рівноваги

На рис. 1.1в показані робоча та лінія рівноваги в випадку здійснення процесу масопередачі в прямотечії.

1.2 Обладнання для проведення процесу екстракції

Особливістю процесу є вибіркова екстракція одного або кількох компонентів з твердих тіл.

Процес екстракції з твердих матеріалів відбувається в періодичному і безперервному режимах при прямотечії, протитечії або ідеальному переміщенні взаємодіючих фаз. В усіх випадках весь технологічний процес складається з чотирьох стадій:

- власне екстракція;
- відділення екстракта від твердого залишку (відстоювання, фільтрація);
- відділення екстрагенту від екстрагованих речовин (випарювання, кристалізація і ректифікація);
- відділення залишку від твердих нерозчинних речовин (центрифугування, пресування).

Дифузійні і екстракційні апарати можуть бути періодичними і безперервно-діючими. Дифузійні і екстракційні апарати безперервної дії підрозділяються:

на вертикальні одноколонні або двоколонні без транспортуючого органу; з шнековим, ланцюговим або лопатевим транспортуючим органом; на похилі одно- і двошнекові із стрічковим і лопатевим перфорованим шнеком; на горизонтальні із скребково-ланцюговим, стрічковим або шнековим транспортуючим органом, а також на ротаційні одно- і двозахідні.

Обладнання для проведення процесу екстракції в бурякоцукровому виробництві.

Дифузійні апарати, у яких здійснюється екстракція цукру з бурячної стружки, повинні забезпечувати у виробничих умовах: знецукрення бурякової стружки при рівномірному омиванні її дифузійним соком; протитечійне переміщення бурякової стружки й дифузійного соку; мінімальні втрати цукру в жомі при максимальній концентрації дифузійного соку; висока якість дифузійного соку при мінімальному вмісті в ньому нецукрів.

Найбільше поширення в цукровій промисловості знайшли колонні, нахилені та ротаційні дифузійні апарати.

Одноколонний дифузійний апарат КДА-30.

Колонний дифузійний апарат (рис. I.2) складається з корпусу 6, в нижній частині якого знаходиться труба для підведення сокостружкової суміші 1 і патрубков 2 для відведення соку, а збоку розміщені установка 15 для подачі формаліну і люки 16. Нижні контрлопаті 4 виконують одночасно роль транспортуючих та фільтрувальних. Основним фільтрувальним елементом для дифузійного соку є латунний лист завтовшки 3 мм з конічними отворами, який встановлений в нижній частині колони. Фільтрувальна поверхня регенерується зворотним струмом соку за допомогою комунікації 3. Контрлопаті, що встановлені на внутрішній поверхні колони, можуть змінювати кут нахилу до горизонтальної площини за допомогою пристроїв 5.

Аміачна вода подається через внутрішню частину валу в лопаті 9, а жомопресова - в лопаті 7. Це дозволяє рівномірно розподіляти аміачну і жомопресову воду по усьому перерізу апарату, а також рівномірно розподілити стружку за допомогою розподільника 10 і ситчатих лопатей 11 (рис. I.3).

Принцип дії екстрактора наступний. Підготовлена соко-стружкова суміш циркуляційним насосом подається в нижню частину колони і розподільником рівномірно розподіляється над ситовим поясом. Стружка під дією напору і за допомогою лопатей, закріплених на обертаючому трубівалі піднімається вгору до вивантажувальних вікон. Вода подається зверху в апарат, екстрагує цукор зі стружки, через лобове сито відфільтровується та йде на подальшу обробку.

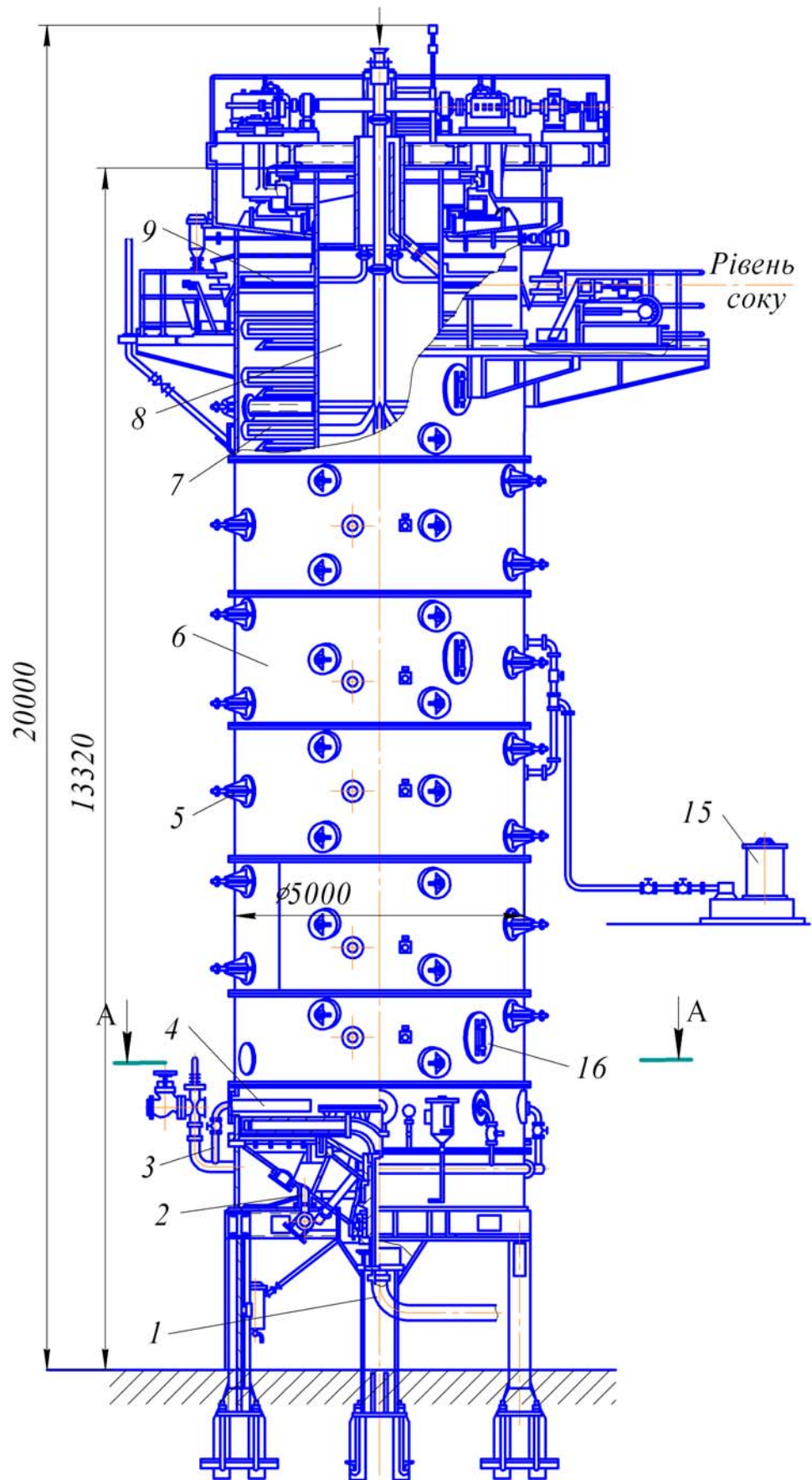


Рис. І.2 Одноколонний дифузійний апарат КДА-30

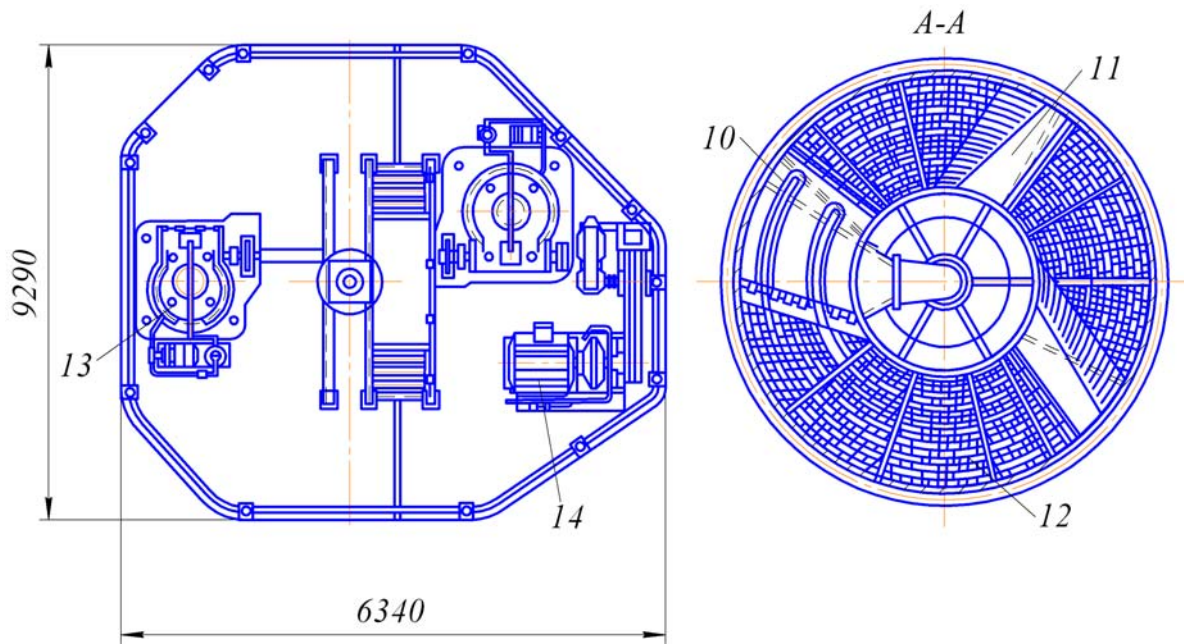


Рис. І.3. Вид зверху та поперечний розріз дифузійного апарату КДА-30

Для ошпарювання стружки, що надходить в апарат, встановлені предошпарювач і ошпарювач. Жом з апарату видаляють за допомогою двох паралельно розташованих шнеків, що мають індивідуальні приводи. Лопатевий вал, що складається з трубовалу 8 з лопатями 7 і 9, має опору в нижній частині, а згори встановлений в направляючому підшипнику. Відбір соку з апарату здійснюється через горизонтальні сита 12 і бічні, встановлені в нижній царзі. Привід апарату складається з електродвигуна 14 і редуктора 13.

Похилий двошнековий апарат А1-ПДС-60.

Представлений на рис. І.4. Корпус апарату з ребрами 10 на опорах 16 встановлений під кутом 11° до горизонту. У верхній частині апарату встановлені приймальний бункер 2 для завантаження бурякової стружки і шнеки 8 для видалення жому з апарату. Крайшому видаленню жому сприяють також лопаті 14. Всередині апарату стружка переміщається двома лопатевими валами 5, що приводяться в обертання від електродвигунів 1 і 9. Витки валів з опорами 7 складаються з окремих лопатей, розташованих по гвинтовій лінії. Вали паралельні один одному і лопаті одного валу заходять в міжлопатевий простір іншого. Це запобігає можливості обертання бурякової стружки по довжині апарату. Для цієї ж мети встановлені контрлопаті 15, ущільнення 13 і перегородки 4 на нижній частині кришок 3.

Видаляють жом з апарату у верхній його частині шнеками 8 в лоток 18. Вони змонтовані під прямим кутом до транспортуючих шнеків і обертаються в протилежних напрямках по відношенню один до одного. Маса соко-стружкової суміші в апараті підігрівається за допомогою парових камер 17 з ізоляцією 11 і 12, встановлених по усій довжині в нижній частині корпусу апарату.

Принцип дії дифузійного апарату полягає в наступному. Стружка з приймального бункера 2 переміщається шнеками вздовж апарату до лопатей 6 і 14, які передають її у вигляді жому на шнеки 8. Екстрагуюча рідина поступає в кі-

нцеву частину апарату, переміщаючись протітечійно відносно стружки, насичується цукром і у вигляді дифузійного соку через сито 19 видаляється з апарату через патрубок 20.

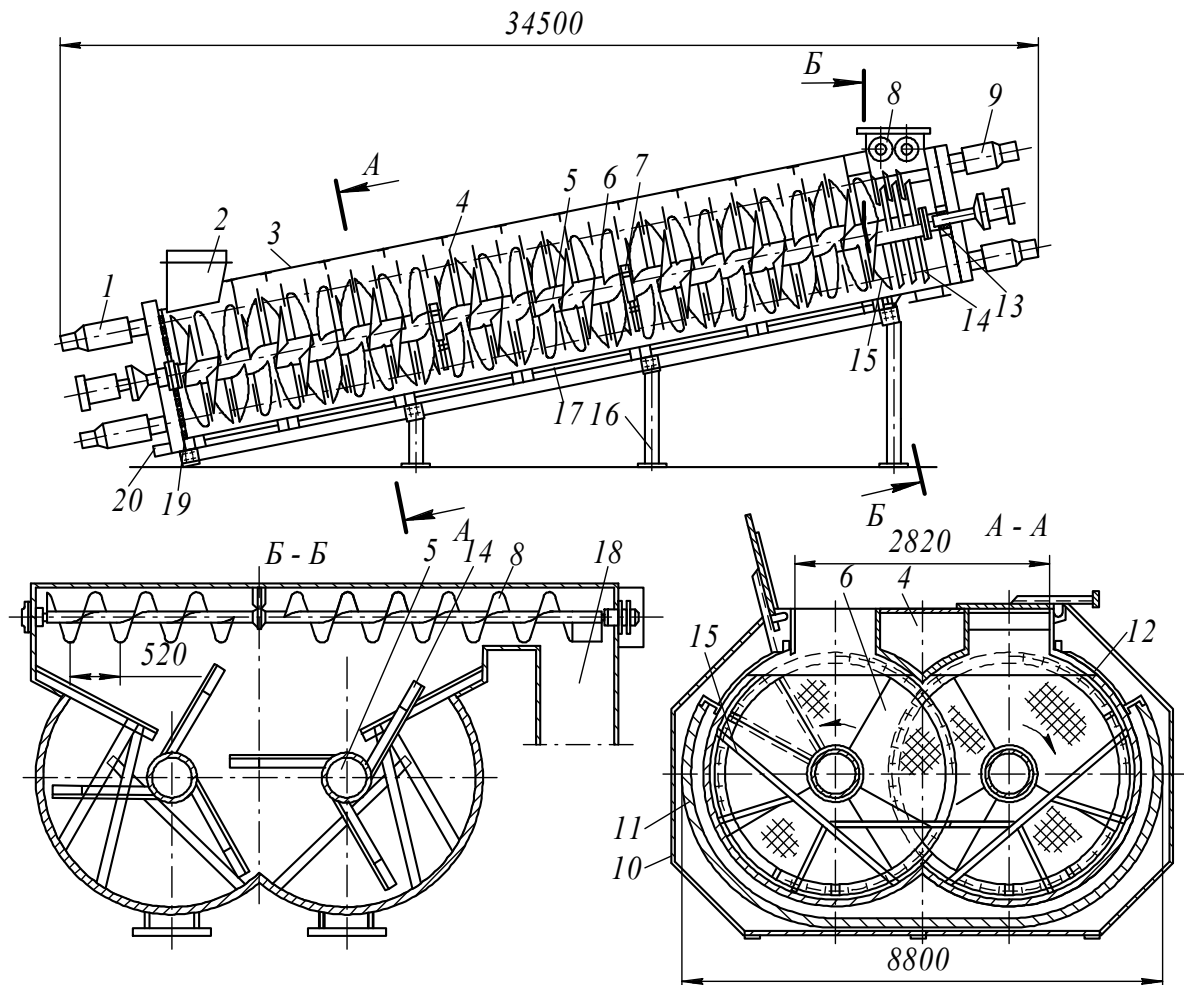


Рис. І.4 Похилий двошнековий апарат А1-ПДС-60

Тривалість екстрагування 60...65 хв., нахил апарату - біля 11°, температура 80°C.

Інженерні розрахунки

Продуктивність колонного дифузійного апарату П (т/доб.) розраховується по формулі:

$$\dot{I} = 86,4 \cdot V_n \cdot q / \tau,$$

де V_n – корисна місткість апарату, м³;

q – маса стружки на одиницю корисного об'єму апарату, кг/м³ ($q = 600 \dots 700$ кг/м³);

τ – тривалість активного дифундування, $\tau = 4200$ с.

Продуктивність похилого дифузійного апарату П (т/добу) визначається залежністю:

$$\dot{I} = 1,13 \cdot (D_o^2 - d^2) \cdot \psi \cdot \eta \cdot S \cdot q \cdot \phi \cdot n \cdot m \cdot \xi \cdot k ,$$

де $D_{ш}$ – зовнішній діаметр шнека, м;

d – діаметр валу шнека, м;

ψ – коефіцієнт перекриття витків шнека;

η – коефіцієнт, що враховує збільшення перерізу стружки в апараті;

S – крок витків шнека, м;

q – маса стружки на одиницю об'єму апарату, кг/м³ ($q = 580 \dots 600$ кг/м³);

ϕ – коефіцієнт наповнення апарату стружкою;

n – частота обертання шнека, об/хв..;

m – кількість одночасно працюючих шнеків;

ξ – експлуатаційний коефіцієнт;

k – коефіцієнт подачі бурякової стружки.

Коефіцієнт заповнення ϕ колонного дифузійного апарату стружкою визначається по формулі:

$$\phi = (H - 0,1) / H ,$$

де H – висота колони, м.

Питоме навантаження корисної частини апарату стружкою приймається для похилих апаратів ($d = 650$ кг/м³, для колонних ($d = 700$ кг/м³).

Установки для отримання настоянок і морсів.

Екстракційна установка для отримання настоянок і морсів (рис. 1.5) складається з екстрактора 7, напірного мірника 1 і відцентрового насоса 13. Екстрактор і напірний мірник виготовляються з нержавіючої сталі або з листової міді з покриттям внутрішньої поверхні оловом. Екстрактор має завантажувальний 6 і розвантажувальний 10 люки і забезпечений водомірним склом 9, патрубком 8 для подачі і патрубком 12 для спуску рідини. Напірний мірник має люк 3 для миття і чищення. Спирт і вода потрапляють в мірник по патрубку 2, рідина відводиться через патрубок 4. Зверху екстрактор і мірник з'єднані трубою 5.

Екстрагування протікає при інтенсивному русі водно-спиртового розчину через шар сировини, що укладається на ситчате днище 11 екстрактора. Процес екстракції починається з моменту подачі з мірника водно-спиртового розчину в екстрактор. Кожну годину протягом 10...15 хв. рідину перекачують з екстрактора в мірник. З мірника розчин спускають знову в екстрактор. У такій послідовності перекачують рідину до тих пір, поки не отримають настій з необхідною концентрацією розчинних речовин. Готовий настій насосом подають у виробництво. Для витягання спирту відпрацьовану сировину промивають водою протягом 6...20 год.. Після цього екстрактор розвантажують і операції повторюють зі свіжою порцією сировини.

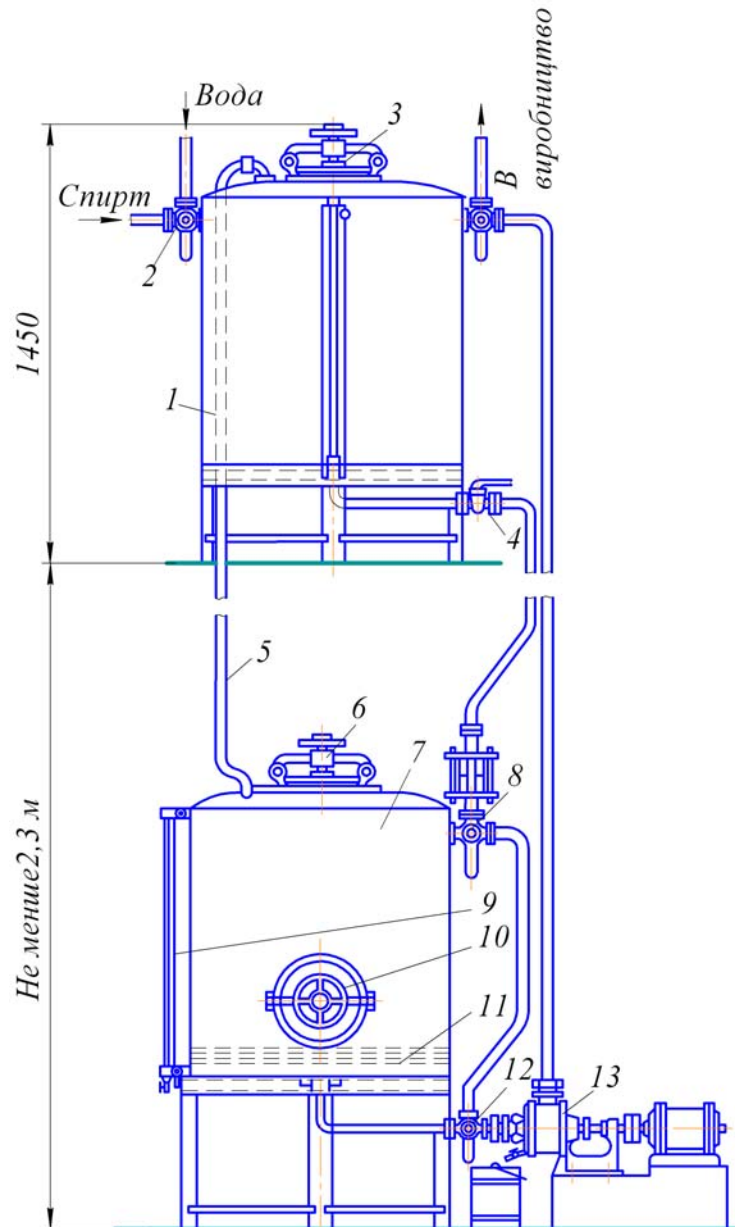


Рис. I.5. Екстракційна установка

Тривалість процесу приготування спиртових настоїв в екстракційній установці скорочується до 2...4 діб замість 10...28 діб при настоюванні в апаратах або бочках, а втрати спирту знижуються з 6.7 до 3.5 %. Крім того, зменшується потреба в місткостях і виробничих площах.

Для отримання морсів свіжу або сушену плодово-ягідну сировину настоюють з водно-спиртовим розчином кріпостю 40.50 %. Настоювання проводять протягом 14 діб. Процес цей вимагає багато часу і великого числа емкостей, що пов'язано зі значними втратами спирту. Нині морси отримують тільки з сушеної сировини. Зі свіжої плодово-ягідної сировини доцільніше отримувати соки.

З метою інтенсифікації процесу екстракції застосовують метод, який істотно знижує дифузійний опір в пограничному шарі. Таким методом є випаровування під вакуумом висококонцентрованого шару рідкої фази в пограничному шарі. Цільові компоненти з рослинної сировини витягаються під вакуумом методом випарування безпосередньо з висококонцентрованої плівки, що утворюється в

процесі екстракції на зовнішній поверхні часток сировини, не допускаючи переходу основної частини цільових компонентів в робочий об'єм розчинника.

Апаратне оформлення технологічної схеми вакуумного способу екстракції включає: два спарені екстрактори 1, 2, конденсатор-холодильник 3, вакуум-насос 4, збірник 5, теплообмінники 6, відцентровий насос 7, перфороване днище 8, систему трубопроводів і запірної арматури (рис. 1. 6).

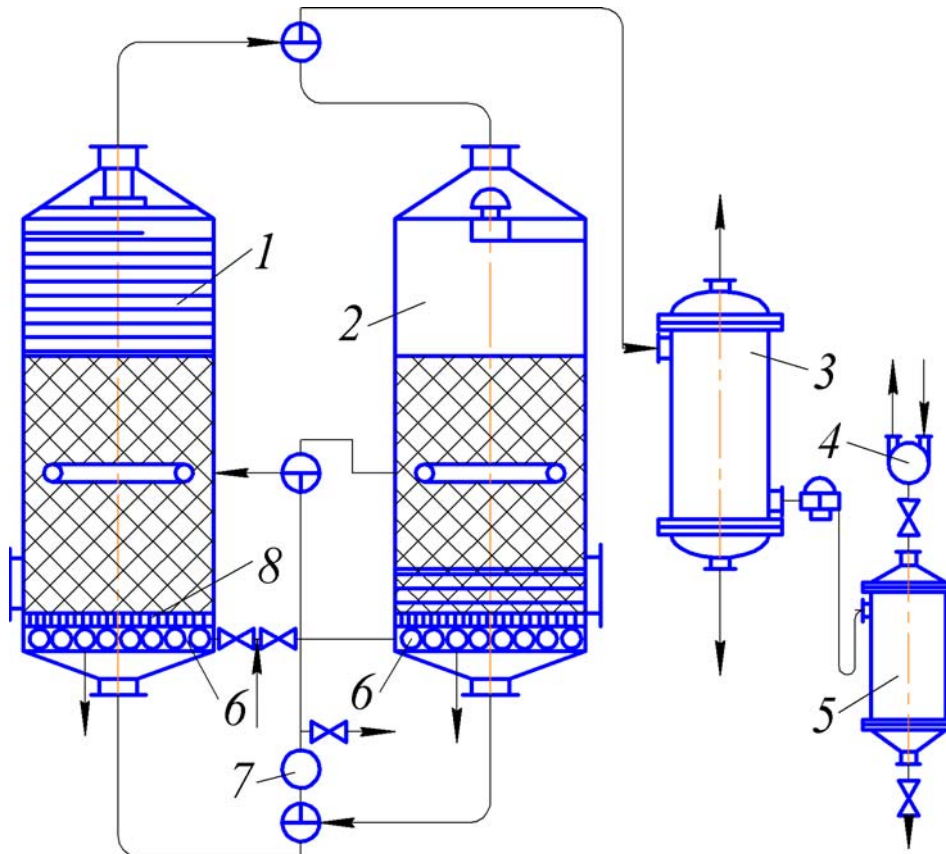


Рис. 1.6. Принципова схема вакуумного способу екстракції

На початку процесу в екстрактори 1, 2 порівну завантажують початкову рослину сировину і протягом 25...30 хв. вакуум-насосом створюють вакуум. Потім в один з екстракторів подається етанольний розчин (екстрагент), в якій сировина витримується, залежно від виду 2...4 год.. Потім відцентровим насосом основна частина (80...90 %) розчинника з екстрактора 1 циркулює в екстрактор 2, а змочену розчинником сировину в екстракторі 1 вакуумують. У технологічних умовах, що створилися, з плівки і макропор на зовнішній поверхні часток сировини інтенсивно випаровуються в першу чергу легколетючі фракції, тобто ефірні ароматичні речовини. Таким чином, з урахуванням високої концентрації ефірних олій в плівці, високого коефіцієнта випаровування і коефіцієнта ректифікації ефірних олій в паровій фазі, отриманій з плівки, утворюється фракція з високою концентрацією ароматних ефірних олій, яка в конденсаторі-холодильнику охолоджується. Отриманий конденсат прямує в збірник.

За час знаходження сировини під вакуумом для інтенсифікації процесу екстракції сировину, що знаходиться на днищі, підігрівають до 40...45 °З через теплообмінник.

Після закінчення певного періоду витримки, в першому екстракторі екстрагент з екстрактора 2 подається в екстрактор 1. У екстракторі 2 сировину, вакуумують з підігріванням до 40...45 °С і відводять пари, що містять ароматичні речовини, тобто повторюють увесь технологічний цикл. Отримані фракції направляють в збірник.

Періоди витримки сировини і циркуляції розчинника повторюють багаторазово, до повного витягання ароматичних речовин з сировини.

Важчі пари, що мають вищу температуру кипіння, конденсуються і стікають вниз, більше легкі пари з високою концентрацією ефірних олій багаторазово випаровуються і рухаються вгору, тобто відбувається процес ректифікації. В даному випадку екстрактор працює як ректифікаційна колона, роль насадки виконують частки сировини. Це дозволить збільшити швидкості парових потоків, виключити їх зворотне переміщення, інтенсифікувати процес підвищення концентрації ефірних олій в паровій фазі.

Екстракційна плівково-вакуумна установка (рис. І. 7) включає два екстрактори 1, конденсатор-холодильник 2, оглядовий ліхтар 3, збірник конденсату 4, вакуум-насос 5 з приводом і систему комунікацій із запірною арматурою.

Застосування вакуумного способу дозволяє скоротити тривалість процесу екстракції, понизити співвідношення контактуючих фаз. Використання вакуумної установки дає можливість отримати дві фракції екстракту : висококонцентровану фракцію з конденсату випарюваної плівки, де вміст ефірних олій в 2,5...3,0 рази вище в порівнянні з діючими методами, і фракцію нормальної концентрації (настій).

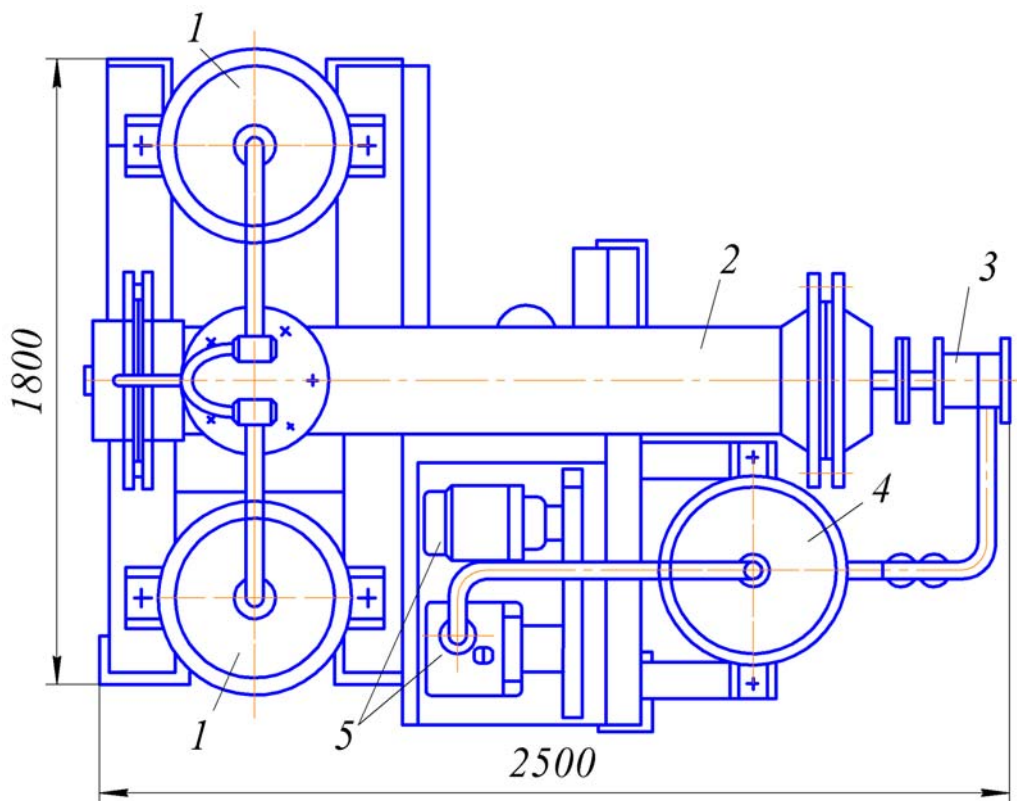


Рис. І.7 Екстракційна плівково-вакуумна установка

Інженерні розрахунки

Залежно від характеру процесу в установці для отримання настоянок і морсів подача водно-спиртового розчину насосом виражається в об'ємних Q (м³/с), вагових G (Н/с) або масових M (кг/с) одиницях, які пов'язані між собою співвідношенням, :

$$Q = G / (g \cdot \rho), \quad Q = M / \rho,$$

де ρ – щільність перекачуваної рідини, кг/м³;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

Для визначення теоретичної подачі Q_m (м³/с) відцентрового насоса використовується рівняння витрати:

$$Q_o = F \cdot v_{\text{н\ddot{o}}},$$

де F – площа поперечного перерізу потоку, м²;
 v_{cp} – середня швидкість рідини, нормальна до цього перерізу, м/с.

Апарати для екстракції рослинної олії.

Процес екстракції масла із застосуванням розчинника забезпечує практично повне витягання масла з підготовленого відповідним чином олійного матеріалу, що частіше усього пройшов попереднє знежирення пресуванням. Внаслідок відносно низьких температур, як на стадії екстракції, так і на інших стадіях екстракційного виробництва, створюються передумови збереження якості продуктів (масла і шроту).

Для різних олійних матеріалів потрібно забезпечувати маслянистість шроту близько 1 %. Одним з показників інтенсивності процесу є тривалість процесу, яка в різних апаратах коливається від одного до декількох годин.

Екстрактор вертикальний шнековий НД-1250 (рис. 1.8) складається з трьох колон: двох вертикальних (завантажувальної 3 і екстракційної 12) і горизонтальної з передавальним шнеком 2. У обох вертикальних колонах також розміщені шнеки 4. На завантажувальній колоні розташований декантатор 6, призначений для очищення міцели, що відходить з екстрактора, шляхом відстоювання. У верхній частині екстракційної колони розташований механізм вивантаження 9 шроту, що видаляється з екстрактора. Шнеки усіх трьох колон мають індивідуальні приводи 1, 7, 8.

Колони екстрактора складаються з царг з внутрішнім діаметром 1250 мм, які збираються на фланцях. Для запобігання повертанню матеріалу разом з шнеками на внутрішній поверхні царг є направляючі планки 14, 15.

На верхній царзі екстракційної колони розташовані патрубков 10 для виходу шроту, оглядові вікна 11, люк-паз 13.

Торці усіх трьох колон екстрактора закриті кришками, через центр яких проходять вали діаметром 120 мм (місця проходу валів ущільнені). До валів приварені витки шнеків. Поверхня шнеків перфорована круглими отворами.

Декантатор є циліндром діаметром 2,2 м з конусоподібною основою, нижній діаметр якої має фланець для з'єднання з верхньою царгою завантажувальної колони. Верхня кришка декантатора має горловину зі знімною кришкою, по

центру якої приварена центральна тічка з похилою живлячою тічкою, що має отвір для входу матеріалу, що екстрагується. На кришці декантатора також розташовано оглядове вікно, патрубки для виходу пароповітряної суміші.

Матеріал, що екстрагується, у вигляді стружки (можлива підготовка матеріалу у вигляді крупки або гранул) поступає в завантажувальну колону екстрактора через горловину. Матеріал рухається по тічках і в горловині утворює шар, що опускається, контактує з поверхнею міцели в декантаторі. При цьому частки матеріалу змочуються і осідають, утворюючи фільтрувальний шар в кінчній частині декантатора. Направляючі пластини 5 перешкоджають провертанню шару матеріалу і тим самим сприяють захопленню його шнеком. Шнековий вал завантажувальної колони, як і інші шнеки екстрактора, обертається за годинниковою стрілкою і може здійснювати один оборот за 42...240 с (привід завантажувальної колони забезпечений варіатором).

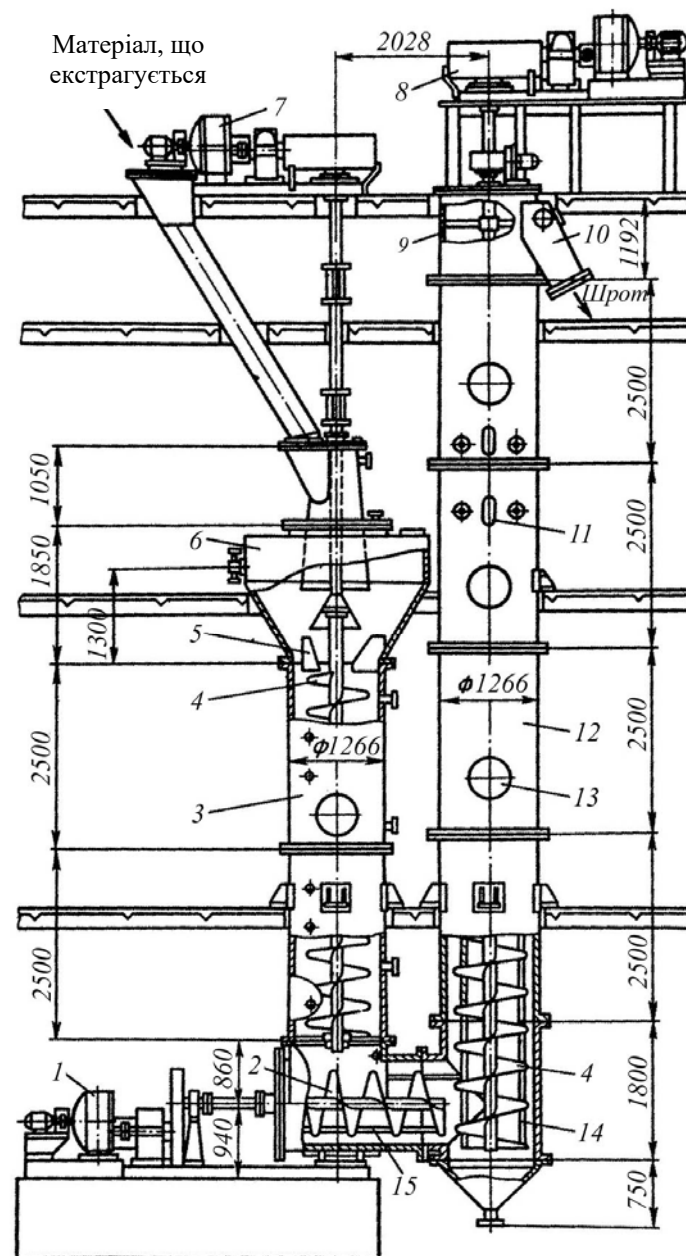


Рис. 1.8 Вертикальний шнековий екстрактор НД-1250

Тривалість одного обороту передавального горизонтального шнека - 61 с, а шнекового валу екстракційної колони - 72 с. Матеріал, що транспортується шнеками, спочатку опускається вниз в завантажувальній колоні, потім рухається горизонтально в передавальному шнеку і піднімається вгору в екстракційній колоні. У верхній частині екстракційної колони проекстрагований матеріал піднімається вище за рівень бензину. При цьому з насиченої маси походить стік рідкої фази, і шрот виходить з екстрактора із змістом бензину 20...40 %.

Екстрагування олійного матеріалу в шнековому екстракторі відбувається в протитечії. Розчинник (бензин) насосом подається у верхню частину екстракційної колони через форсунки і опускається вниз суцільним потоком. Поток рідкої фази заповнюється вільний об'єм передавального горизонтального шнека і завантажувальної колони. На усьому шляху по трьох колонах екстрактора рідка фаза послідовно насичується маслом, а міцела має найбільшу концентрацію на виході з екстрактора. Патрубки в декантаторі для відведення міцели з екстрактора розташовані в екстракційній колоні нижче за форсунки, по яких подається розчинник в екстрактор. Це дозволяє мати надмірний гідростатичний тиск для забезпечення течії рідкої фази по трьох колонах екстрактора від входу до виходу (реалізується принцип сполучених посудин). Міцела, що поступає знизу в декантатор, спочатку фільтрується через шар макухи, що опускається, а потім відстоюється в розширеній частині декантатора. В результаті цього міцела, що виходить з екстрактора, має вміст часток матеріалу, що екстрагується, 0,4...1,0 %.

Стрічковий екстрактор МЕЗ- 350 (рис. 1.9) працює за способом зрошування. Основним робочим органом екстрактора є горизонтальний сітчастий стрічковий транспортер 5. Стрічка складається з двох паралельно розташованих нескінченних ланцюгів, до яких кріпляться 58 рамок. Рамки для забезпечення жорсткості забезпечені подовжніми і поперечними ребрами. Згори на рамки укладають підкладкові листи з перфорацією отвору розміром 8*8 або 20*20 мм.

Ланцюги стрічки надіті на зірочки ведучого 3 і веденого 13 валів. Ведучий вал з двома зірочками жорстко закріплений в хвостовій частині апарату, приводиться в обертання в підшипниках від електродвигуна через варіатор, редуктор, ланцюгову передачу і храповий механізм. Варіатор дозволяє змінювати безступінчато швидкість руху стрічки в межах від 2,5 до 5 м/год.. Відомий вал з має пристрій для натягнення ланцюгів транспортера. Стрічковий транспортер в екстракторі встановлений не строго горизонтально. Вісь провідних зірочок розташована на 150 мм вище за вісь ведених зірочок. Це перешкоджає стіканню бензину по поверхні шару матеріалу у вивідний бункер 2.

Особливістю екстрактора стрічкового типу є використання в робочому процесі (транспортування шару матеріалу, що екстрагується) тільки верхньої гілки стрічкового транспортера. Нижня гілка транспортера неробоча, і в цій зоні стрічка піддається допоміжним операціям (очищенню круглою щіткою і промиванню).

Під верхньою гілкою стрічки розташовані десять міцелозбірників, вісім з яких сполучені з відповідними насосами 14, 16. Кожен з восьми відцентрових окремих насосів живить міцелою відповідну форсунку 6.

Для забезпечення рівномірного розподілу зрошуючої міцели по шару матеріалу, що екстрагується, отримання хорошої проникності шару, усунення скупчення розчинника на верхній поверхні шару матеріалу, що екстрагується, до кришки екстрактора на ланцюгах підвішені грабельні розпушувачі 7.

Усі робочі органи екстрактора поміщені в корпус 4, який виконаний з листової сталі і швелерів у вигляді коробчатої конструкції. У верхній частині корпусу розташований завантажувальний бункер 10, над яким є шлюзовий затвор 9 з індивідуальним електроприводом. Завантажувальний бункер екстрактора має два обмежувачі 11, 12 (верхній і нижній) типу прапорця. При цьому також забезпечується створення шару матеріалу, що грає роль затвора, що перешкоджає прориву пари розчинника за межі об'єму екстрактора. У нижній частині завантажувального бункера розташований вертикальний регулювальний шибер 8, за допомогою якого встановлюється певна висота (0,8-1,4 м) шару матеріалу.

У хвостовій частині екстрактора знизу є розвантажувальний бункер з розташованим в самому низу двостороннім лопатевим шнеком 1 і шлюзовими затворами. Корпус екстрактора встановлений на опорах 15.

Екстрактор працює таким чином. Матеріал, що екстрагується, підготовлений у вигляді стружки, або у вигляді крупки, подається транспортером і після проходження електромагнітного вловлювача через шлюзовий затвор потрапляє в завантажувальний бункер, де автоматично підтримується шар матеріалу.

При русі стрічки разом з нею із завантажувального бункера транспортується шар матеріалу, висота якого регулюється шибером. На усьому шляху руху матеріалу в робочій зоні екстрактора на верхній гілці стрічки відбувається зрошування шару матеріалу з восьми зрошувачів міцелою, концентрація якої послідовно збільшується в протитечії. Свіжий матеріал зрошується міцною міцелою, а матеріал у кінці шляху на стрічці зрошується чистим розчинником.

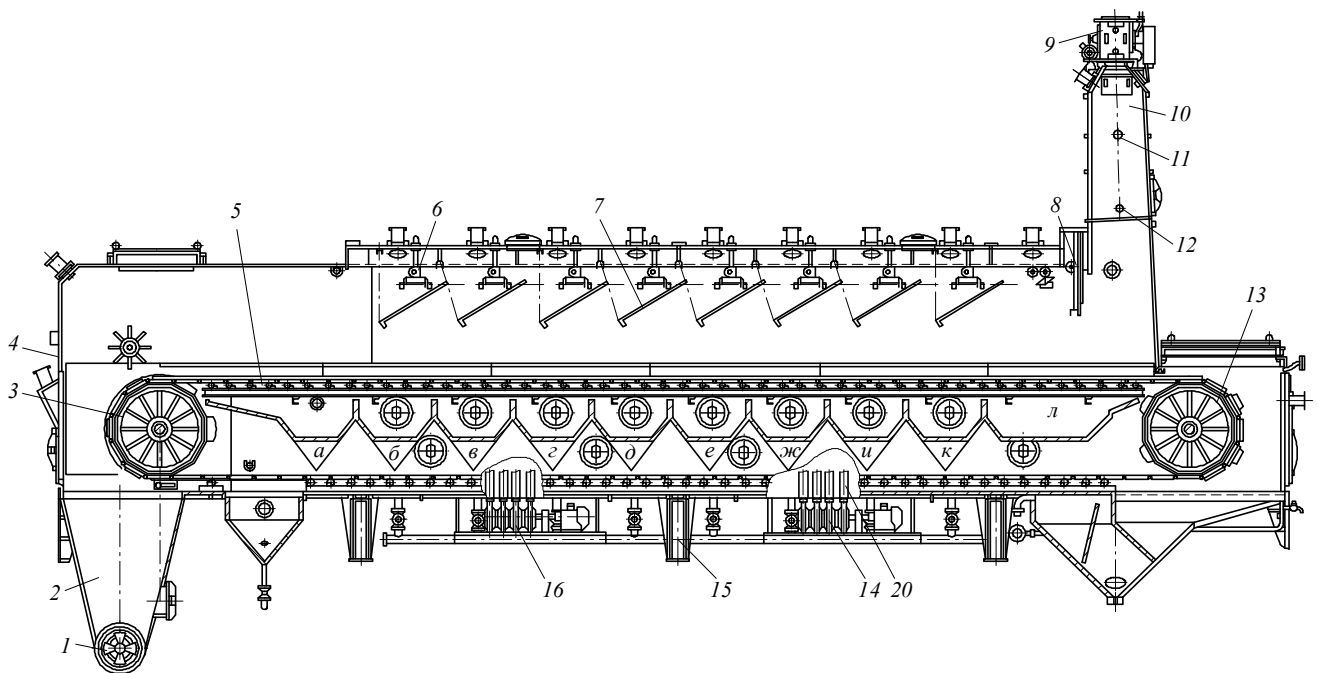


Рис. І.9 Стрічковий екстрактор МЭЗ-350

Міцела або розчинник, фільтруючись через шар матеріалу, екстрагує з нього масло. Пройшовши через шар матеріалу і сітчасту стрічку, міцела стікає у відповідний міцелозбірник, звідки відкачується і знову подається на зрошування.

У хвостовій частині екстрактора проекстрагований матеріал після зони стоку розпушується розвантажувальним розпушувачем і скидається в розвантажувальний бункер. Тут матеріал двостороннім лопатевим шнеком подається на два шлюзові затвори і виводиться з екстрактора. Міцела при фільтрації через високий шар матеріалу очищається від суспензії і не потребує спеціального очищення на фільтрах після виходу з екстрактора.

Апарати для отримання екстрактів з тваринної сировини.

Жир екстрагують (витоплюють) з жиромісної сировини різними способами: мокрим (з додаванням 20...50 % води до маси сировини) і сухим (без змішування жиру з водою). Витоплення жиру у відкритих апаратах періодичної дії проводять в два етапи: на першому - подрібнену сировину нагрівають до 65...75 °З, на другому - до 80...90 °С. Вищі сорти яловичого, свинячого і баранячого жиру отримують при відкритій кришці апарату (при температурі 65...80 °З протягом 1,5 год.). Усі види жирів першого сорту, збірний і свинячий вищого сорту отримують при закритій кришці (температура 120 °С і час 3 год.).

Вібраційний екстрактор ЕВГ- 06 показаний на рис. І.10. Потік кістка - вода переміщається горизонтально в циліндричному гладкому корпусі 19. Корпус виготовлений з нержавіючої труби з глухими торцевими днищами, до яких на кронштейнах 2, 11 похило прикріплені інерційні вібратори 1, 10, що працюють від електродвигунів потужністю 0,75 кВт. У передній верхній частині труби приварені патрубок 5 для завантаження кістки, патрубки для подачі гарячої води 3 і пара. Паровий патрубок сполучений з колектором 7, оснащеним похило встановленими соплами.

Усі введення сполучені гумовими герметизаторами 4 і 9 із зовнішніми підводами. У задній нижній частині труби на осі встановлена поперечна заслінка 15, за допомогою якої в трубі регулюється товщина шару суміші кістка - вода. За заслінкою встановлена сітка 13, що відділяє водожирову емульсію, яка збирається в колекторі і відводиться з апарату через патрубок 14. Знежирена кістка виводиться по патрубку 12. Усі вібруючі частини встановлені за допомогою чотирьох пружин 18 на рамі 16. При пуску в апарат подається вода температурою 90...95 °С і потім кістка, подрібнена до часток розміром 25...30 мм.

Два вібратори створюють спрямовані коливання, які примушують частки рухатися по складних траєкторіях, що призводить до активного перемішування, створенню вихрових потоків і організовує переміщення суміші уздовж осі апарату. Легкі частки м'язової і сполучної тканини спливають на поверхню, і для її переміщення через колектор 7 подається гостра пара. Він же підтримує температуру води на рівні 90...95 °С. Шар суміші кістка - вода займає близько 1/3 поперечного перерізу труби. Із зовнішнього боку труба з повітряним проміжком закрита кожухом 6, що оберігає персонал від опіків.

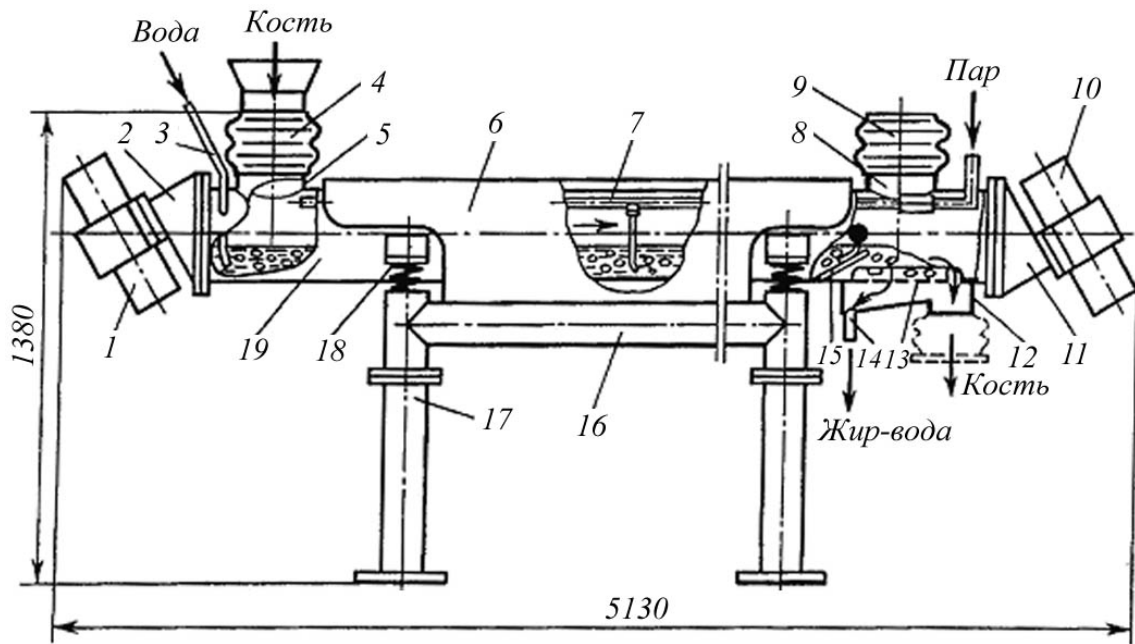


Рис. I.10. Вібраційний екстрактор ЭВГ-06

Апарат для екстракції желатину (рис. I.11) складається з корпусу 1 з паровою сорочкою 2 і перфорованим дном 6, на якому встановлений перфорований стакан 4. Корпус апарату забезпечений штуцером для води 3 і штуцером для манометра 5.

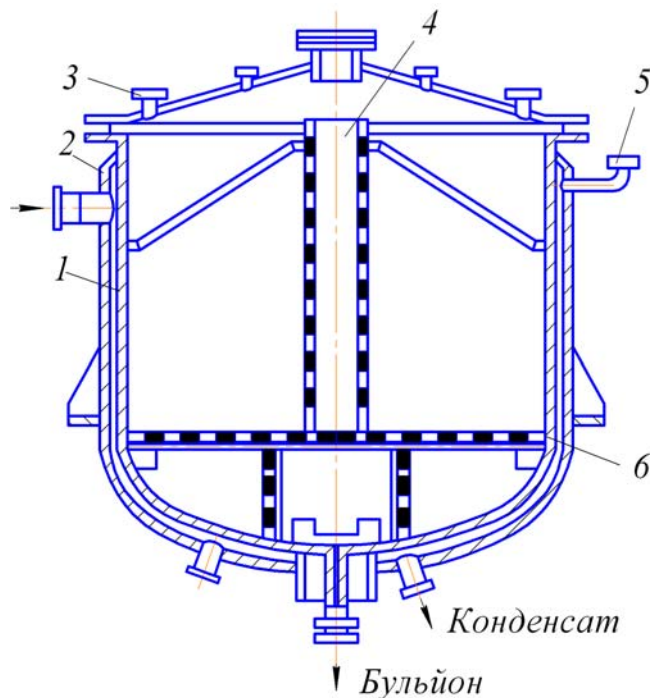


Рис. I.11 Апарат для екстракції желатину

Сировина температурою 18...20 °С подають в апарат в суміші з водою. Після закінчення подачі сировини воду повністю спускають в каналізацію і подають воду температурою 70...80 °С. В парову сорочку поступово пускають пару. В період ведення процесу екстракції (варіння) заміряють температуру в різних точках екстракційного апарату. Про готовність бульйону судять по його здат-

ності желатинізуватися. Бульйони зливаються самопливом, або їх відкачують насосами. При повільному спуску маса сировини в апараті є своєрідним фільтром і адсорбує на своїй поверхні жир. Сировину, що залишилася в апараті, заливають гарячою водою для екстракції (варіння) другої фракції і так далі. Концентрація останніх бульйонів зазвичай не перевищує 2,0 %, при цьому желатину в них міститься мало, і такі бульйони упарювати не вигідно. Доцільно направляти їх замість свіжої води для варіння фракцій в інші варильні апарати.

Апарат для знежирення кісток (рис. I.12) застосовують у виробництві желатину. Корпус апарату циліндричний з конічним днищем, в нижній частині якого встановлено перфороване днище 8, штуцер для спуску рідини 9, шлюзовий затвор 6 і розвантажувальний люк 7. На кришці апарату встановлений завантажувальний люк 1, штуцер для пари 2, перфорована карман 3 і штуцер для зливу жиру 4. По обичайці конічної частини апарату встановлені штуцера для води 5 і пара 2.

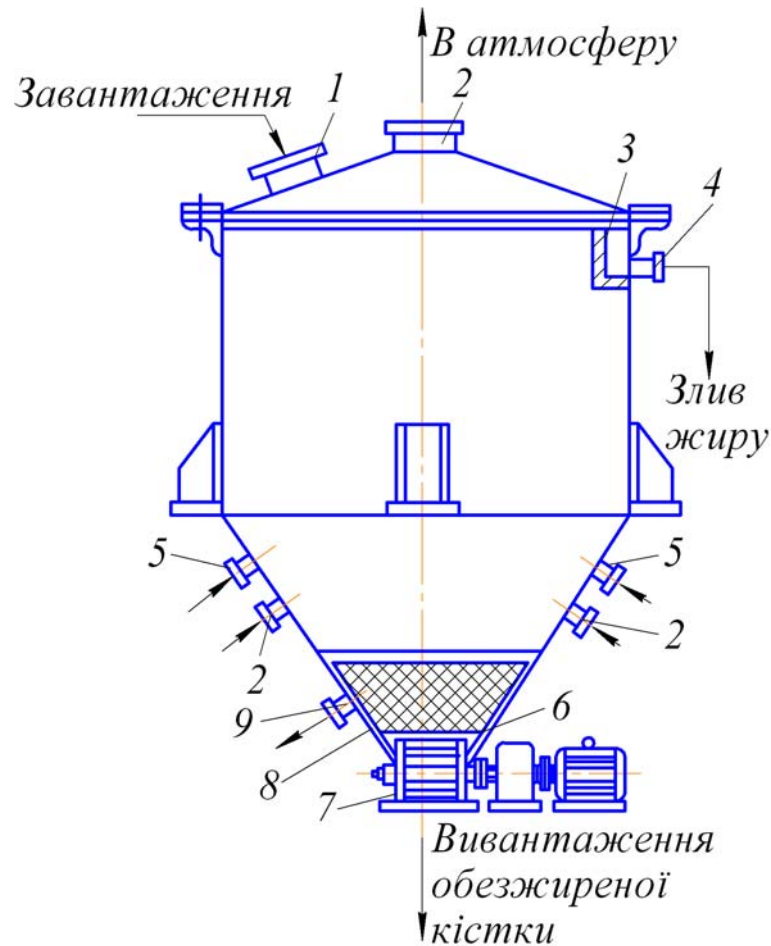


Рис. I.12 Апарат для знежирення кістки

В апарат через завантажувальний люк 1 завантажують заздалегідь подрібнену до 30...40 мм кістку, яка знежирюється при температурі 90...95 °С. Через штуцер 5 заливають воду на 15...20 см вище за рівень кістки, яку нагрівають до кипіння гострою парою, а нагрівання води підтримують протягом 4...6 год. Жир, що виділився на поверхню рідини через перфоровану кишеню 3 і штуцер 4, безперервно самопливом зливається в резервуар для прийому і обробки жи-

ру. Отриманий бульйон з концентрацією білкових речовин 2...3 % направляють на вироблення клею. Для знежирення свіжих порцій кістки замість свіжої води доцільно використовувати вторинні бульйони. Бульйон, отриманий в першому апараті, застосовують для знежирення нової порції кістки в другому апараті, а бульйон з другого апарату - для знежирення кістки в третьому апараті. При цьому зміст клейових білкових речовин підвищується до 6 %, замість трьох бульйонів поступає один, внаслідок чого в 2...2,5 разу зменшуються витрати води, пара і електроенергії на одну одиницю маси отриманого клею.

Кістковий бульйон спускають через штуцер 9 і направляють на згущування до 25...30 %, а знежирену кістку після охолодження холодною водою до 50...60 °С вивантажують через люк 7. Міра знежирення кістки гарячою водою складає 50...60 %, що є недоліком цього методу. Вихід жиру з тазової кістки - 7...9 %, лопатки і щелепної кістки - 2.3, ребра - 5.6 %. В середньому вихід жиру при знежиренні гарячою водою складає близько 6 % маси кісток.

І.3 Дистиляція і ректифікація

Розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти є широко розповсюджений процес харчової промисловості.

Практично всі компоненти рідких сумішей мають при однаковому зовнішньому тиску різні температури кипіння, а при однаковій температурі вони киплять при різних зовнішніх тисках. Завдяки цьому в процесі випарювання рідкої суміші її компоненти по різному переходять в пароподібний стан, або мають різну летучість.

Найбільш летучим компонентом є компонент з найбільш низькою температурою кипіння (низькокиплячий компонент).

Таким чином: при випаровуванні рідкої суміші концентрація низькокиплячого компонента в парах більше, ніж в рідкій фазі. Це правило носить назву *закону Коновалова*.

Це дозволяє розділити початковий розчин з будь-яким числом компонентів на будь-яке число фракцій різних складів шляхом часткового випаровування цієї суміші і конденсації утворених парів.

Такий процес називається *простою дистиляцією (перегонка)*, отримані конденсати – *дистилятами*, а не випарувана частина рідини – *кубовим залишком*.

Для розділення суміші на індивідуальні компоненти використовують багаторазові повторення процесів випаровування і конденсації. Цей процес носить назву *ректифікації*.

І.3.1 Проста дистиляція

Є такі методи простої дистиляції:

1. – однократна;
2. – багатократна.

Метод однократної дистиляції протікає в безперервному режимі в установці (рис. І. 13), що складається з нагрівальної камери, сепараційного пристрою і конденсатора. Потік початкової суміші нагрівається в камері 1, за рахунок чого частина цієї суміші випаровується. Утворена паро-рідинна суміш поступає в сепараційну посудину 2, звідки пар відводиться через конденсатор 3 в збірник дистилята, а не випарена рідина – в збірник кубового залишку.

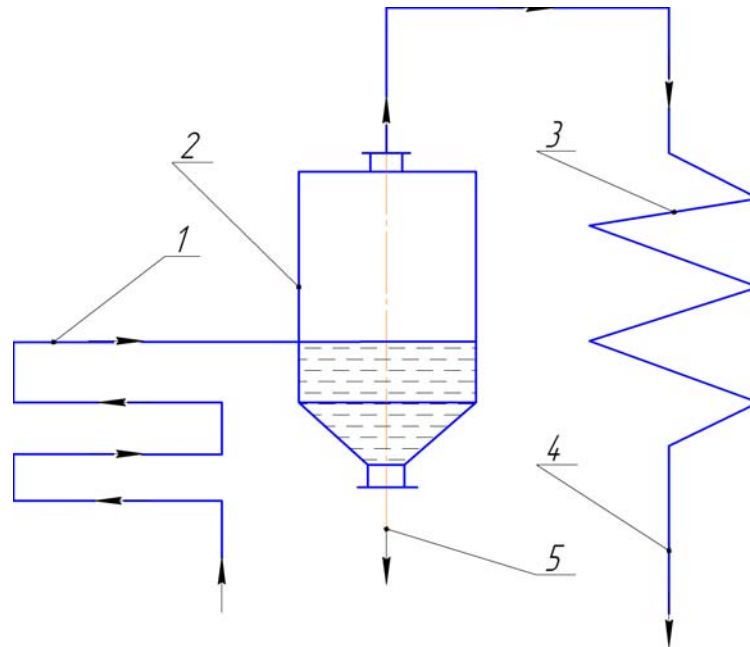


Рис. І. 13 Однократна проста дистиляція:

1 – нагрівальна камера; 2 – сепараційна посудина; 3 – конденсатор

Метод багатократної дистиляції являє собою метод поєднання двох і більшої кількості послідовних актів однократної дистиляції. В результаті отримують один кубовий залишок і кілька дистилятів (по числу актів однократної дистиляції).

Процес дистиляції можливо виконувати як в періодичному, так і в безперервному режимі з використанням тих же апаратів, що і для випарювання розчинів твердих речовин (рис. І.14). Нагрівальна камера може бути розміщена як всередині апарату, так і винесена назовні.

Для можливо більшого збагачення дистилята низько киплячими компонентами використовують послідовно процеси простої дистиляції і часткової конденсації утворених парів, які вертають назад в кубовий залишок.

Конденсат, що вертається називається *флегмою*, а процес називається *дефлегмацією*, конденсатор для часткової конденсації – *дефлегматор*.

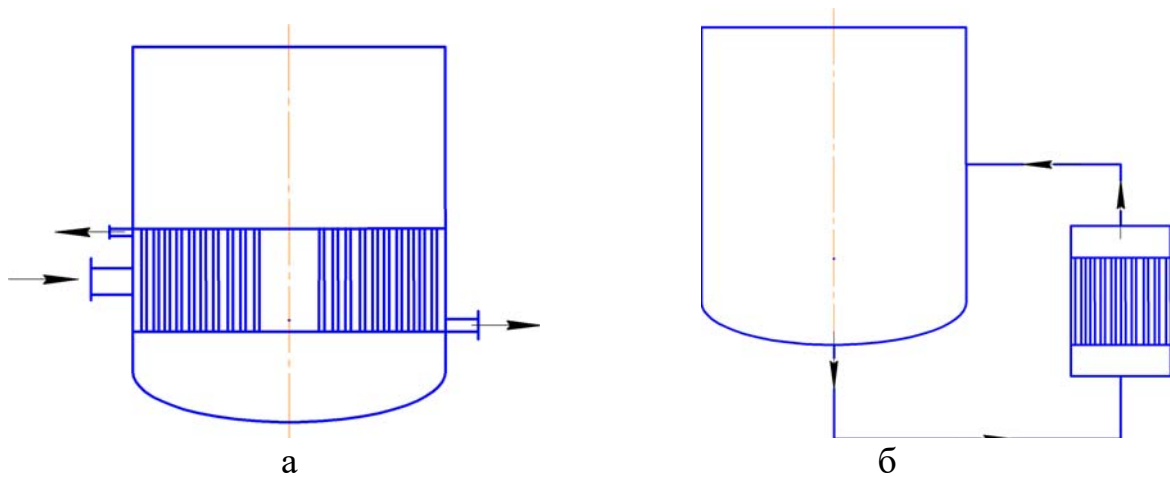


Рис. 1.14 Схема апаратів для простої дистиляції:
а) з внутрішньою гріючою камерою; б) з виносною гріючою камерою

1.3.2 Обладнання для ректифікації сумішей

Процес ректифікації можна представити в вигляді послідовно розміщених дистиляційних кубів, з яких самий нижній має поверхню нагріву і заповнений в самому простому випадку бінарною рідиною (рис. 1. 15). При частковому випаровуванні бінарної суміші в кубі 4 утворені пари рівноважного складу піднімаються в конденсатор 6 (в початковий момент ректифікації всі куби не заповнені рідиною, крім нижнього). Конденсат з конденсатора буде стікати в верхній дистиляційний куб 1.

Після заповнення цього кубу дистилятом наступна порція парів до конденсатора буде уже контактувати з першим конденсатом, і прийшовши в рівновагу з ним збагатиться низько киплячим компонентом, утворить другий конденсат, який уже буде багатший першого по концентрації низько киплячого компонента. При цьому перший конденсат витісниться в дистиляційний куб 2.

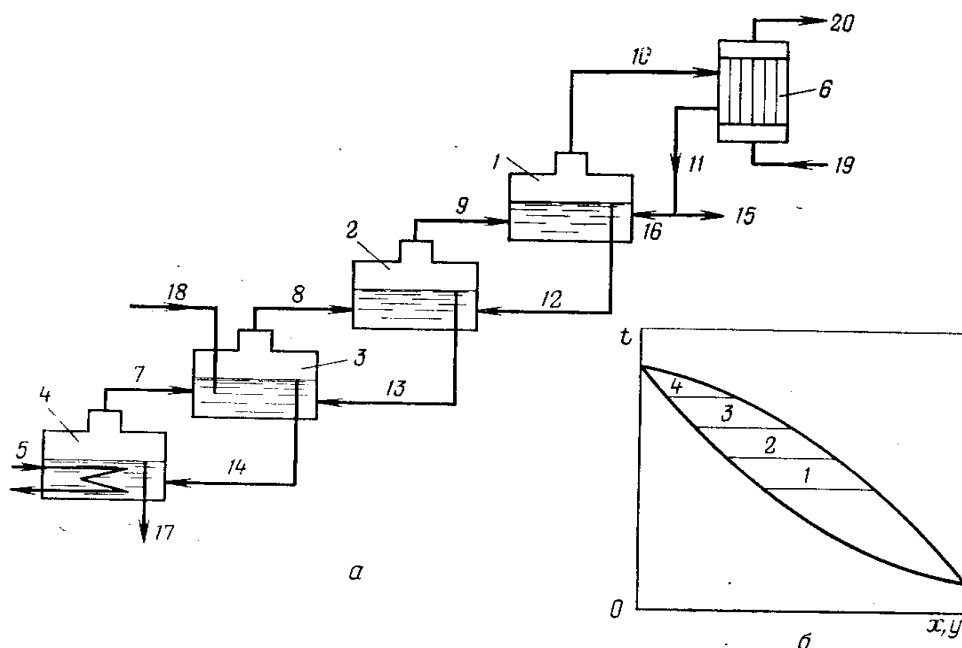


Рис. 1.15 Ректифікація бінарної рідини

Продовжуючи процес заповнюються всі дистиляційні куби до деякого рівня бінарними рідинами з концентраціями низько киплячого компонента, що зменшуються від верхнього куба до нижнього. Очевидно, що в результаті переміщення низько киплячого компонента знизу вгору його концентрація в рідині буде зменшуватись. При достатньо великому числі дистиляційних кубів може бути досягнутий стан, при якому в верхньому кубі буде чистий низько киплячий компонент, а в нижньому – високо киплячий.

Для збереження стабільності роботи системи необхідно безперервно вводити потік початкової бінарної суміші, відводячи з нижнього куба високо киплячий компонент (кубовий залишок). Початкову суміш вводять в той куб, в якому така ж сама концентрація низько киплячого компонента.

Температура кипіння бінарної рідини з ростом концентрації низько киплячого компонента падає. Таким чином, пари, що утворюються в будь-якому дистиляційному кубі, контактуючи з менш нагрітою рідиною вище розміщеного кубу, конденсуються в ньому вибираючи часткове випаровування рідини за рахунок тепла конденсації парів.

В ідеальному випадку температура рідини і пару при їх контакті в кожному кубі вирівнюються, склади обох фаз стають рівноважними, низько киплячий компонент (більш летючий) дифундує з рідини в пар, а високо киплячий – з пари в рідину. Такий однократний контакт рідини і пару завершується досягненням фазової рівноваги і називається рівноважною ступенню або теоретичною тарілкою. Розглянутий процес розділення рідкої фази називається *ректифікацією*.

Ректифікація може бути періодичної або безперервної дії. В ректифікаційних колонах періодичної дії суміш, що розділяється, дискретно завантажується в дистиляційний куб і ректифікується. Після відбору потрібної кількості дистиляту і досягнення заданого складу кубової рідини, остання вивантажується, дистиляційний куб знову завантажується початковою сумішшю і процес повторюється.

В періодичних процесах розділення бінарної суміші збагачення дистиляту низько киплячим компонентом досягається ректифікацією потоку парової суміші, що піднімається, а накопичення високо киплячого компонента в кубовій рідині – простою дистиляцією.

Процес розділення можливо виконати безперервно, якщо проводити ці операції ректифікації, використовуючи дві послідовно з'єднані колони: укріплюючу і виснажуючу.

В укріплюючій колоні буде проходити збагачення парів, що утворюються при частковому випаровуванні рідкої суміші низько киплячими компонентами.

В виснажуючій колоні буде проходити випробування легко киплячого компонента з стікаючої вниз рідкої фази. (ректифікація рідини). Колони розміщуються часто одна над другою. Безперервно діюча ректифікаційна установка і її потоки компонентів показана на рис. I.16.

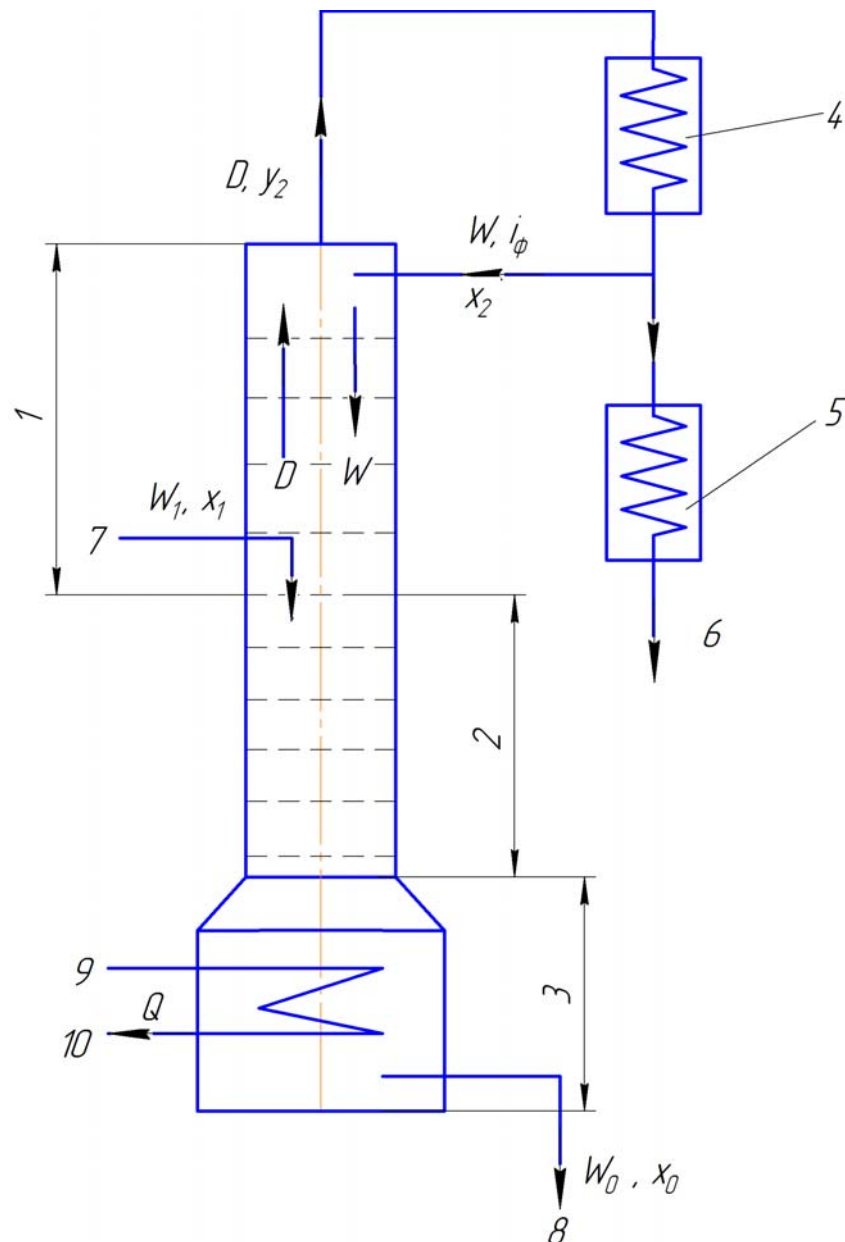


Рис. І.16 Безперервно діюча ректифікаційна установка

1 – укріплююча колона, 2 – вичерпна колона, 3 – дистиляційний куб, 4 – конденсатор, 5 – холодильник дистилята, 6 – відвід дистилята, 7 – подача суміші, 8 – відвід кубового залишку, 9 – вхід гріночої пари, 10 – вихід конденсату

Початкова рідина складу x_1 подається на нижню тарілку укріплюючої колони. Ця тарілка носить назву *тарілкою живлення*. Укріплююча колона оснащена конденсатором 4 і холодильником дистилята 5. З тарілки живлення, де флегма з'єднується з початковою сумішшю потік рідини стікає в виснажуючу колону назустріч паровому потоку, який утворюється в дистиляційному кубі.

Завдяки контакту з паром збагаченим високо киплячим компонентом, рідина обідняється низько киплячим компонентом і стікає в дистиляційний куб, де її частина випаровується, а частина безперервно відводиться в вигляді кубового залишку.

При подачі суміші з температурою кипіння і відсутності втрат тепла в середовище, потік пари по висоті обох колон є практично сталим. ($D=const$). По-

токи рідини в обох колонах різні: в укріплюючій колоні дорівнює кількості поступаючої флегми ($W=const$), а в виснажній він складається з флегми (W) і початкової рідини (W_1).

Основним елементом ректифікаційної установки являється контактний пристрій. Так як процес масообміну визначається величиною поверхні контакту фаз F , середньою рушійною силою процесу ΔC і коефіцієнтом масопередачі K

$$M=K F \Delta C, \text{ кг/с,}$$

то впливаючи на ці величини можна регулювати кількість речовини, що перейшла з одної фази в другу.

Конструкція контактної пристрою повинна забезпечувати як можна більшу величину масообміну на ній. Це досягається в першу чергу шляхом створення розвинутої поверхні контакту фаз (F) і такої гідродинамічної обстановки, при якій коефіцієнт масопередачі буде максимальним.

Цим умовам відповідають різні конструкції тарілок. На рис. I.17 показані *решичасті (сітчасті) тарілки*.

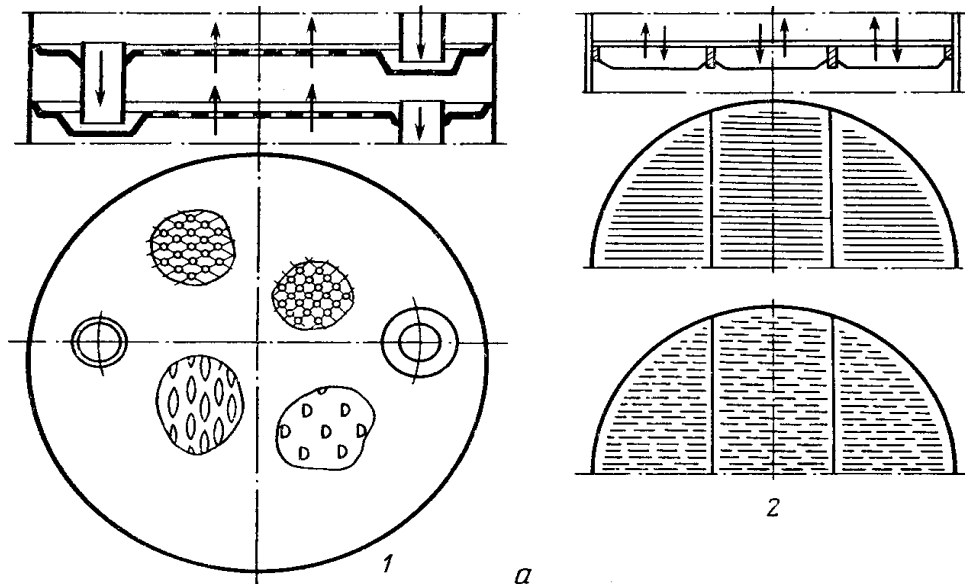


Рис. I.17 Сітчасті тарілки

По всій площі тарілки виконані отвори (діаметром 2...12 мм) для переходу пару вгору по колоні. З тарілки на тарілку рідина перетікає через переливні пристрої. Щоб на тарілці підтримувався деякий шар рідини, верхній край переливного стакану виступає над тарілкою на деяку висоту. Нижні кінці стакану розміщені в шарі рідини на нижче лежачій тарілці.

Пар проходить в отвори тарілки і барботує через шар рідини на тарілці. При цьому проходить масообмін між рідиною і паром.

Різновидом сітчастих тарілок є *лускоподібні тарілки*, отвори яких виконані так, що потік пару проходить через тарілку під кутом, меншим ніж 90° до площини тарілки, що створює рух рідини по тарілці. Конструкція такої тарілки показана на рис. I.18.

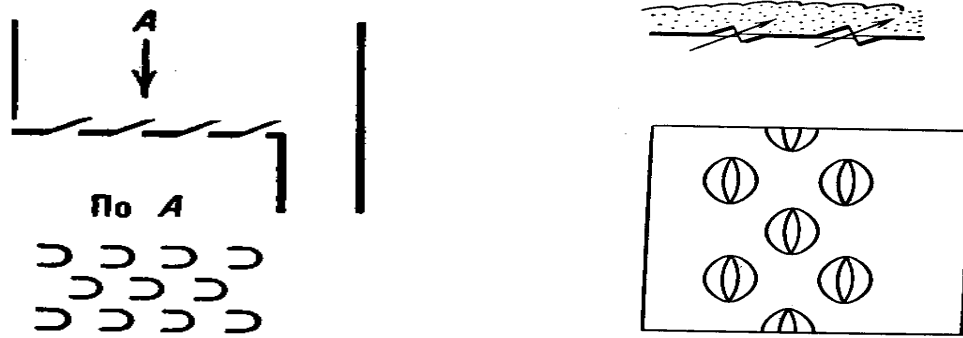


Рис. I.18 Лускоподібні тарілки

Особливістю лускоподібних тарілок є значне зниження виносу капель (бризг) при відносно великій швидкості руху пару в колоні.

Отримали розповсюдження також сітчасті тарілки провального типу (рис. I.19).

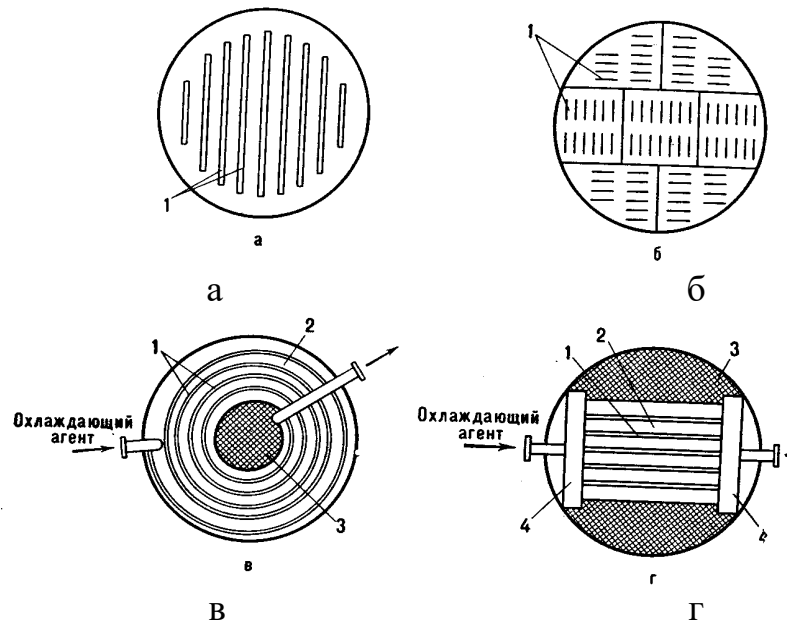


Рис. I.19 Тарілки провального типу:

а, б – решітчасті; в, г – трубчаті;

1 – щілини; 2 – труба; 3 – перфорований лист; 4 – колектори

Особливістю їх є збільшений переріз щілин (15...20% від площі тарілки), в результаті чого пара і рідина проходять через одні і ті ж отвори.

Широке використання отримали також ректифікаційні колони з ковпачковими тарілками (рис. I.20).

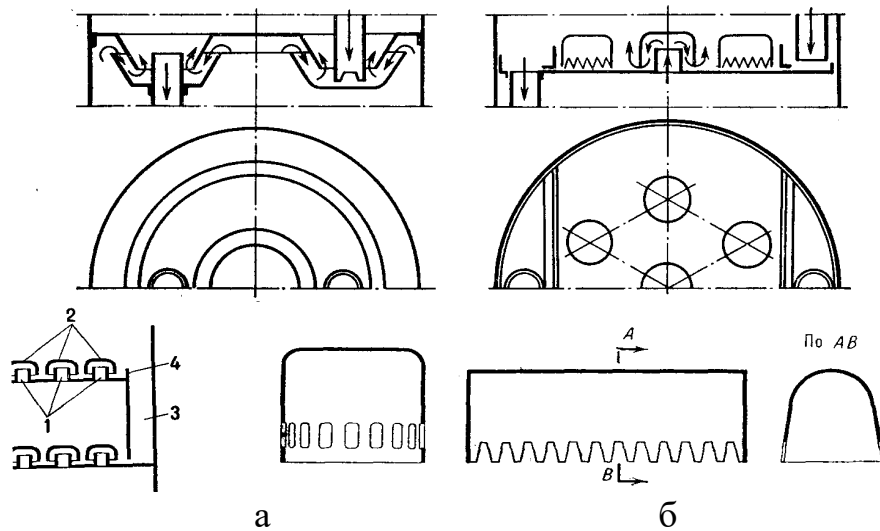


Рис. I.20 Ковпачкові тарілки:

а – круглий з прямокутними вирізами, б – прямокутний
 1 – трубки, 2 – ковпачки, 3 – переливи, 4 – зливний поріг

Ковпачкові тарілки відрізняються великим різноманітним форм, конструкцій, розмірів, способів кріплення ковпачків. Краї ковпачків занурені в рідину, що створює гідро затвор для пару який барботує. Ковпачкові тарілки обов'язково мають зливний пристрій для запобігання прориву пару з тарілки на тарілку.

Отримали широке розповсюдження також клапанні тарілки (рис. I. 21 - 23) різних конструкцій.

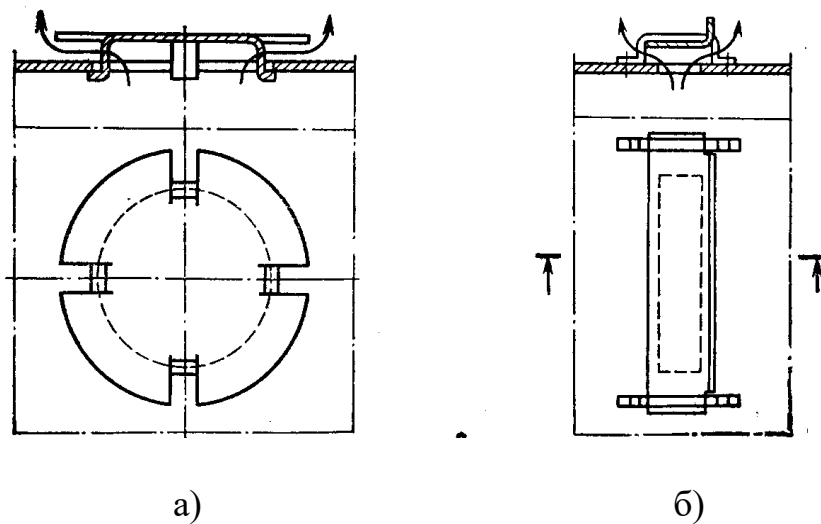


Рис. I.21 Клапанні тарілки:

а – схема руху пару через круглий клапан;
 б – схема руху пару через пластинчастий клапан

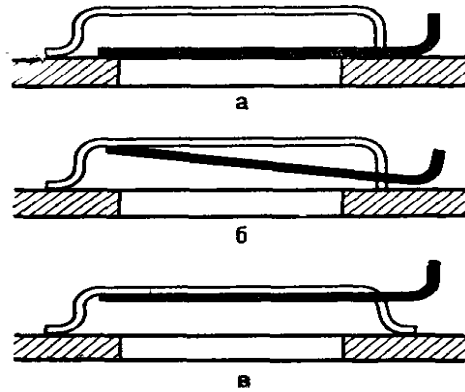


Рис. 1.22 Клапанні тарілки:
а – неробоче положення; б – робоче положення;
в – максимально можливе положення

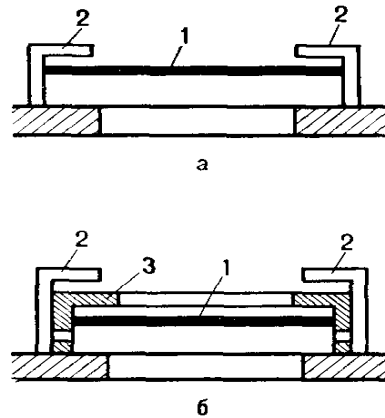


Рис. 1.23 Клапанні тарілки: а – з круглими клапанами; б – баластна;
1 – клапан; 2 – обмежувач; 3 – баласт

Ці тарілки являють собою плоскі диски з круглими чи прямокутними отворами для проходу пари. Отвори розміщені в шахматному порядку і перекриті зверху плоскими клапанами. Особливістю їх роботи є можливість роботи колони при змінних навантаженнях по пару. Відповідно витрати пару клапани піднімаються на більшу чи меншу висоту, забезпечуючи найбільшу сталість роботи колони при різких змінах подачі пару.

І.4 Сушіння харчових продуктів

І.4.1 Теоретичні відомості

Видалення вологи з матеріалу до нормованої можливо такими методами:

- механічним;
- фізико-хімічним;
- тепловим.

При механічному способі вологу видаляють на пресах або в центрифугах. При цьому видаляється лише частина вологи з матеріалу.

При фізико-хімічному способі вологу видаляють за допомогою збезводнюючих речовин, наприклад сірчаної кислоти, хлористого кальцію та ін.

При тепловому способі вологу з матеріалу видаляють випаровуванням, випарюванням, конденсацією. Спосіб використовується при необхідності максимального видалення вологи, а сам процес видалення вологи є безпосередньо сушінням.

Сушінням називається процес видалення вологи з матеріалів, при якому використовується теплова енергія для випаровування та відведення утвореної пари.

Сушіння принципово не відрізняється від випарювання, але на відміну від нього, сушіння одночасно є дифузійним процесом, так як волога з матеріалу переходить у навколишнє середовище не тільки з поверхні матеріалу випаровуванням, а також у процесі дифузії з внутрішніх шарів до поверхні матеріалу.

Розрізняють природне і штучне сушіння.

Природне — відбувається на відкритому повітрі без штучного нагрівання і відведення сушильного агенту. Так інколи сушать ягідні плоди, кухонну сіль у відкритих морських басейнах. Спосіб займає багато часу, не регулюється, кінцевий матеріал доволі вологий.

Штучне сушіння матеріалів застосовується в харчовій промисловості за допомогою нагрітого сушильного агенту (димових газів, повітря, водяної пари) який після поглинання вологи з матеріалу відводиться. Майже завжди сушіння є кінцевою стадією технологічної обробки.

Види зв'язку вологи з матеріалом.

Видалення вологи з матеріалу при сушінні залежить від вмісту вологи в матеріалі і форм зв'язку її з матеріалом. П.А. Ребіндер запропонував класифікацію форм зв'язку вологи з матеріалом на основі енергії, що затрачується на порушення зв'язків води зі скелетом твердого тіла при сушінні матеріалу.

Енергія, що затрачується на видалення 1кг-моль води з вологого матеріалу визначається рівнянням:

$$A = -RT \ln f,$$

де A – енергія зв'язку вологи, Дж/моль;

R – універсальна газова стала, $(8,32 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{град} \cdot \text{Моль}))$;

f – відносна вологість повітря.

При наявності в матеріалі вільної вологи енергія зв'язку рівна нулю. При закінченні видалення вільної вологи наступне зниження вологовмісту матеріалу зв'язане зі збільшенням енергії зв'язків A . Чим менший вологовміст матеріалу, тим вища енергія зв'язку.

Згідно цього П.А. Ребіндер класифікував форми зв'язку вологи з матеріалом в порядку зменшення енергії на три групи:

- хімічна,
- фізико-хімічна,
- механічна.

Ці групи в свою чергу діляться на чотири види зв'язків вологи з матеріалом:

хімічну, адсорбційну, осмотичну, капілярну.

Хімічно зв'язана волога — це вода, зв'язана у вигляді гідроксильних іонів, що отримуються в результаті хімічної взаємодії води з матеріалом, та вода, що входить в кристалогідрати (входить в структуру кристала). Цю воду можливо видалити при хімічній взаємодії або при пропалюванні матеріалу.

Хімічно зв'язана волога є найбільш стійкою, при сушінні матеріалу загалом не видаляється і в розрахунках не враховується.

Фізико-хімічно зв'язана волога — це волога, що зв'язана адсорбційно і осмотично. Адсорбційні зв'язки молекул води виникають внаслідок наявності значної вільної енергії поверхневого шару, яка викликає притягування молекул води в шарі рідини і молекул води з повітря, де зв'язки молекул менші, і водяного пару з зовнішнього середовища.

Видалення адсорбційної вологи при сушінні зв'язано з додатковими витратами енергії на теплоту адсорбції і на обов'язкове перетворення її в пар.

Осмотично зв'язана волога: в клітини з концентрованим розчином поступає волога з середовища з меншою концентрацією розчину.

При сушінні осмотично зв'язана вода переміщується в середині матеріалу без фазових змін і дифундує назад через напівпроникні стінки клітин. Процес видалення вологи аналогічний і протилежний осмотичному проникненню її всередину клітин.

Механічно зв'язана волога — це капілярно зв'язана волога. Вона зумовлена поверхневим натягом і капілярним тиском. При позитивному змочуванні тиск пару над капіляром буде нижчий тиску пару над плоскою поверхнею, тому вода буде знаходитися в капілярі без зв'язку з твердим скелетом самого матеріалу.

Так як тканина матеріалу що висушується має різні діаметри пор, то різна і кривизна менісків, а значить і величина поверхневого тиску. Капіляри менших розмірів утворюють меніски більшої кривизни і мають менший поверхневий тиск, ніж більші капіляри. Тому при сушінні вода з більших капілярів буде переміщатись в більш мілкі, випаровуючись звідти, при цьому рівень вологи в великих капілярах буде зменшуватись, а рівень в мілких не змінюється.

Всі розглянуті зв'язки вологи з матеріалом присутні в харчових продуктах. В вологих матеріалах, крім того, знаходиться ще і вільна волога, яка входить в склад дисперсної структури, крупні пори і макрокапіляри.

Основні фактори, що впливають на процес сушіння.

В більшості випадків сушильними агентами є повітря або суміш повітря з пічним газом. Вони завжди мають деяку кількість парів води, або являють собою пароповітряну суміш – вологий газ.

Ці складові частини сушильного агенту з достатньою точністю підпорядковані термодинамічним законам ідеального газу:

1. Кожний газ який входить в склад суміші, рівномірно заповнює весь об'єм і знаходиться під власним парціальним тиском.

$$V_n = V_{c.ā} = V_{ā.}$$

де V_n – повний об'єм газової суміші,

$V_{с.г.}$ – об'єм сухого газу,

$V_{в.п.}$ – об'єм водяного пару.

2. Парціальний тиск пару пропорційний його густині.

3. Повний тиск газової суміші рівний сумі парціальних тисків газів, які входять в суміш.

4. Маса одиниці об'єму газу прямо пропорційна тиску і обернено пропорційна температурі.

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{D}{D_0} \cdot \frac{\dot{O}_0}{O},$$

де ρ_0 – густина газу при нормальних умовах ($T_0 = 273^0 K (t = 0^0)$),

$P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ н / м}^2 = 0,1013 \text{ МПа} (760 \text{ мм / рт.ст.})$ для повітря $\rho_0 = 1,293 \text{ кг / м}^3$, для водяної пари $\rho_0 = 0,804 \text{ кг / м}^3$;

P – тиск, Па

T – абсолютна температура, К

В процесі сушіння з матеріалу видаляється волога і для характеристики цього процесу користуються таким поняттям, як *вологівміст* матеріалу: відношення маси води матеріалу до маси абсолютно сухого матеріалу:

$$v = \frac{W}{G},$$

де W – маса води матеріалу, кг

G – маса абсолютно сухого матеріалу, кг

В практиці опису процесу сушіння в основному користуються поняттям «*вологість матеріалу*»: відношення маси води матеріалу до маси вологого матеріалу:

$$\omega = \frac{W}{G + W} = \frac{v}{1 + v},$$

При малих значеннях вологовмісту ($v \ll 1$) вологість тіла майже не відрізняється від вологовмісту.

$$\omega \approx v$$

Періоди процесу сушіння

При висушуванні матеріалу він проходить ряд стадій, які добре демонструються графічно в координатах ($\omega - \tau$), зміна вологовмісту в часі (рис. 1.24).

Ділянка АВ характеризує період підігріву матеріалу, при якому його вологість змінюється на незначну величину.

Ділянка ВС є періодом постійної швидкості сушіння. Характеризується постійною швидкістю зменшення вологості матеріалу і температурою, рівною температурі мокрого термометра сушильного агента. Період постійної швидкості сушіння продовжується до деякої критичної вологості матеріалу ω_k , коли пряма ВС постійної швидкості сушіння переходить в криву CD падаючої швидкості сушіння.

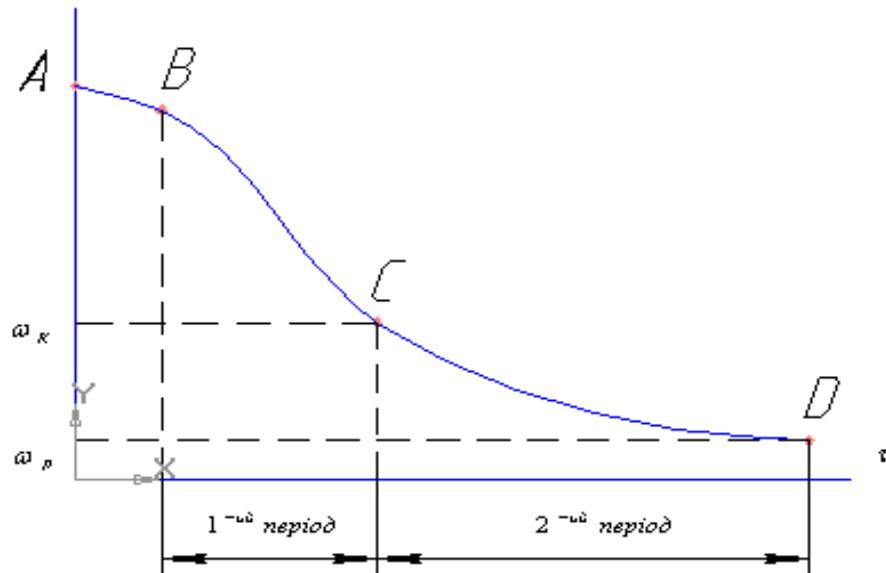


Рис. І.24 Крива сушіння

В період постійної швидкості сушіння інтенсивність процесу обумовлюється тільки параметрами сушильного агенту і не залежить від вологовмісту і фізико-хімічних властивостей матеріалу.

В період падаючої швидкості сушіння, швидкість сушіння зменшується по мірі зменшення вологовмісту матеріалу. Температура матеріалу поступово збільшується і наближається до температури сушильного агенту. Процес сушіння продовжується до досягнення матеріалом рівноважного вологовмісту і видалення вологи закінчується.

В період падаючої швидкості сушіння видаляється зв'язана вологи і поступове зменшення швидкості пояснюється збільшенням енергії зв'язку вологи з матеріалом.

За кривими сушіння знаходять швидкість сушіння як тангенс кута нахилу дотичної, проведеної до даної точки кривої сушіння.

Розрізняють дві сторони процесу сушіння: статику і кінетику.

Статика сушіння встановлює зв'язок між початковими та кінцевими параметрами матеріалу і сушильного агенту на основі матеріального і теплового балансів. Статика сушіння дає відповідь на значення зміни вмісту вологи у матеріалі, витрату сушильного агенту і витрату тепла.

Кінетика сушіння показує зміну вологості матеріалу, дозволяє розрахувати тривалість сушіння, вибрати режим сушіння.

Матеріальний баланс повітряної сушарки.

Принципова схема повітряної сушарки наведена на рис. І.25.

Вологий матеріал надходить у сушарку 1 через завантажувальний пристрій 2, переміщується по сушарці за допомогою різних транспортних пристроїв і видаляється через бункер 3. Вентилятором 4 засмоктується холодне повітря, яке підігрівається в калорифері 5, проходить по сушарці 1. В сушарці підігріте по-

вітря, контактуючи з висушу вальним матеріалом поглинає з нього вологу, виходить з камери сушіння і видаляється.

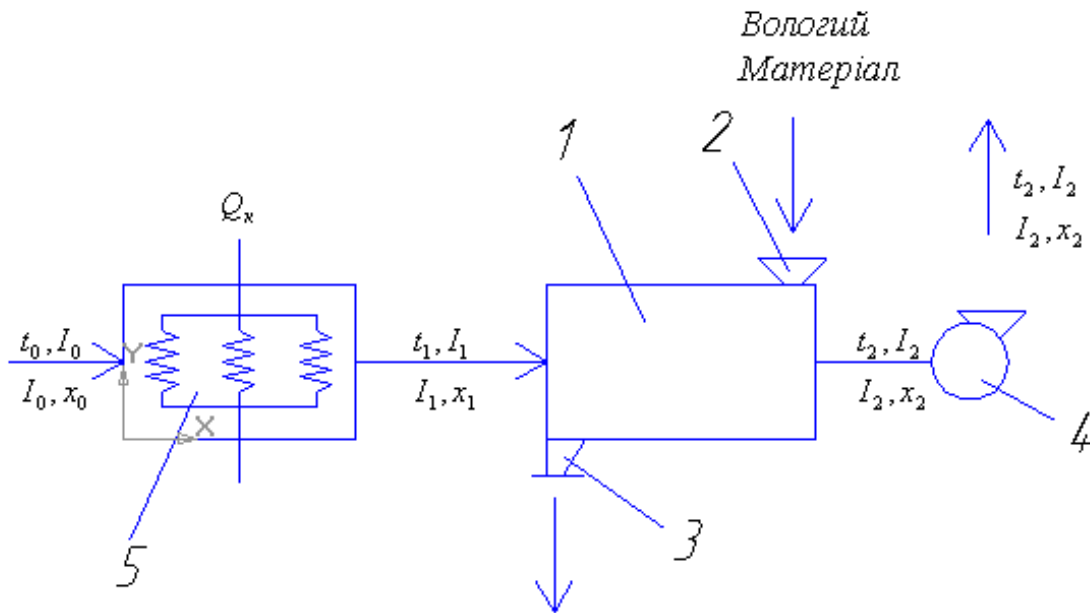


Рис. I.25 Схема роботи та потоки повітряної сушарки

Це найпростіша принципова схема роботи повітряної сушарки.

Зазвичай сушарку розраховують при відомих:

- кількості вологого матеріалу;
- початковій вологості матеріалу;
- кінцевій вологості.

Складаються матеріальні баланси за абсолютно сухою речовиною та за вологою в матеріалі, за вологою в сушарці.

1. Матеріальний баланс за абсолютно сухою речовиною. Якщо немає втрат матеріалу, то маса сухої речовини до і після висушування незмінна.

$$\frac{G_1 \cdot (100 - \omega_1)}{100} = \frac{G_2 \cdot (100 - \omega_2)}{100},$$

де G_1 ; G_2 – маса вологого матеріалу до і після сушіння, кг/с

ω_1 ; ω_2 – вологість матеріалу до і після сушіння, % до загальної маси.

Звідки знаходиться маса вологого матеріалу

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1},$$

або вага висушеного матеріалу

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}.$$

2. Матеріальний баланс за вологою в матеріалі. Кількість води під час висушування (різниця між масою вологого і висушеного матеріалу)

$$\omega = G_1 - G_2,$$

Підставивши G_2

$$\omega = G_1 - G_1 \cdot \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} = G_2 \cdot \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}.$$

3. Матеріальний баланс за вологою в сушарці. Якщо в сушарці немає втрат, кількість абсолютно сухого повітря, що проходить через сушарку, лишається незмінною.

В сушарку надходить волога з матеріалом: $G_1 \cdot \frac{\omega_1}{100}$, кг/с

з повітрям: Lx_1 , кг/с

де L – витрата абсолютно сухого повітря, кг/с,
 x_1 – вологовміст повітря на вході і сушарку.

Або в сушарку надходить вологи: $\frac{G_1 \cdot \omega_1}{100} + L \cdot x_1$

З сушарки виходить волога:

з висушеним матеріалом $\frac{G_2 \cdot \omega_2}{100}$, кг/с

з повітрям $L \cdot x_2$, кг/с

Або всього видаляється вологи:

$$\frac{G_2 \cdot \omega_2}{100} + L \cdot x_2.$$

Звідки можливо записати баланс вологи в сушарці:

$$\frac{G_1 \cdot \omega_1}{100} + L \cdot x_1 = \frac{G_2 \cdot \omega_2}{100} + L \cdot x_2.$$

Останнє рівняння можливо переписати:

$$\frac{G_1 \cdot \omega_1}{100} - \frac{G_2 \cdot \omega_2}{100} = L \cdot (x_2 - x_1).$$

Ліва частина рівняння, це кількість вологи, що видаляється під час висушування з матеріалу. Тоді останнє рівняння можна переписати:

$$\omega = L \cdot (x_2 - x_1).$$

Або витрата абсолютно сухого повітря на висушування:

$$L = \frac{\omega}{x_2 - x_1}.$$

Тепловий баланс повітряної сушарки.

Тепло надходить в сушарку з:

а) свіжим повітрям, що надходить в калорифер:

$$L \cdot I_0$$

де I_0 – ентальпія повітря при його температурі t_0 ;

б) від джерела тепла в калорифері – Q_k

в) з вологим матеріалом – $G_1 \cdot C_m \cdot t_1$,

де G_1 – маса матеріалу до висушування, кг/с;

C_m – теплоємність матеріалу, кДж/кг·град;

t_1 – температура матеріалу до висушування, °С

г) з транспортними пристроями – $G_t \cdot C_t \cdot t_t$,

де G_t, C_t, t_t – відповідно маса (кг/с), теплоємність (кДж/кг·град), температура ($^{\circ}\text{C}$) транспортного пристрою на вході в сушарку.

Все надходження тепла становитиме:

$$L \cdot I_0 + Q_k + G_1 \cdot C_i \cdot t_1 + G_t \cdot C_t \cdot t_t.$$

Тепло витрачається на:

а) з газом, що виходить – $L \cdot I_2$,

де I_1 – ентальпія повітря при температурі на виході із сушарки t_2 ;

б) з висушеним матеріалом – $G_2 \cdot C_m \cdot t_2$,

де t_2 – температура матеріалу на виході з сушарки.

в) з транспортними пристроями – $G_t \cdot C_t \cdot t_t$

де t_t – температура транспортного пристрою на виході з сушарки.

г) втрати тепла в навколишнє середовище – $Q \cdot l$

Все тепло, що витрачається в сушарці:

$$L \cdot I_2 + Q_a + G_2 \cdot C_i \cdot t_2 + G_t \cdot C_t \cdot t_t.$$

Прирівнявши попередні рівняння маємо тепловий баланс сушарки. Звідки знаходяться невідомі теплові потоки.

Вибір оптимального методу і режиму сушіння.

Сушіння є складний не стаціонарний процес тепло- і масообміну, що ускладнений технологічними вимогами до висушеного харчового продукту, який повинен мати високі якісні показники.

В процесі сушіння більшість матеріалів зменшується в розмірах, змінює форму. Овочі, плоди, крупи відносяться до числа капілярно-пористих матеріалів і при сушінні дають значну усадку, зменшуючись в об'ємі в 3...4 рази.

При рівномірному сушінні і невеликих перепадах вологи в матеріалі усадка частинок проходить зі збереженням форми. Нерівномірне сушіння призводить до зміни форми частинок матеріалу.

При сушінні харчових матеріалів в киплячому шарі з температурою нагрітого повітря більше 105°C частинки зберігають свої початкові форми і об'єм, так як цьому допомагає рівномірне омивання часток потоком нагрітого повітря зі всіх сторін. Використання повітря з температурою більше 105°C приводить до переміщення вологи в середині частинки тільки в вигляді пару, внутрішній тиск якого зрівноважує сили, що викликають усадку матеріалу.

Сушіння в киплячому шарі повітрям, що має температуру нижче 100°C приводить до рівномірної усадки частинки, що зв'язано з переміщенням вологи в середині частинки як в вигляді рідини, так і в вигляді пару, внутрішній тиск якого буде менше сил усадки.

Оптимальним режимом сушіння є такий, коли сушіння продукту відбувається при мінімальних затратах теплоти та при максимальному збереженні хіміко-технологічних показників сировини. Такий режим сушіння можливий при знанні особливостей матеріалу для сушіння, зв'язків вологи з матеріалом, теорії сушіння.

Перед процесом сушіння завжди рекомендується, по можливості, механічно видалити вільну вологу. Зв'язану вологу видаляють тільки при підводі тепла. При цьому волога переводиться в паровий стан, а вже пар видаляється з матеріалу в навколишнє середовище.

Способи сушіння відрізняються методом передачі теплоти висушуваному матеріалу.

I.4.2 Способи сушіння матеріалу

а) Конвективний метод.

Найбільш розповсюджений. На ньому основана робота більшості сушильних установок. Сушильний агент передає тепло матеріалу з якого під дією цього тепла видаляється волога у вигляді пару.

В сушильних установках харчової промисловості в якості сушильного агенту в основному використовується нагріте повітря, суміш топочних газів з повітрям, перегрітого пару.

Перевагою перегрітого пару по відношенню до других теплоносіїв є збільшення теплової економічності і інтенсифікація процесу, відсутність контакту з киснем, що виключає окисні явища при сушінні. Овочі і плоди при цьому дають меншу усадку, краще зберігають вітаміни, мають кращу розварюємість.

Інтенсифікація конвективного сушіння проходить за рахунок збільшення теплообміну між матеріалом і сушильним агентом в наслідок збільшення швидкості і температури сушильного агенту або за рахунок зменшення частинок матеріалу.

До способів конвективного сушіння з інтенсифікованим теплообміном відносяться розпилюючи сушарки і сушарки з киплячим шаром.

б) Контактний (кондуктивний) метод.

Метод сушіння оснований на передачі тепла матеріалу при його контакті з гарячою поверхнею. Повітря в даному випадку є вологопоглиначем і лише відводить вологу з сушарки.

Температура в шарах матеріалу, що контактує з нагрітою поверхнею найбільша, у зовнішнього шару – найменша. Вологовміст матеріалу теж поступово зменшується від шару матеріалу з високою температурою до зовнішнього шару.

Гаряча поверхня частіше всього гріється водяним паром з температурою більше 100°C , що негативно відбивається на якості матеріалу. Обов'язкова умова контактної сушарки – хороший контакт матеріалу з гарячою поверхнею.

в) Сушіння інфрачервоними променями.

Сушіння продукту відбувається невидимими інфрачервоними променями, що мають довжину хвилі $0,77...340$ мкм (видимі промені – $0,38-0,76$ мкм). Для сушіння харчових продуктів практичне використання отримали промені з довжиною хвилі $1,6-2,2$ мкм, що несуть тепловий потік в $30-70$ разів більше, ніж при конвективному сушінні. Але швидкість сушіння зростає всього на $30-95\%$. Це пояснюється тим, що швидкість сушіння залежить від швидкості переміщення вологи в середині матеріалу.

Для інтенсифікації сушіння необхідно, щоб інфрачервоні промені проникли в матеріал на всю глибину. Чим менша довжина хвилі – тим більша проникна можливість інфрачервоних променів. Проникність матеріалу збільшується зі зменшенням товщини і зниженням вологості матеріалу. Наприклад, проникність променів в сиру картоплю досягає 6мм, а в сухий – 15-18мм.

При сушці інфрачервоними променями у матеріалі виникає градієнт температур, під дією якого волога переміщується в середину матеріалу по направленню теплового потоку. Таким чином градієнт температур негативно впливає, гальмує висушування матеріалу.

Це необхідно враховувати при сушінні продуктів в інфрачервоному випромінюванні.

По характеру випромінювачів інфрачервоних променів розрізняють терморадіаційні сушарки з електричним і газовим обігрівом. Сушарки з електричним обігрівом компактні, прості у використанні, без інерційні. Як недолік слід відмітити високу витрату електроенергії і нерівномірність сушіння.

Терморадіаційні сушарки з газовими випромінювачами більш економічні і забезпечують більш рівномірне сушіння.

г) Сушіння в полі струмів високої частоти.

При сушінні токами високої частоти матеріал розміщується між обкладками конденсатора, на які подається електричний струм високої частоти. Харчові продукти являють собою діелектрики з деякою провідністю, в їх склад входять іони електролітів, електрони, полярні та неполярні молекули. Під дією змінного електричного поля високої частоти електрони і іони переміщуються в середині матеріалу до тієї чи іншої обкладки. При зміні заряду обкладки – вони переміщуються в протилежних напрямках. В результаті таких коливань виникає молекулярне тертя з виділенням тепла. Енергія електромагнітних хвиль, що затрачуються на подолання цих сил тертя, буде переходить в тепло.

Поверхневі шари матеріалу затрачують частину тепла в наслідок тепло- і вологообміну з зовнішнім середовищем, тому температура матеріалу буде більша в середині, ніж зовні. Під дією температурного градієнта волога з середини матеріала переміщується зовні. Випаровування вологи відбувається в усьому об'ємі тіла, що визиває градієнт загального тиску, що інтенсифікує переміщення вологи зовні матеріалу.

Перевагою сушіння токами високої частоти є можливість регулювання і підтримання заданої температури в середині матеріалу.

Недоліком такої сушарки є великі затрати електроенергії (2,5...5 кВт/год на 1 кг вологи), складне обладнання і його обслуговування. Вартість сушіння токами високої частоти дорожча конвективного сушіння в 3...4 рази.

д) Вакуумне сушіння.

Сушіння під вакуумом ($P = 0,001\text{мПа}$) використовують з метою підвищення якості готового продукту, так як процес проходить при більш низькій температурі, ніж при атмосферних умовах. Швидкість випаровування під вакуумом збільшується, так як вона пропорційна різниці тисків водяного пару на поверхні матеріалу і в сушильному агенті. Збільшується економічність процесу внаслідок відсутності затрат тепла з вихідним газом.

Метод сушіння під вакуумом використовується при сушінні пастоподібних овочевих і фруктових матеріалів.

е) Сублімаційне сушіння.

Сублімація - процес сушіння, що проходить при температурі нижче 0°C і парціальному тиску водяного пара нижче 609 Н/м^2 .

При сублімаційному сушінні відсутній контакт матеріалу з киснем повітря. Основна кількість вологи ($75\dots 95^{\circ}$) видаляється при сублімації льоду при температурі продукту нижче 0°C .

Сублімаційне сушіння в атмосферних умовах протікає дуже повільно так як рушійна сила-різниця парціальних тисків водяного пара з поверхні матеріалу і в зовнішньому середовищі незначна. Також невелика різниця між температурою повітря і матеріалу. Тому таке сушіння займає багато часу при низькій інтенсивності процесу.

Сублімаційне сушіння стає інтенсивним тільки в умовах вакууму при значних підводах тепла.

Продукти сублімації відрізняються високою якістю, зберігаються поживні речовини, мають незначну усадку, зберігають колір. Сублімаційне сушіння є найбільш досконалим способом сушіння.

Першою технологічною операцією сублімаційного сушіння є заморожування матеріалу.

В процесі збільшення вакууму в камері матеріал охолоджується і само заморожується внаслідок затрати тепла на інтенсивне випаровування. Само заморожування є першим етапом сублімаційного сушіння при якому випаровується 10-15% всієї вологи без підводу тепла за рахунок виділення тепла плавлення льоду.

Саме заморожування закінчується при досягненні температури в середині частинки $-5\dots -20^{\circ}\text{C}$ за час $10\dots 15\text{хв}$.

Наступним етапом сушіння є сама сублімація – період постійної швидкості сушіння. В цей період основна маса вологи (до 60%) видаляється шляхом поступового поглиблення зони випаровування. По мірі сублімації спочатку збільшується температура поверхневого шару, а потім, по мірі сублімації збільшується температура наступних шарів матеріалу. Після випаровування всього льоду температура матеріалу наближається до температури середовища.

Третій період сушіння – видалення залишкової вологи, період зменшення швидкості сушіння. В цей період видаляється зв'язана волога, що не замерзла в матеріалі.

І.4.3 Класифікація сушильних установок

При виборі раціональної конструкції сушильної установки і методу сушіння необхідно керуватися наступними вимогами:

- забезпечення високих якісних показників готового продукту;
- мінімальні відносні витрати тепла, пару, повітря, електроенергії;
- інтенсивність процесу, що забезпечує мінімальні габаритні розміри установки;

- необхідність автоматизації і механізації сушильних процесів.

Є ряд ознак, по яким класифікують сушарки. Приведемо деякі з них.

1. По тиску в робочому просторі: атмосферні, вакуумні, під надлишковим тиском.

2. По режиму роботи: періодичні або безперервної дії.

3. По напрямленню руху теплоносія по відношенню до матеріалу: прямотечійні, протитечійні, з перехресним током.

4. По способу підводу тепла до матеріалу: конвективні, контактні, з променевим нагрівом(радіаційні), з нагрівом токами високої частоти, з акустичним або ультразвуковим нагрівом.

5. По гідродинамічному режиму: з нерухомим шаром, з переміщуємим шаром, зваженим шаром (псевдо розріджений шар), з розпиленням в потоці теплоносія.

6. По конструктивному признаку: камерні, стрічкові, барабанні, трубчасті і т.д..

Розглянемо деякі типові конструкції сушильних установок.

I.4.4 Обладнання для проведення процесу сушіння

Барабанні сушарки

Безперервної дії призначені для сушіння сипких матеріалів топковими газами або нагрітим повітрям.

Барабанна сушарка являє собою циліндричний барабан на зовнішній поверхні якого закріплені бандажні опори, кільця жорсткості, приводний зубчастий вінець. Ось барабана може бути нахилена до горизонту до 4° .

В середині барабана установлена спеціальна насадка, конструкція якої залежить від властивостей матеріалу, що сушиться. На кінцях циліндричного корпусу барабана є розподільчі камери для подачі в барабан матеріалу і відводу висушеного продукту і теплоносія.

На рисунку I.26 показана конструкція барабанної сушарки.

Барабанна сушарка може працювати під атмосферним тиском, невеликим розрідженням або вакуумом. Рух продукту і теплоносія може бути як прямотечійним, так і протитечійним.

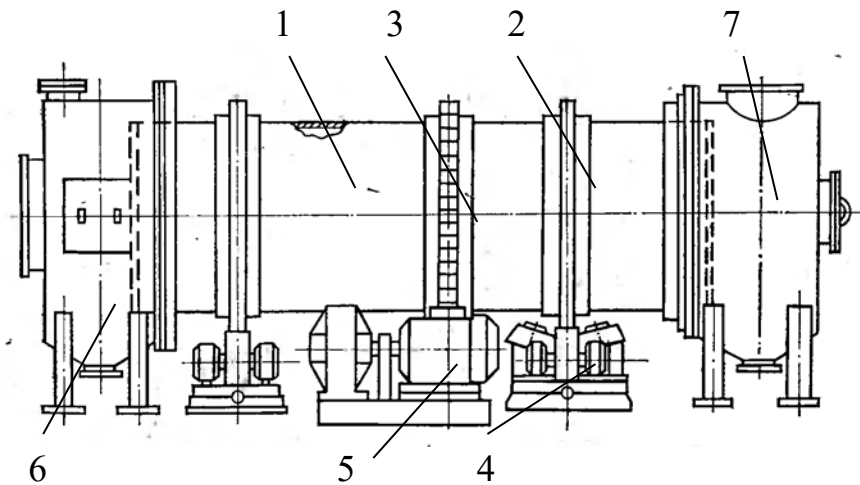


Рис. I.26 Барабанна сушарка

1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – зубчатий вінець; 4 – ролик; 5 – привід; 6 – топка; 7 – підпирний пристрій

На рис. I.27 показані типи насадок. Які можуть використовуватись в барабанних сушарках.

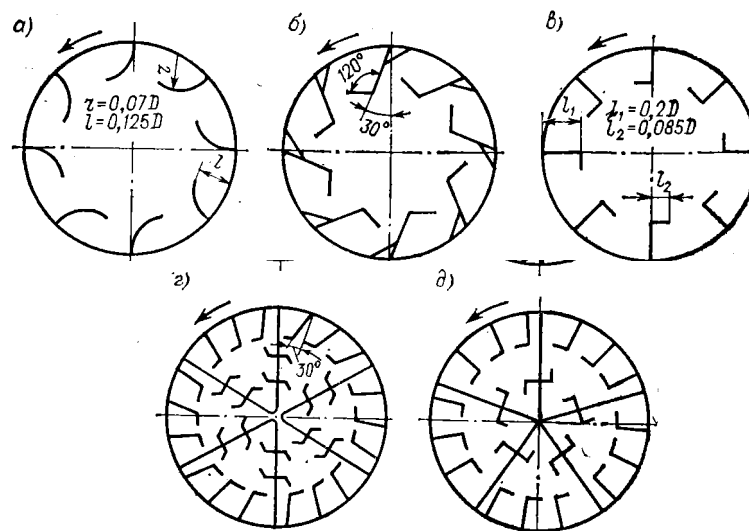


Рис. I.27 Схеми насадок: а, б, в – лопаткових; г, д – секторних

Інженерні розрахунки. Рівняння, що зв'язує основні параметри апарата з барабаном, що обертається має вигляд

$$\dot{I} = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \pi \cdot n \cdot (\alpha + \psi \cdot \cos \beta) / \left[\sin \beta \cdot (R^2 - r^2)^{3/2} \right],$$

- де \dot{I} – об'ємна продуктивність барабана, м³/з;
 n – частота обертання барабана, с⁻¹;
 α – кут нахилу барабана, рад.;
 ψ – кут нахилу шару матеріалу до осі барабана, рад.;
 β – кут природного укосу сипучого продукту, рад.;
 R – внутрішній радіус барабана, м;

r – радіус шару матеріалу, м.

Робочий об'єм барабана V_{δ} (м³) розраховують по формулі:

$$V_{\delta} = W / A ,$$

де W – продуктивність по випаруваній волозі, кг/год;

A – напруга обсягу барабана по випаруваній волозі, кг/(м³·год.);

$$V_{\delta} = (\pi / 4) \cdot D_{\delta}^2 \cdot l_{\delta} ,$$

де D_{δ} – діаметр барабана, м;

l_{δ} – довжина барабана, м.

Тривалість перебування сипучого продукту τ (год) в апарату з обертовим барабаном:

$$\tau = 2 \cdot \xi \cdot \rho_n \cdot (u_1 - u_2) / \left\{ A \cdot [200 - (u_1 - u_2)] \right\} ,$$

де ξ – коефіцієнт заповнення барабана продуктом;

ρ_n – насипна щільність продукту, кг/м³.

Обсяг продукту, що перебуває в барабані, V_n (м³)

$$V_n = \tau \Pi / (2\rho_n) ,$$

де Π – продуктивність барабанної сушарки по готовому продукті, кг/год.

У загальному випадку час перебування сипучого продукту в барабані τ (с):

$$\tau = V_n / \Pi ,$$

тоді коефіцієнт заповнення барабана продуктом розраховується як:

$$\xi = V_n / V_{\delta} .$$

Частота обертання барабана n (с⁻¹) при заданому куті нахилу барабана α дорівнює:

$$n = k \cdot l_{\delta} / (\tau \cdot D_{\delta} \cdot \operatorname{tg} \alpha) ,$$

де k – емпіричний коефіцієнт.

Потужність N (кВт) електродвигуна барабана:

$$N = 0,078 \cdot D_{\delta}^3 \cdot l_{\delta} \cdot \rho_i \cdot k_{\delta} \cdot n ,$$

де k_{δ} – коефіцієнт, що залежить від виду насадки й ступеня заповнення барабана.

Стрічкові сушарки

В них є стрічковий одноярусний або багатоярусний транспортер, розміщений в середині прямокутного корпусу. Сушарка працює безперервно з рециркуляцією газу і без неї. Транспортери можуть використовуватись у вигляді металевої плетеної сітки, перфорованої пластинчастої стрічки, окремих прямокутних лотків.

Призначені для сушіння сипучих (зернистих, гранульованих, крупнокускових), волокнистих матеріалів, готових виробів і напівфабрикатів.

Конструкція стрічкової сушарки СКО – 90 показана на рис. І.28. Сушарка призначена для сушіння овочів, фруктів. Продукт, що призначений для сушіння поступає з бункера завантажувальним конвеєром і рівномірно розподіляється по ширині першої стрічки в сушильній камері. З першої стрічки підсушений продукт пересипається на другу і т. д. до виходу з сушарки. під час сушіння підігріте повітря проходить через продукт зверху вниз.

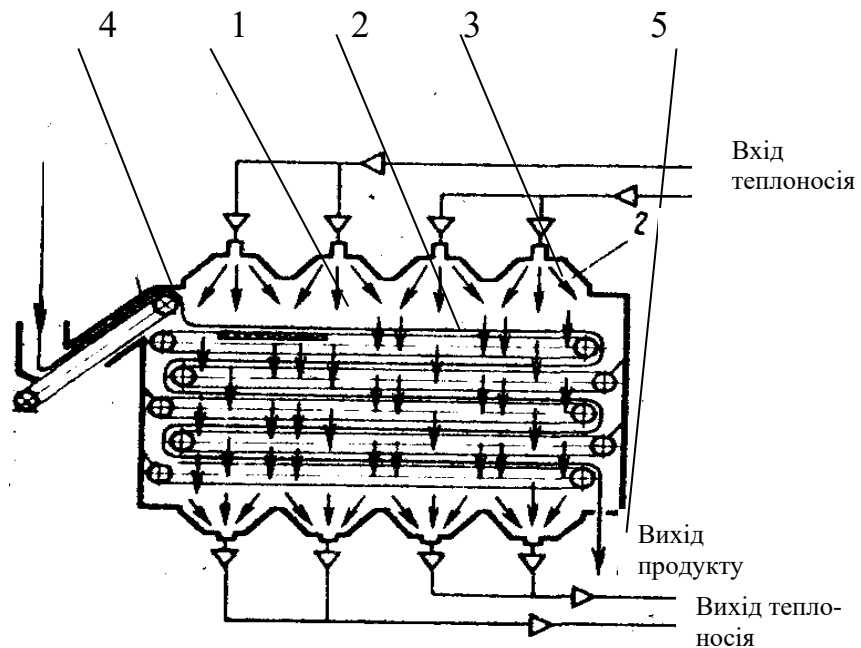


Рис. І.28 Багатострічкова конвеєрна сушарка СКО-90:

- 1 – сушильна камера; 2 – транспортери; 3 – канали для теплоносія;
4 – завантажувальний пристрій; 5 – розвантажувальний пристрій

В стрічкових сушарках легко створюються прямотечія, протитечійний рух, змішана схема руху теплоносія і продукту.

Розпилюючі сушарки.

Використовуються для рідких та пастоподібних продуктів, які диспергують спеціальними пристроями і висушують в потоці газоподібного теплоносія. Час перебування матеріалу в зоні сушіння мала, а висока степінь диспергування забезпечує швидке висушування. Висушений продукт отримується рівномірно дисперсним, штучним.

Їхнім недоліком є великі габарити і значні витрати енергії.

Конструкція розпилювальної сушарки показана на рис. І.29.

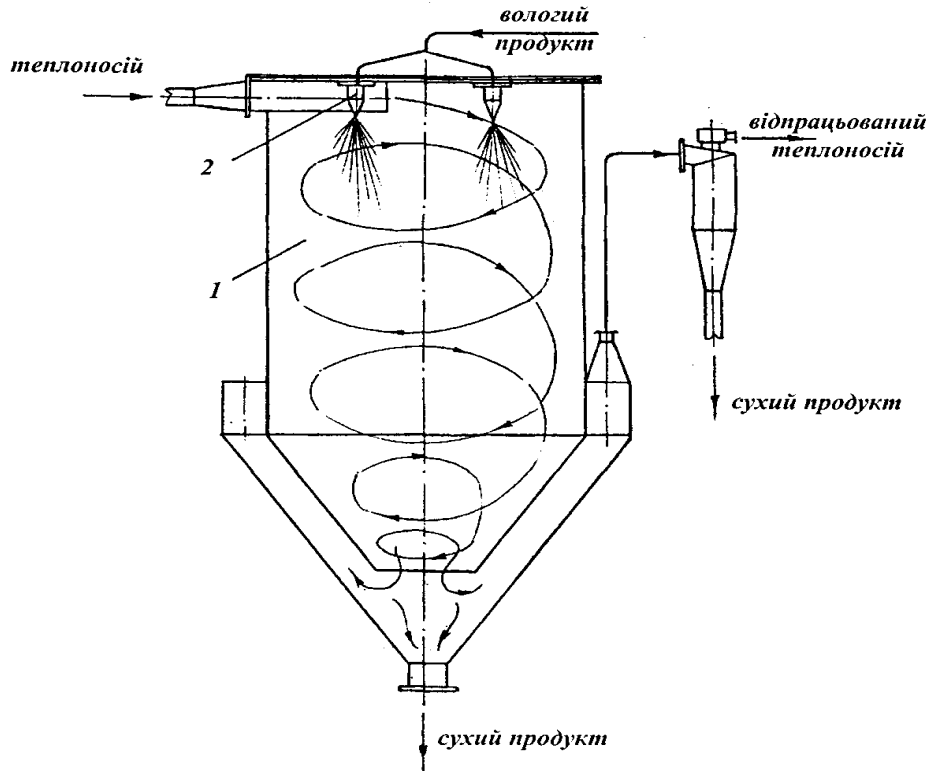


Рис. І.29 Конструктивна схема сушарки з пневматичним розпиленням продукту:
1 – сушильна камера; 2 – пневматичні форсунки

Розпилююча сушарка СРЦ-8/300-НК (рис. І.30) застосовується для сушіння кормових дріжджів з нижнім підведенням теплоносія. Корпус сушарки 9 являє собою циліндричний апарат з конічним днищем. Розчин розпилюється відцентровим пристроєм 13 за допомогою диска 10. Сушильний агент подається у верхню частину установки по газопідвідній трубі 7. Зверху сушарки встановлений диспергатор 8, призначений для розпилювання кормових дріжджів в сушильній камері.

Розпилені краплі продукту підхоплюються потоком повітря й спрямовуються вниз. Волога випаровується, а дрібний висушений порошок осаджується в конусному днищі і через розвантажувальний пристрій 1 надходить в систему пневмотранспорту. Для струшування часток, що осіли на стінках, встановлені вібратори 17. Відпрацьований теплоносій віддаляється через газовідвідну трубу 2 в циклон для відділення порошку. Для огляду апарата передбачений люк 5. На корпусі 9 змонтовані запобіжні клапани 3 і 18 і патрубки 12 для вихлопу сушильних газів при різкому збільшенні тиску. Для зниження тепловтрат передбачена ізоляція 11.

Для змащення відцентрово-розпилюючого пристрою 13 у верхній частині встановлений масляний фільтр 14. Підйом розпилюючого пристрою здійснюється підйомником 15.

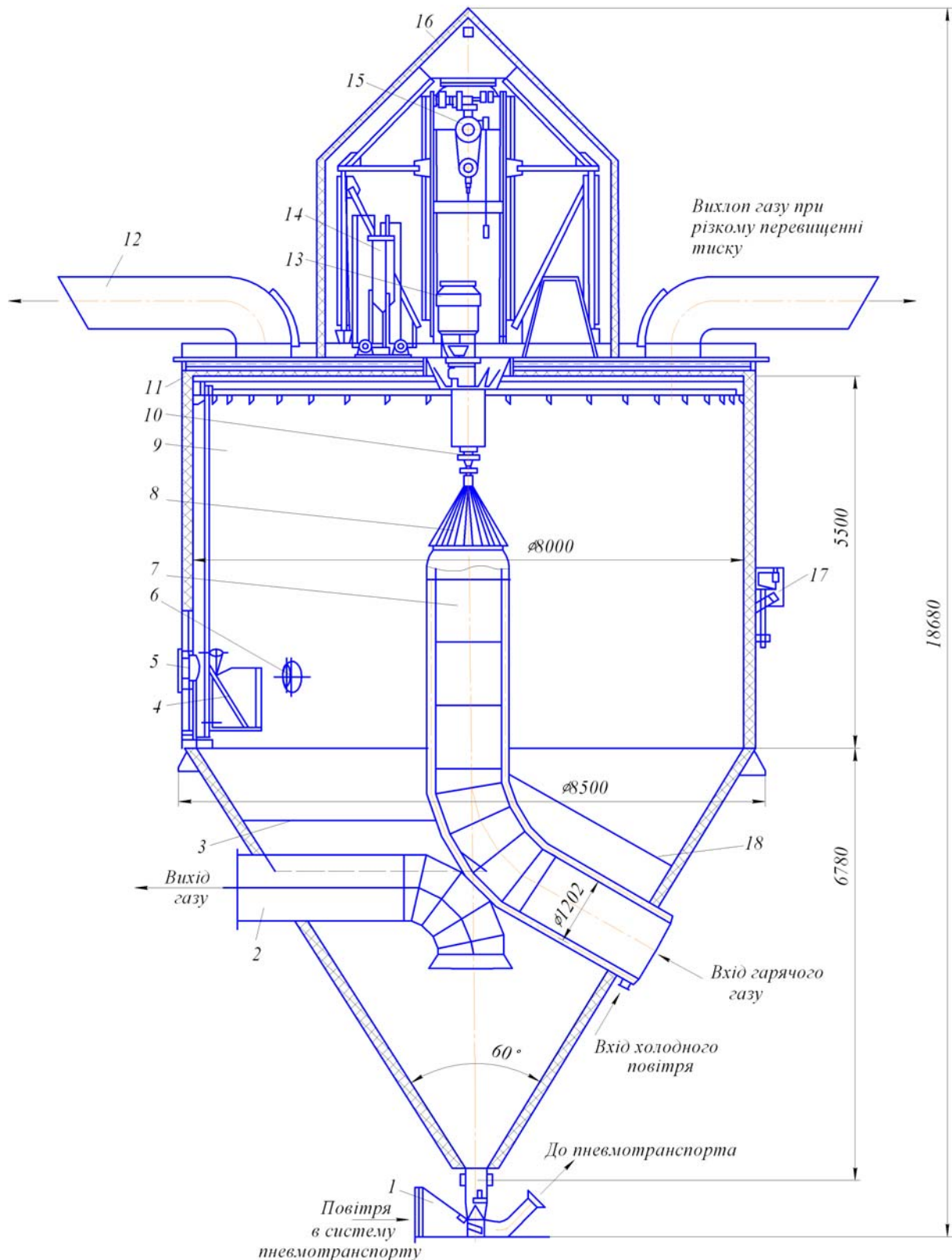


Рис. І. 30 Розпилююча сушарка СРЦ-8/300-НК
для сушіння кормових дріжджів

В залежності від конструкції сушарки сушіння проводять при прямотечійному, протитечійному і змішаному току матеріалу і теплоносія. Більшість сушарок просушують по принципу прямотечії.

В якості розпилюючих пристроїв можуть використовуватись: механічні форсунки, що працюють по принципу розпаду струминки рідини, що витікає під тиском з сопла форсунки; пневматичні форсунки коли рідина розпадається на краплі під дією швидкісної струминки газу і використовуються для розпилювання високов'язких паст і суспензій; відцентрові диски різної конструкції, дія яких основана на подрібненні тонкої плівки рідини, що відривається від швидко обертаючого диску (10000...20000 об/хв).

Сушарки зі зваженим (віброкиплячим) шаром.

Знаходять широке застосування в різних галузях. Конструктивно діляться на одно- і багатосекційні. Односекційні прости в конструктивному і експлуатаційному відношенні мають високі економічні показники. Недоліком їх є нерівномірність сушіння, так як час перебування різних частинок в робочій зоні апарату неоднакова. Сушарки в основному використовуються для сушіння матеріалів від поверхневої вологи. Процес сушіння аналогічний як і в сушарках з киплячим шаром, але застосовується вібрація з частотою коливань 25..50 Гц (рис. І.31).

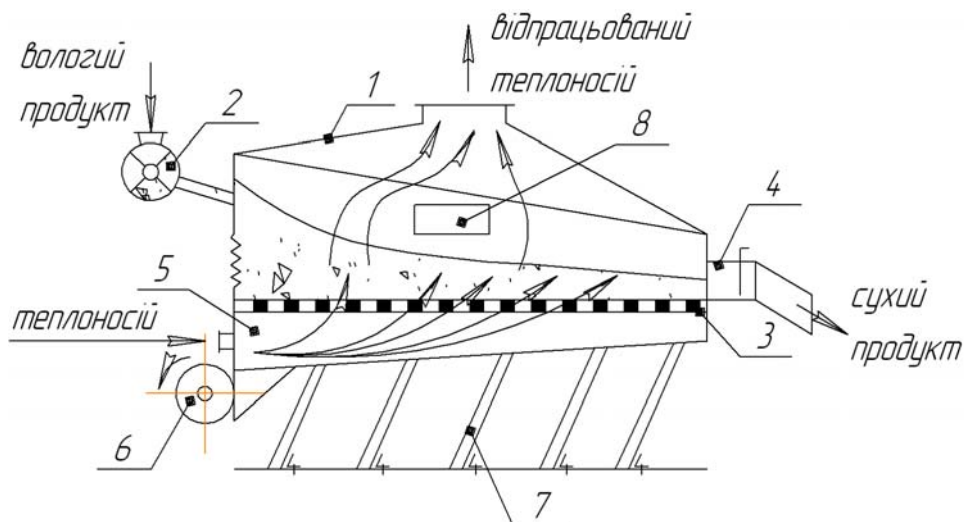


Рис. І.31 Сушарки з віброкиплячим шаром: 1 – корпус; 2 – живильник; 3 – решітка; 4 – розвантажувальний пристрій; 5 – повітровід рівномірної роздачі; 6 – дебалансний вібратор; 7 – пружини; 8 – оглядове віконце.

Сушарка Р 3-ОСС (рис. І.32) складається із сушильної камери 6, віброколонки для підсушування продукту 7, зони інтенсивного сушіння 5, зони охолодження 4. Продукт завантажується живильником 8, вивантажується через випускний пристрій у нижній частині охолоджувача. Повітря засмоктується вентилятором 2 через фільтр 1 з атмосфери, нагнітається в калорифер 3 і виводиться через скруббер 9.

Вологий продукт живильником подається у віброколонку 7, потім попадає в зону сушіння 5 і далі в зону охолодження 4.

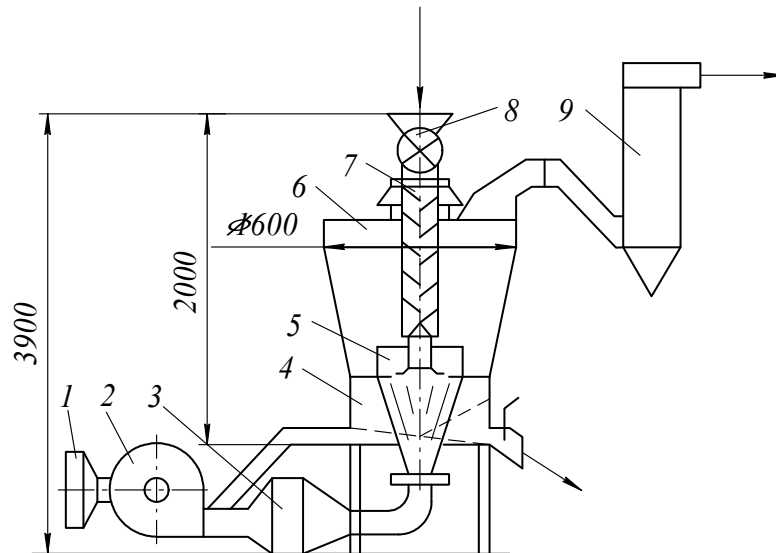


Рис. І.32 Сушильна установка для сушіння молочного цукру Р 3-ОСС

Інженерні розрахунки. У розрахунках апаратів з киплячим шаром розраховують критичну швидкість кипіння для часток матеріалу максимального діаметра d_{max} (м) зі співвідношення

$$Re = Ar / (1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}),$$

де $Ar = gd_{max}^3 (\rho_1 - \rho_2) / (\eta_t^2 \rho_2)$ – число Архімеда;

ρ_1, ρ_2 – відповідно щільності продукту й сушильного агента, кг/м^3 ;

η_t – кінематична в'язкість сушильного агента, $\text{м}^2/\text{с}$.

Звідки критична швидкість кипіння v_k (м/с) визначається як:

$$v_e = (Re \cdot \eta_t) / d_{max},$$

причому для забезпечення стійкого режиму кипіння середня швидкість сушильного агента в апараті дорівнює $v = (2...3) \cdot v_e$.

Площа газорозподільних ґрат апарата F (м^2):

$$F = V/v,$$

де V – середня об'ємна витрата повітря в сушарці, $\text{м}^3/\text{с}$.

Коефіцієнт міжфазного теплообміну для часток продукту із середнім діаметром d (м) визначається з рівняння:

$$Nu = 0,4 \cdot (Re / \varepsilon)^{0,67} Pr^{0,33},$$

де ε – середній коефіцієнт порозности шару (0,55...0,7);

$Pr = v/a$ – число Прандтля;

a – коефіцієнт температуропровідності сушильного агента, $\text{м}^2/\text{с}$.

Коефіцієнт міжфазного теплообміну α_m [$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$] дорівнює

$$\alpha_m = Nu \cdot \lambda / d,$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності сушильного агента, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Середній температурний напір теплоносія Δt ($^{\circ}\text{C}$) складає:

$$\Delta t = (t_1 - t_2) / \ln[(t_1 - \Theta) / (t_2 - \Theta)],$$

де t_1, t_2 – температури повітря на вході в сушарку й на виході з її, $^{\circ}\text{C}$;

Θ – кінцева температура продукту, $^{\circ}\text{C}$.

Необхідна поверхня дисперсного продукту в сушарці S (м^2) дорівнює:

$$S = \dot{Q} / 3,6 \cdot \alpha_m \cdot \Delta t,$$

де Φ – витрата теплоти, корисно використовуваної в сушарці, кДж/год.

Об'єм шару продукту, що *висушується*, V_n (м^3) у сушарці:

$$V_i = [d / \dot{I} \cdot \phi \cdot (1 - \varepsilon)] \cdot S,$$

де P – продуктивність сушарки, кг/год;

ϕ – коефіцієнт форми часток продукту.

Мінімальна висота шару h_{min} (м) продукту в апараті:

$$h_{min} = V / F.$$

Висоту шару матеріалу, що висушується і забезпечує необхідну середню тривалість процесу сушіння, визначають зі співвідношення:

$$h = \dot{I} \cdot \tau / [\rho_1 \cdot F \cdot (1 - \varepsilon)],$$

де τ – тривалість сушіння, год.

Мікрофільові сушильні установки

Всі харчові продукти - діелектрики, що мають високу діелектричну проникність і низьку електропровідність. Тому харчові середовища можуть піддаватися діелектричному нагріванню, пов'язаному з дипольною поляризацією. Ефекти поляризації в змінних високочастотних електромагнітних полях пов'язані з витратою енергії поля, оскільки безперервна зміна напрямку поляризації супроводжується виділенням теплової енергії в речовині.

Діелектричне нагрівання харчових середовищ і їхнє зневоднювання найбільш ефективні у Свч-діапазоні електромагнітних хвиль довжиною 0,3...0,003 м. Для промислового застосування мікрохвильового сушіння харчових продуктів дозволене використання Свч-діапазону хвиль із частотами 915 ± 25 і 2450 ± 50 МГц. Причому для різних харчових матеріалів глибина проникнення електромагнітної хвилі залежить від її частоти, діелектричної проникності.

Мікрохвильова вакуумна сушарка (барабанного типу) (рис. 1.33) призначена для сушіння штучних матеріалів, де видалення вологи відбувається за допомогою градієнта тиску, температурного градієнта й градієнта вологовмісту. При цьому кипіння вологи в матеріалі відбувається при температурах 50...60 °С.

Установка складається із сушильної камери 1 барабанного типу, штабелюючого пристрою 2, магнітронів 3 (розташованих на обичайці барабана), вакуум-насоса 4 і системи контролю й керування 5.

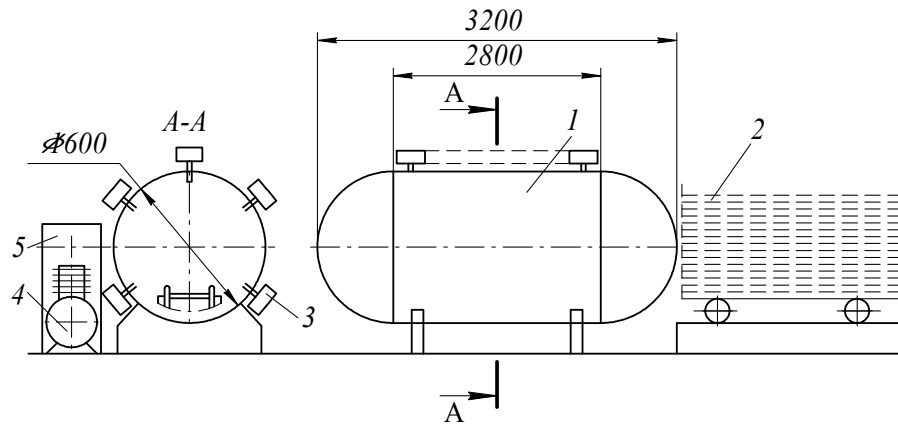


Рис. І.33 Мікрохвильова вакуумна сушарка (барабанного типу)

Мікрохвильова сушарка (шнекового типу) (рис. І.34) призначена для сушіння сипучих продуктів (зерно, крупи та ін.). Установка складається з корпусу 6, усередині якого розміщений шнек 7, що приводиться в обертальний рух від приводу 8. Над шнеком 7 розміщені магнітрони 5, що забезпечують мікрохвильовий вплив на продукт, що рухається, і складаються з повітропроводу - магнетрона 2 і зовнішнього повітропроводу 3. На виході з корпусу 6 розміщений вентилятор 4, що продуває рухомий висушуваний шар продукту. На вході встановлена завантажувальна камера 1 і блок керування.

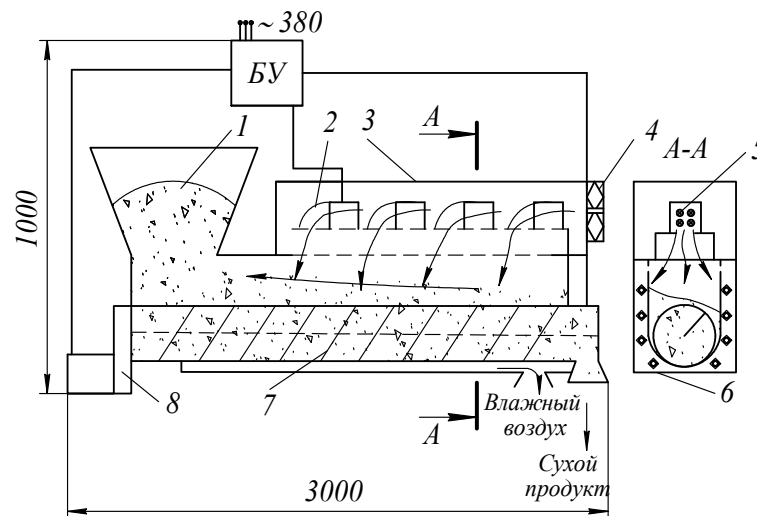


Рис. І.34 Мікрохвильова сушарка шнекового типу

І.5 Сорбційні процеси

І.5.1 Абсорбція

Абсорбцією називається процес поглинання газу рідким поглиначем, в якому газ може розчинятися. Оборотний процес видалення розчиненого газу з розчину носить назву десорбцією.

В абсорбційних процесах (абсорбції, десорбції) приймають участь дві фази рідина і газова і проходять перехід речовини з газової фази в рідин-

ну(абсорбція), або навпаки: із рідкої фази в газову(десорбція). Таким чином абсорбційні процеси являються одним із видів процесів масопередачі. Рідинний поглинач при абсорбції газів називається – абсорбентом. Абсорбуємі компоненти з газової фази – абсорбтив, а не абсорбуємі – інерт.

Поглинання газу рідинною фазою може проходити в результаті його розчинення, або в результаті його хімічної взаємодії з абсорбентом.

В першому випадку процес називається фізичною абсорбцією. А в другому – хемосорбцією.

Абсорбційні процеси широко використовуються в усіх галузях промисловості особливо в хімічній та харчовій. Деякі характерні особливості застосування абсорбційних процесів приведено нижче.

1. Отримання готового продукту шляхом поглинання газу рідиною. Прикладом є абсорбція HCl з отриманням соляної кислоти, абсорбція окислів азоту водою (виробництво азотної кислоти). В цукровій промисловості цей процес використовується для отримання кислої води (рН-5.5-6) для дифузії способом сульфатації води.

2. Розділення газових сумішей для виділення цінних компонентів суміші. В цьому випадку поглинач повинен мати якомога більшу поглинаючу можливість для цінного компонента і якомога меншу по відношенню до других газів (говорячи що абсорбент повинен мати селективну, вибірково властивість)

3. Очищення газу від домішок шкідливих компонентів. Таке очищення використовується при необхідності виділення домішок, які шкідливі при подальшій переробці газів. Наприклад очищення нафтових газів від H_2S . Крім того, проводять санітарні очищення топкових газів від SO_2 , які видаляються в атмосферу.

4. Уловлювання цінних компонентів із газової суміші.

При абсорбційних процесах масообмін проходить на поверхні розділення фаз. Тому абсорбційні апарати повинні мати розвинуту поверхню контакту фаз між газом і рідиною.

Типи абсорбційних апаратів

Виходячи зі способу створення поверхні контакту фаз абсорбційні апарати діляться на такі групи:

1. Поверхневі абсорбери. Якщо поверхня контакту між фазами - дзеркало рідини, то це є поверхневі абсорбери. Якщо поверхнею контакту є поверхня стікаючої плівки рідини-плівкові абсорбери. До цієї групи відносяться також насадкові абсорбери, в яких рідина стікає по поверхні завантаженої насадки в абсорбер з тіл різної форми.

2. Барботажні абсорбери. Поверхня контакту фаз створюється потоками газу, які розподілені в рідині у вигляді бульбашок і струмків. Такий рух газу здійснюється шляхом пропускання його через заповнений рідиною апарат (барботаж) або в апаратах колонного типу, розділеного по висоті різними типами тарілок.

3. Розпилюючі абсорбери. Поверхня контакту фаз утворюється шляхом розпилення рідини в масі газу на мілкі каплі. До цієї групи відносяться абсор-

бери, в яких розпилення рідини відбувається форсунками, розпилювальними дисками, в полі руху газу з великими швидкостями (швидкісні проточні розпилюючі абсорбери)

Дана класифікація є умовною, так як відображає не стільки конструкцією абсорбера, як характер створюваної поверхні контакту фаз. Один і той же на апарат в залежності від умов роботи, співвідношення потоків може бути в різних групах.

З різних типів апаратів найбільш розповсюдження отримали насадкові, барботажні, барботажні тарілчасті абсорбери.

При виборі типу абсорбера в кожному конкретному випадку потрібно виходити з фізико-хімічних умов проведення процесу з врахуванням техніко-економічних показників.

Поверхневі абсорбери.

Як вже відмічалось до поверхневих абсорберів відносять абсорбери з :

- а) горизонтальним дзеркалом рідини,
- б) плівкові абсорбери,
- в) насадкові абсорбери (з нерухомою насадкою),
- г) механічні плівкові абсорбери.

а) Абсорбери з горизонтальним дзеркалом рідини

Газ проходить над поверхнею нерухомої або повільно текучої рідини, а дзеркало рідини є поверхнею масообміну. На рис. I. 35 показана схема роботи поверхневого абсорбера, що використовується для абсорбції хлористого водню з отриманням соляної кислоти.

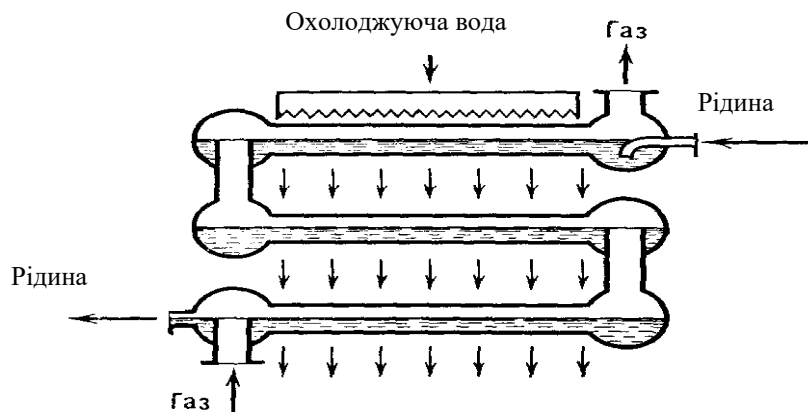


Рис. I.35 Поверхневий абсорбер

Для інтенсивного охолодження абсорберів використовується зрошення їх водою.

Поверхневі абсорбери малоефективні і використовують в основному для абсорбції добре розчинних газів з невеликих об'ємів при одночасному відводі тепла.

б) Плівкові абсорбери

Газ і рідина в них зустрічаються на поверхні рідинної плівки. Течія плівки відбувається по вертикальних трубах або пластинах. Абсорбери можуть бути з насадкою (труби, пластини) коли рідина стікає під дією сили тяжіння, а також абсорбери з висхідним рухом плівки.

На рис. I.36 представлена схема роботи плівкового трубчатого абсорбера.

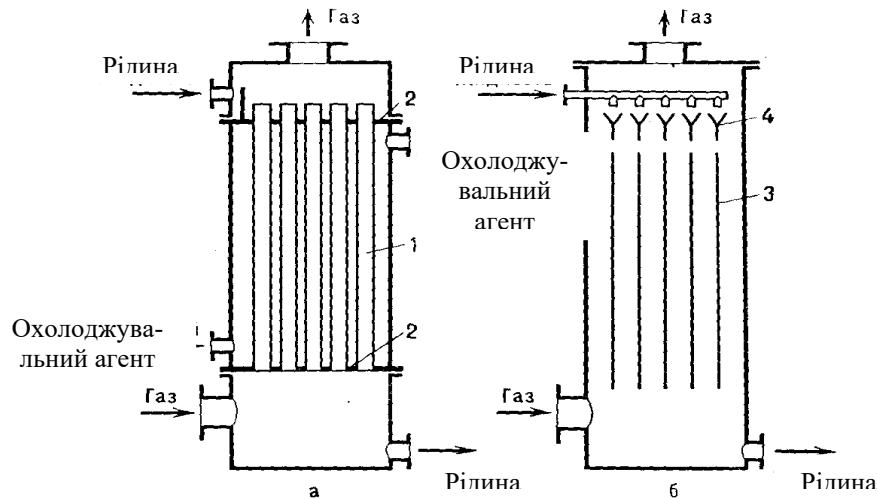


Рис. I.36 Плівковий трубчатий абсорбер: а – трубчатий; б – з листовою насадкою: 1 – труби; 2 – трубні решітки; 3 – пластини; 4 – розподільчий пристрій

Поверхневі трубчаті абсорбери виконуються у вигляді кожухотрубних теплообмінників. Для подачі рідини в труби є спеціальні пристрої, а для відводу тепла, що виділяється під час абсорбції подається охолоджувальна рідина. Гідравлічний опір трубчатих абсорберів при швидкостях газу 4...5 м/с не великий.

Плівкові абсорбери використовуються порівняно рідко для абсорбції добре розчинних газів (HCl , NH_3) з концентрованих газових сумішей при одночасному відведенні тепла.

Робота плівкових абсорберів з висхідним потоком газу основана на тому, що при достатньо високих швидкостях газу (від 10 м/с до 40 м/с) він захоплює рідинну плівку в напрямі свого руху. При цьому досягаються високі коефіцієнти масопередачі.

Схема плівкового абсорбера з вихідним потоком газу показана на рис. I.37.

Є плівкові абсорбери з механічним створенням плівки за рахунок ротора, який обертається, що приводить до перемішування фаз і інтенсифікації процесів масообміну (рис. I.38). В найпростішому вигляді ротор має вертикальні лопаті, причому між лопатями і плівкою рідини є зазор і лопаті переміщують лише газ (рис. I.38, а). В роторному плівковому абсорбері (рис. I.38, б) рідина потрапляє в пустотілий вал, витікає через отвори в ньому, під дією відцентрової сили стікає по хвилястих поверхнях лопатей і розбризкується на нерухому стінку апарату.

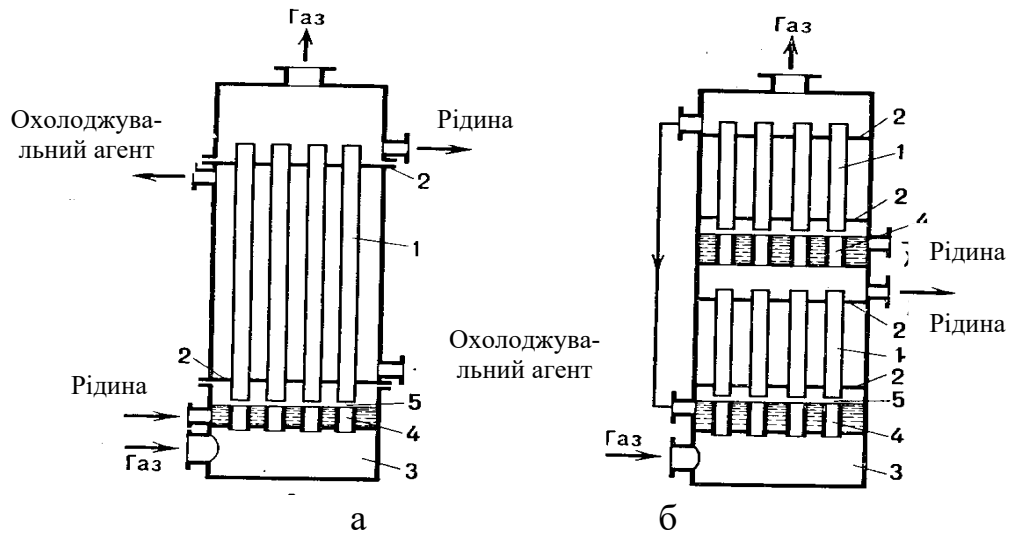


Рис. І.37 Абсорбери з висхідним потоком плівки рідини:
 а – одноступінчаті, б – двоступінчаті; 1 – труби; 2 – трубні решітки;
 3 – приймальна камера; 4 – патрубки; 5 – щілини

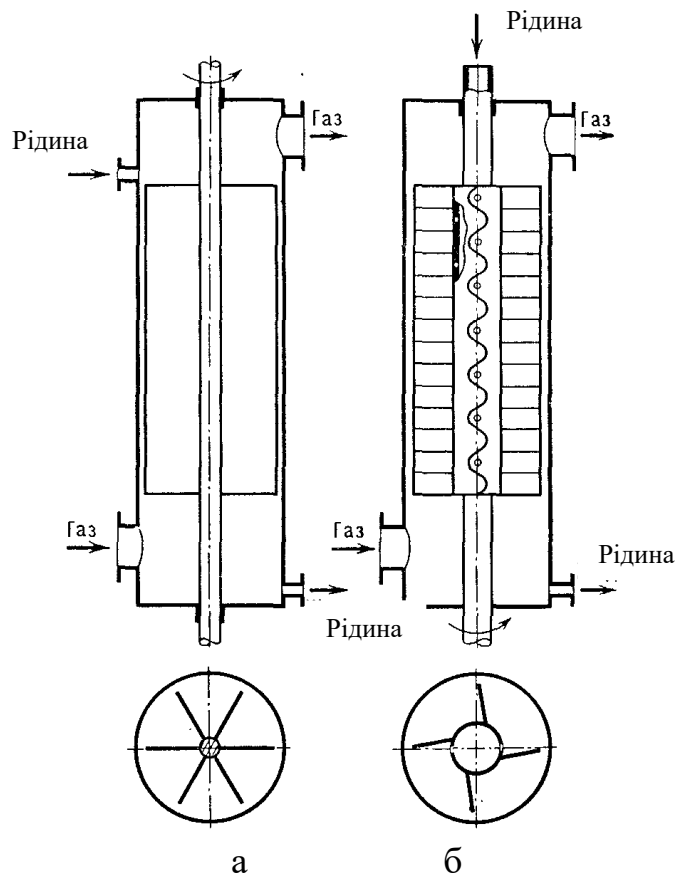


Рис. І.38 Ротаційні плівкові абсорбери з лопатним ротором різної форми

в) Насадкові абсорбери.

До цієї групи абсорберів відносяться широко розповсюджені в різних галузях промисловості насадкові абсорбери. Вони являють собою колони (рис. І. 39), розділені перфорованими або колосниковими решітками, на яких знаходяться насадки. Решітки служать як опора для насадки та для рівномірного роз-

поділення газового потоку, що поступає знизу. Над шаром насадки розміщені пристрої для рівномірного розподілення абсорбента по перерізу колони.

Насадки являють собою тіла різної геометричної форми і які відповідають наступним критеріям:

- велика питома поверхня і великий вільний об'єм (порозність);
- невеликий гідравлічний опір;
- добра змочуваність;
- корозійна стійкість;
- низька вартість.

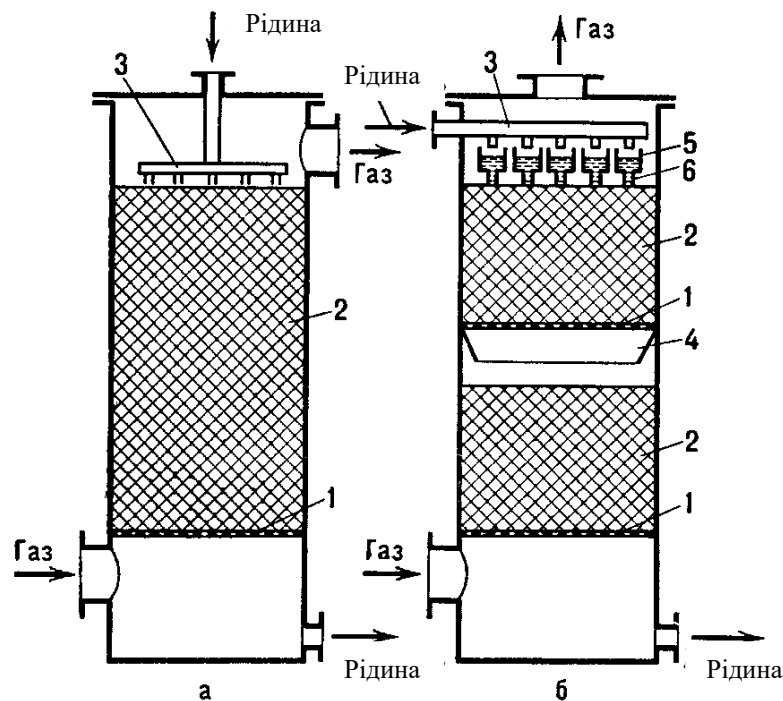


Рис. І.39 Насадковий абсорбер: а – з суцільним завантаженням насадки; б – з пошаровим завантаженням насадки; 1 – підтримуюча решітка; 2 – насадка; 3 – пристосування для розподілення рідини; 5 – жолоб; 6 – патрубок

Деякі види найбільш широко відомих насадок приведені на рис. І.40.

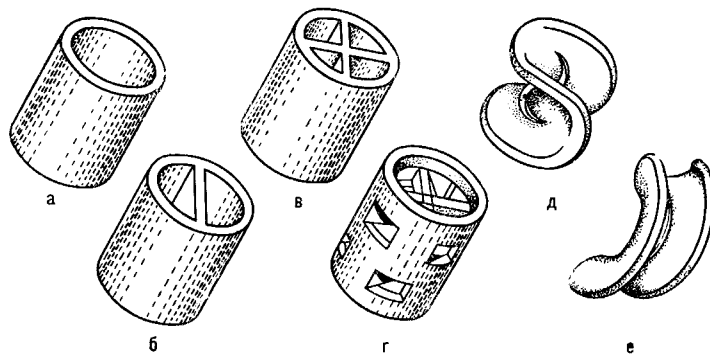


Рис. І.40 Види насадок поверхневих абсорберів: а - кільця Рашига; б – кільця з перегородкою; в – кільця з хрестоподібною перегородкою; г – кільця Палля; д – сідла Берля; е – сідла «Інталокс»

Найбільш простою і дешевою насадкою є куски дробленого коксу або кварцу розміром 25...50мм, які завантажуються навалом. Насадкою може бути також встановлені дошки і т. п.

Кільця Рашига являють собою тонкостінні циліндри висотою, рівною їх зовнішньому діаметру. Вони виготовляються з різних матеріалів (метал, кераміка, пластмаса) і завантажуються в абсорбер навалом. Питома поверхня досягає 500...900 м²/м³.

Для збільшення питомої поверхні насадки використовують також кільця з перегородкою, з хрестоподібною перегородкою, кільця Палля з вирізами в стінці і перегородками. Знаходять використання також сідла Берля з поверхнею в формі гіперболічного параболоїда, що мають на 10...30 % більшу питому поверхню, ніж кільця Рашига.

Насадка може розміщатись в абсорбері навалом, або бути укладена регулярно.

Барботажні абсорбери

Найбільш простим абсорбером є апарат із суцільним барботажним шаром (рис. I. 41). Він являє собою циліндричну ємкість, в кожній частині якої розміщений пристрій для рівномірного розподілення газової фази по перерізу. Рідина підводиться в ємність в більшості випадків зверху, а відвід її робиться з нижньої частини апарату за допомогою гідравлічного затвора, положенням якого регулюється шар рідини в апараті.

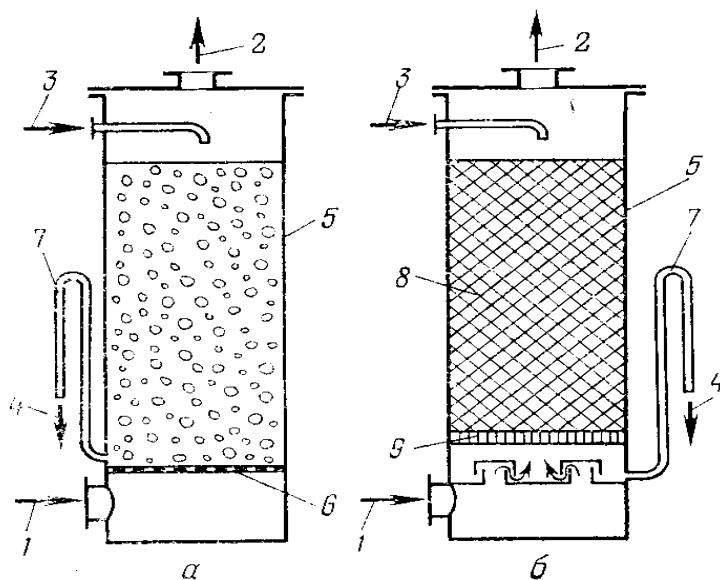


Рис. I.41 Барботажний абсорбер: а – без внутрішніх розподільчих пристроїв; б – з насадкою в барботажному шарі; 1, 2 – вхід і вихід газу; 3, 4 – вхід і вихід рідини; 5 – колона; 6 – газорозподільна решітка; 7 – гідравлічний затвор; 8 – насадка; 9 – секційна решітка

Рідина циркулює в апараті, так як піднімається вгору потоком газових бульбашок і опускається вниз в пристінних частинах колони. Завдяки цій цирку-

ляції концентрація абсорбованого газу в рідині практично постійна по висоті барботажного шару і рівна вихідній концентрації. Це призводить до зниження рушійної сили процесу і ефективності роботи абсорбера.

Для зменшення негативного впливу переміщення барботажні апарати часто секціонують шляхом розміщення проміжних решіток.

Широке розповсюдження знайшли тарілчасті барботажні колони (рис. I.42)

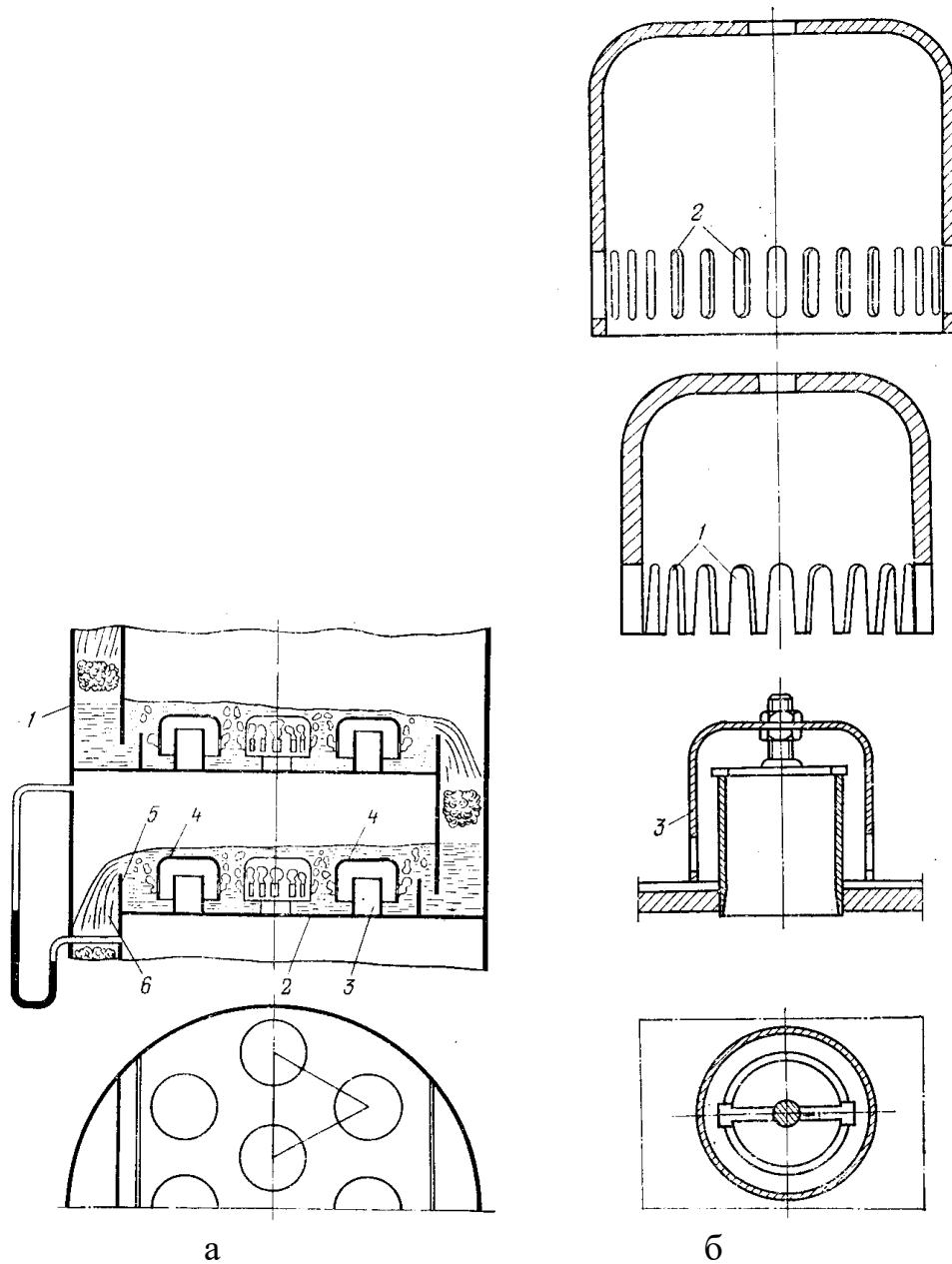


Рис. I.42 Тарілчасті барботажні колони: а – частина колони: 1 – корпус колони; 2 – диск тарілки; 3 – патрубки для проходу газу; 4 – ковпачки; 5 – зливний поріг; 6 – переливний канал; б – види ковпачків барботажної тарілки: 1 – вирізи; 2 – прорізи; 3 – кріплення ковпачка

В цих апаратах вихідний потік газу послідовно барботує через шари рідини на тарілках, які розміщені на деяких відстанях одна від другої. Рідина перетікає з верхніх тарілок на нижні, а газ відділяється від капель рідини в проміжках між

тарілками. Таким чином в тарілчастих абсорберах проходить ступінчатий контакт газу і абсорбенту.

Рух газу через ковпачок та розміщення переливного порогу для рідини показаний на рис. І.43.

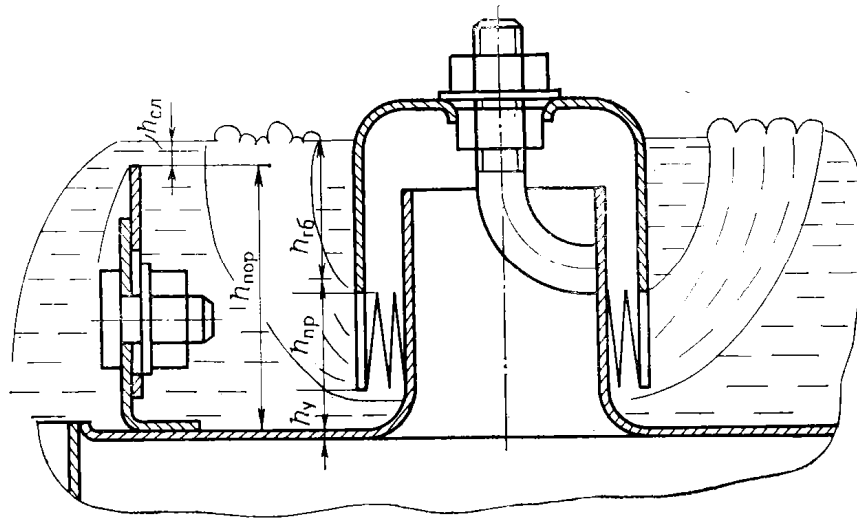


Рис. І.43 Розміщення ковпачка та зливного порогу

Різноманітність барбатажних тарілок обумовлена пошуком конструкцій, які забезпечують високу інтенсивність масообміну, простоту виготовлення, низький гідравлічний опір.

Розпилюючі абсорбери

Являють собою пусту колону, в верхній частині якої розміщені пристрої для розпилювання рідини, а газ рухається знизу колони назустріч. Найчастіше розпилювання рідини відбувається механічними форсунками, розміщеними по перерізу колони. Розміщення форсунок може бути найрізноманітнішим, щоб забезпечити рівномірне зрошення колони. При великій довжині колони форсунки можуть розміщуватись ярусами (рис. І.44).

На рис. І. 45 показаний абсорбер, який суміщає розпилювання рідини в об'ємі реактора та насадковий абсорбер, коли рідина стікає по насадці та відбуваються процеси масо передачі.

Розпилюючі абсорбери мають такі переваги:

- низька вартість;
- невеликий гідравлічний опір;
- можливість роботи з брудними газами;

Разом з тим розпилюючі абсорбери мають такий значний недолік, як низька ефективність процесу. Він визваний нерівномірним розподілом рідини і газу по перерізу апарату, інтенсивним перемішуванням в обох фазах.

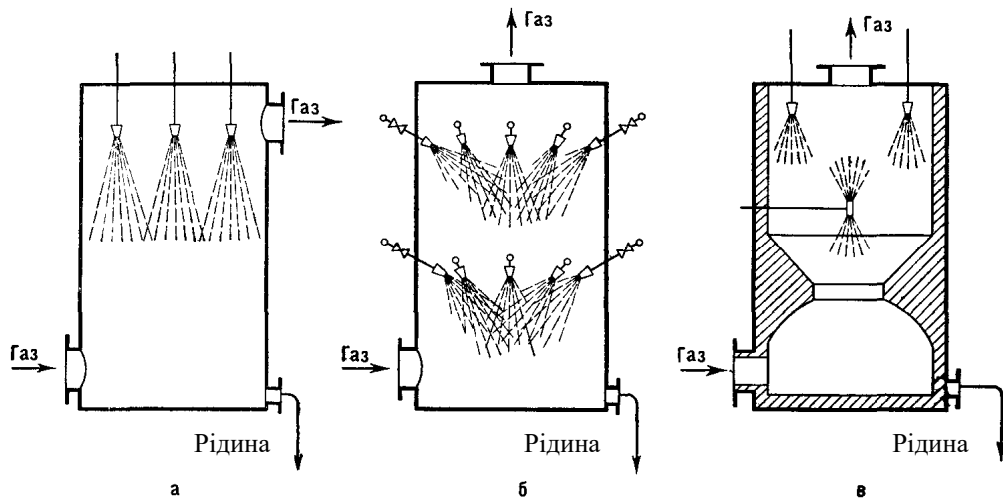


Рис. І.44 Розпилюючі абсорбери: а – факел розпилиу направлений вниз; б – факел розпилиу направлений під кутом; в- двохрядне розміщення форсунок

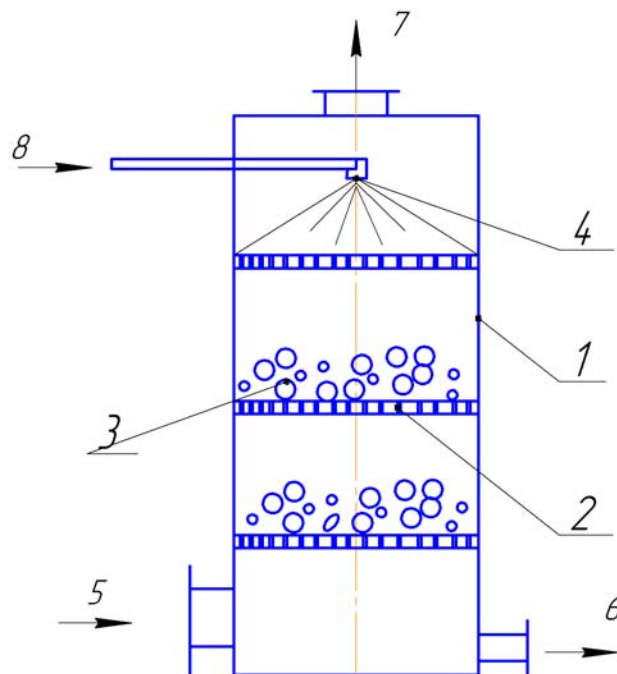


Рис. І.45 Розпилюючі абсорбери: 1 – корпус колони; 2 – решітки; 3 – шарава насадка; 4 – розподільник рідини; 5, 7 – вхід і вихід газу; 6, 8 – вихід і вхід рідини

До розпилюючих абсорберів відносяться і швидкісні абсорбери Вентурі, які працюють в режимі проточної газу і рідини (рис. І.46).

Принцип роботи швидкісних абсорберів Вентурі в тому, що рідина, яка входить через отвір в конфузур з великою швидкістю (20...30м/с), ежектуює газ, проходить через дифузур і газорідинна суміш поступає в сепаратор, де вона розділяється. Можливо також використання ежекційних апаратів в якості швидкісних абсорберів. В цьому випадку рідина під тиском вприскується в ежекційну камеру, а газ всмоктується за рахунок створення розрідження в цій камері.

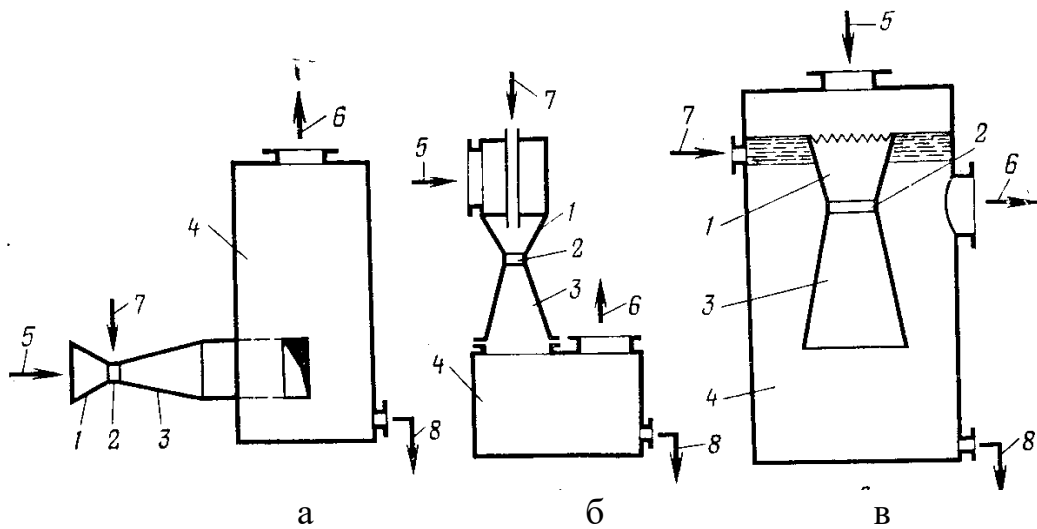


Рис. І.46 Абсорбери Вентурі: а – з введенням рідини в горловину; б – з введенням рідини через центральне сопло; в – з плівковим введенням рідини:
1 – конфузом; 2 – горловина; 3 – дифузор; 4 – сепаратор; 5,6 – вхід і вихід рідини; 7, 8 – вхід і вихід рідини

На рис. І.47 показаний абсорбер ударної дії – ротоклон, який також може ефективно використовуватись при очищенні газів від забруднень. в апараті виконано один або кілька вигнутих щільових каналів, нижня частина яких знаходиться нижче рівня рідини. При ударі в поверхню рідини газ захоплює частину рідини і рухається з нею вздовж направляючої каналу, ударяється в верхню направляючу і падає в вигляді завіси капель.

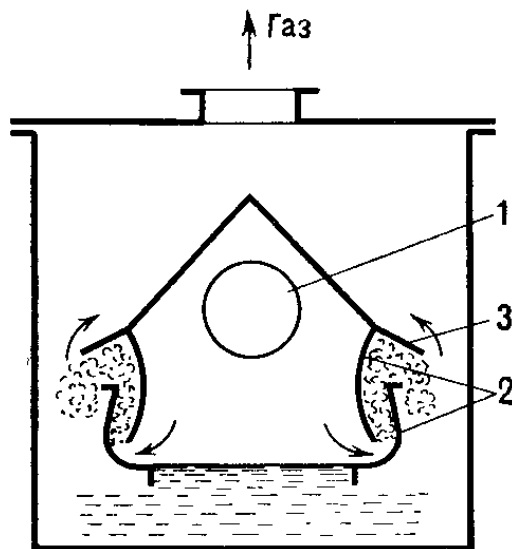


Рис. І. 47 Ротоклон : 1 – патрубок підведення газу; 2 – направляючі лопатки; 3 – крапле відбійник

І.5.2 Адсорбція

Адсорбцією називають поглинання газів, парів і рідин твердими пористими тілами (адсорбентами). Адсорбуєма речовина, що знаходиться в газі або рідині називається адсорбтивом, а після переходу її в фазу адсорбента – адсорбат.

Є два основні види адсорбції – фізична і хімічна (хемосорбція). Фізична адсорбція визивається силами взаємодії молекул речовин і характерна збереженням властивостей адсорбента і адсорбата. Хімічна адсорбція характерна хімічною взаємодією адсорбента і адсорбата, що призводять до утворення нового хімічного з'єднання на поверхні адсорбента.

Процеси адсорбції є оборотні і вибіркові. В одних умовах вони поглинають один або кілька компонентів і в других умовах – виділяються (десорбують) їх з твердої фази.

На практиці процес адсорбції використовують для виділення з суміші компонентів з низькою концентрацією.

Швидкість адсорбції коливається у великих межах, вона залежить від властивостей адсорбента, адсорбованої речовини:

$$\frac{dG}{G_a \cdot d\tau} = k \cdot (y - y_p)$$

де G – кількість речовини, що поглинається, кг;

G_a – кількість адсорбента, кг;

τ – тривалість процесу, с;

k – коефіцієнт адсорбції, 1/с;

y – концентрація парогазової суміші, кг/м³;

y_p – концентрація парогазової суміші рівноважна кількості речовини,

що поглинається одиницею об'єму адсорбента, кг/м³.

В якості адсорбентів виступають пористі тіла, що мають велику питому поверхню. Це такі як активне вугілля, яке отримують з різної органічної сировини (деревина, торф, бурі та кам'яні вугілля і т.д.) шляхом їх термічної обробки без вільного доступу повітря.

Найчастіше для здійснення адсорбційних процесів використовують адсорбційні установки періодичної дії. Робочий цикл кожного апарату складається з трьох стадій:

1. насичення адсорбента поглинаємою речовиною;
2. десорбція поглинутої речовини;
3. охолодження адсорбента.

Адсорбери періодичної дії в найпростішому вигляді являють собою вертикальні (рис. І.48) або горизонтальні циліндри в нижній частині яких розміщені розподільні решітки. Парогазова суміш проходить через шар адсорбента знизу вгору, очищаючись при цьому. Якщо десорбція проводиться перегрітим паром, то для цього є роздільні штуцери.

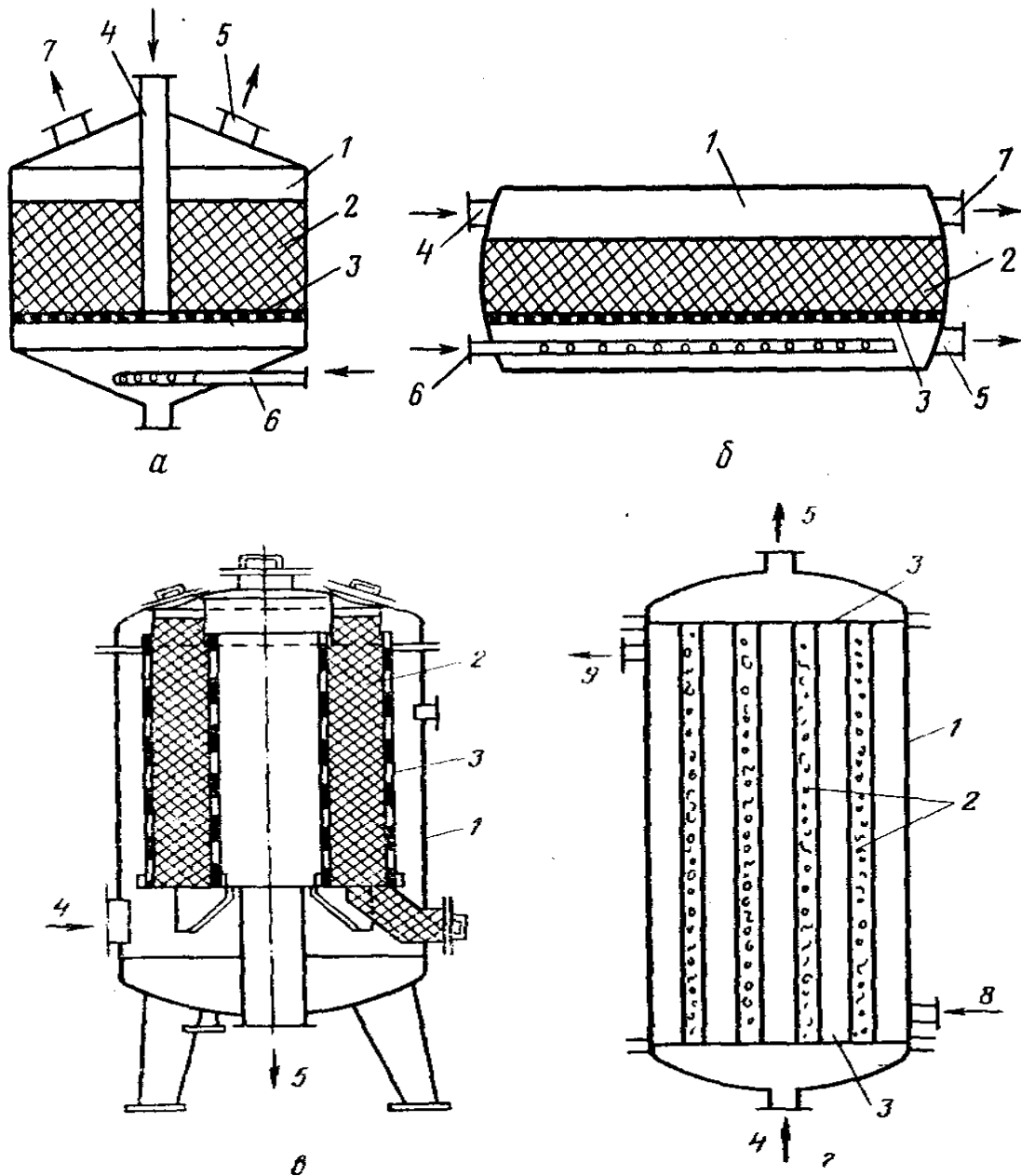


Рис. 1.48 Адсорбер: а) вертикальний апарат, б) горизонтальний апарат, в) кільцевий апарат, г) кожухотрубний апарат:

1 – корпус; 2 – шар адсорбента; 3 – розподільча решітка; 4 – вхід суміші газового потоку; 5 – вихід інертного і де сорбованого потоків; 6 – вхід перегрітої водяної пари; 7 – вихід парової суміші; 8, 9 – вхід і вихід теплоносія

В харчовій промисловості адсорбція виконується для очищення дифузійного соку та сиропу в бурякоцукровій промисловості, в крохмалепатоковій промисловості, при очищенні і стабілізації вина і пива, при освітленні соків в консервній промисловості, рафінуванні рослинних масел та очищенні спирту.

Так як адсорбенти є дорогим матеріалом, то для їх регенерації використовують процес десорбції.

Він проводиться при підвищеній температурі t адсорбента або зниженому тиску, продуванням адсорбента нагрітим газом або перегрітою парою, витис-

канням поглинутих компонентів речовиною, що має більш високу адсорбуємість.

1.6 Кристалізація

Загальні положення

Кристалізацією називається процес утворення і росту кристалів з розчинів, розплавів, газової фази.

Кристалізація можлива тільки в випадку пересичення або переохолодження вихідної фази відносно виникаючої в ній твердої фази. В випадку розчинів величина пересичення виражається різницею рівноважної концентрації насичення C_n і вихідної концентрації C_1 :

$$\Delta C = C_n + C_1$$

Процеси кристалізації супроводжуються тепловими ефектами, що обернені по знаку тепловим ефектом при розчиненні. Кількість тепла що виділяється чи поглинається при кристалізації одиниці маси речовини називається теплотою кристалізації.

Основні процеси що здійснюються завдяки кристалізації:

- виділення твердих розчинених речовин із розчинів;
- розділення сумішей речовин на фракції, що збагачені деяким компонентом;
- глибоке очищення речовин від домішок;
- вирощування монокристалів та інше.

Для харчової промисловості найбільше значення має виділення твердих розчинених речовин з розчину.

Всі тверді речовини мають властивість в тій чи іншій мірі розчинятися в рідких розчинниках. Найбільш розповсюдженим розчинником в промисловості є вода для неорганічних речовин, а для органічних - спирти, ефіри, вуглеводи та ін.

Розчинність речовин в рідких розчинниках залежить від фізико-хімічних властивостей, а також від температури. Розчини, що мають максимальну кількість розчиненої речовини C_n при даній температурі, називають насиченими, при $C < C_n$ ненасиченими, а при $C > C_n$ - перенасиченими. Між насиченим розчином і розчиненою речовиною (кристалами) встановлюється рівновага.

Етапи кристалізації:

- утворення зародків (центрів кристалізації);
- ріст кристалів.

1.6.1 Зародження кристалів

Зародження кристалів буває гомогенне і гетерогенне. Гомогенне зародження кристалів виникає при відсутності в вихідній фазі твердих частинок, на яких утворюються кристали. Гетерогенне зародження кристалів виникає на твердих поверхнях і на присутній в вихідній фазі твердих частинок.

Утворення зародків кристалів є складним процесом в якому при хаотичному русі іони в розчині стикаються і в різних місцях виникають агрегати, що складаються з кількох протилежно заряджених іонів. Більшість цих агрегатів знову розпадається і лише ті, які досягли деякої величини можуть стати зародками нової фази.

1.6.2 Ріст кристалів

Розділення процесу кристалізації на стадії зародження і росту кристалів є умовним так як утворення стійких зародків (критичного розміру) пов'язане з їх ростом і в умовах масової кристалізації обидві стадії протікають одночасно. Тісний зв'язок обох стадій не дає можливості розділити ці стадії і математично точно описати їх. Тому зустрічається кілька теорій росту кристалів:

а) теорія поверхневого натягу – заснована на тому положенні, що кристал в процесі росту приймає форму, яка відповідає мінімуму поверхневої енергії при даному об'ємі.

б) дифузійна теорія – описує процес росту кристалів рівнянням масообміну:

$$\frac{dM}{dt} = \beta F (C_1 - C_n)$$

де $\frac{dM}{dt}$ – кількість речовини, що викристалізувалась за час dt ;

F – між фазна поверхня;

C_1, C_n – концентрація речовини в поверхневому розчині і стані насичення;

β – коефіцієнт масопередачі.

Перенесення речовини з розчину до кристалу, що росте також є двох стадійним.

- дифузія молекул речовини до міжфазної поверхні;
- розміщення цих молекул на поверхні кристалу.

в) молекулярно-кінетична теорія – розглядає процес росту кристалів як послідовне утворення шару молекул.

На швидкість росту, якість форми і розмірів кристалу крім фізико-хімічних властивостей кристалізуючої речовини мають великий вплив ступінь і швидкість пересичення розчину, інтенсивність його перемішування, наявність розчинних домішок і температури кристалізації.

При малих пересиченнях зародження і ріст кристалів протікає з малими швидкостями за рахунок приєднання іонів (молекул) його грані розвиваються рівномірно, а форма наближається до ідеальної.

При великих пересиченнях - швидкість росту кристалів збільшується в результаті приєднання тривимірних зародків і мікроутворень. При цьому грані кристалу не є ідеальними.

Зі збільшенням пересичення розчину швидкість росту кристалів відстає від швидкості утворення зародків (пересичення в основному іде на утворення нових зародків), тому зменшується середній розмір кристалу.

Таким чином, для отримання крупно - кристалічного продукту необхідно здійснювати процес при малому пересиченні.

Для можливості отримання великих розмірів кристалу використовуються:

- введення в розчин затравочних кристалів(центрів кристалізації);
- видалення найбільш дрібних кристалів;
- повторна обробка кристалічного продукту в насиченому розчині.

Перемішування розчину сприяє рівномірному притоку кристалізуючої речовини до всіх граней кристалу, чим забезпечується правильна форма. Однак зі збільшенням інтенсивності перемішування зменшується розмір кристалу як за рахунок його механічного стирання, так і за рахунок збільшення швидкості утворення зародків. Таким чином інтенсивність перемішування можливо використовувати, як один із методів регулювання розмірів зародків.

Сторонні домішки впливають на швидкість росту кристалів, причому деякі з них можуть повністю зупинити ріст кристалів, а деякі прискорювати. Механізм дії домішок не встановлений.

Температура також впливає на швидкість росту кристалів. Зі зростанням температури збільшується коефіцієнт дифузії речовини в розчині що кристалізується і надає їй в'язкість (зменшується товщина граничного шару кристалів). З підвищенням температури ріст кристалів прискорюється в більшій мірі, ніж утворення зародків.

I.6.3 Обладнання для проведення кристалізації

Кристалізацію речовин можна проводити з розчинів методом випаровування рідини або її охолодження для досягнення необхідного пересичення кристалізуємого продукту.

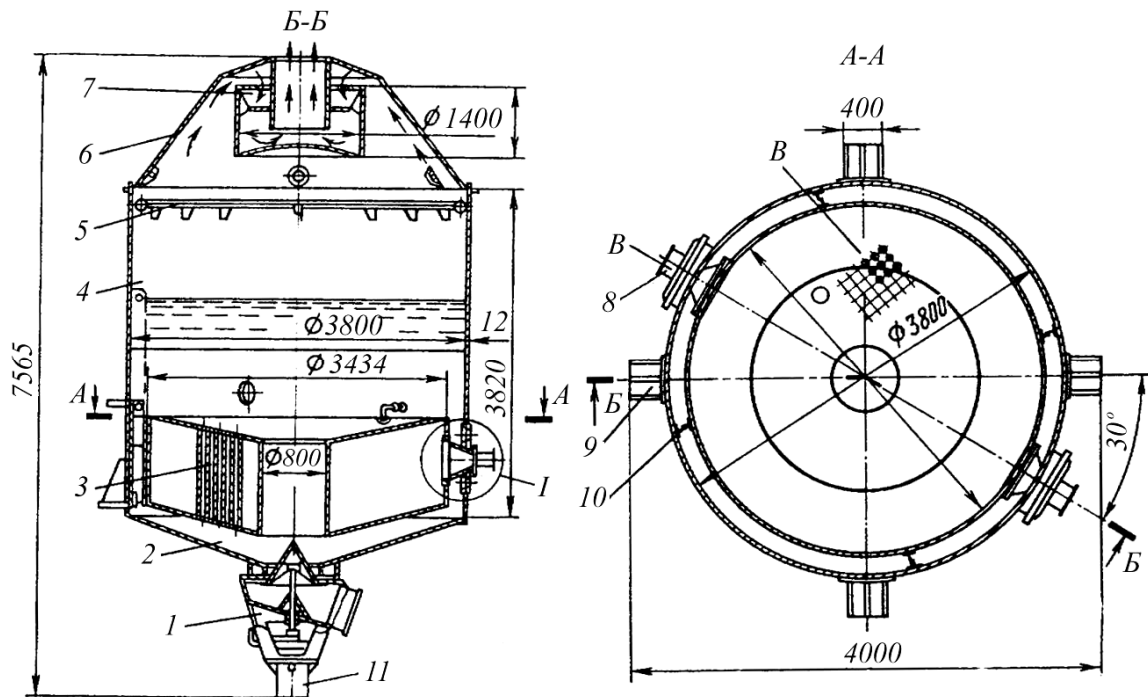
Уварювання утфелю I кристалізації для отримання цукру здійснюється в періодично діючих вертикальних вакуум-апаратах (кристалізаторах) місткістю 40, 60, 80 т. Повний цикл уварювання утфелю у вакуум-апаратах складається із чотирьох етапів: згущення сиропу до заведення кристалів, заведення кристалів цукру, нарощування кристалів цукру, згущення й вивантаження утфелю.

Утфелі уварюються при температурах 70...80°C при залишковому тиску в апаратів близько 0,015 МПа.

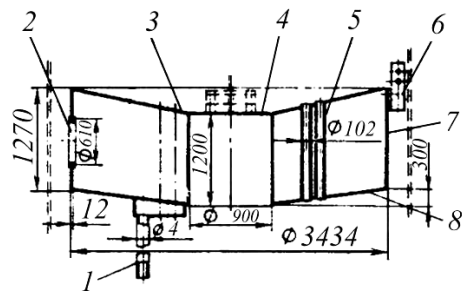
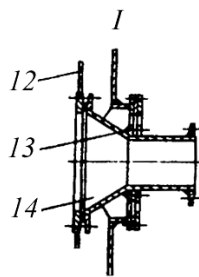
Вакуум-апарат ПВА-400 (рис. I.49, а) має суцільнозварний корпус 4, всередині якого підвішена гріюча камера 3 на опорі 9 і кронштейні 10 і пастка-сепаратор 7. У нижній частині апарата для спуску утфелю встановлений клапан 1 з гідравлічним приводом 11, що розміщений на днищі 2. Під кришкою 6 встановлена кільцева труба 5 для пропарювання апарата. Пара в камеру, 3 надходить через штуцера 8 з мембранами 13, які прикріплені конічними патрубками 14 до корпусу 12 камери.

Гріюча камера (рис. I.49, б) складається із двох конічних трубних решіток 3 і 8, у які завальцовані труби 5 і приварена циркуляційна труба 4. Штуцера з мембранним пристроєм приєднані до фланців 2. Конденсат віддаляється по трубі 1. Парова камера в апараті підвішується за допомогою кронштейнів 6.

Між корпусом 7 камери і корпусом апарата є кільцевий простір для циркуляції утфелю.



a



б

Рис. І. 49 Вакуум-апарат ПВА-400:
a – загальний вид; *б* – гріюча камера

Кристалізатор-охолоджувач РЗ-ОКО (рис. І.50) являє собою горизонтальну напівциліндричну ємність із корпусом 1 і двома торцевими стінками 2. Всередині ємності змонтована ванна 3, яка виготовлена з харчової нержавіючої сталі. Міжстінний простір 4 являє собою сорочку для холодної води. Всередині ванни в підшипниках ковзання 5 закріплені кінці вала шнекової або рамної мішалки 6. Обертання мішалки забезпечується електродвигуном 7 через редуктор 8 і клиноремінну передачу 9.

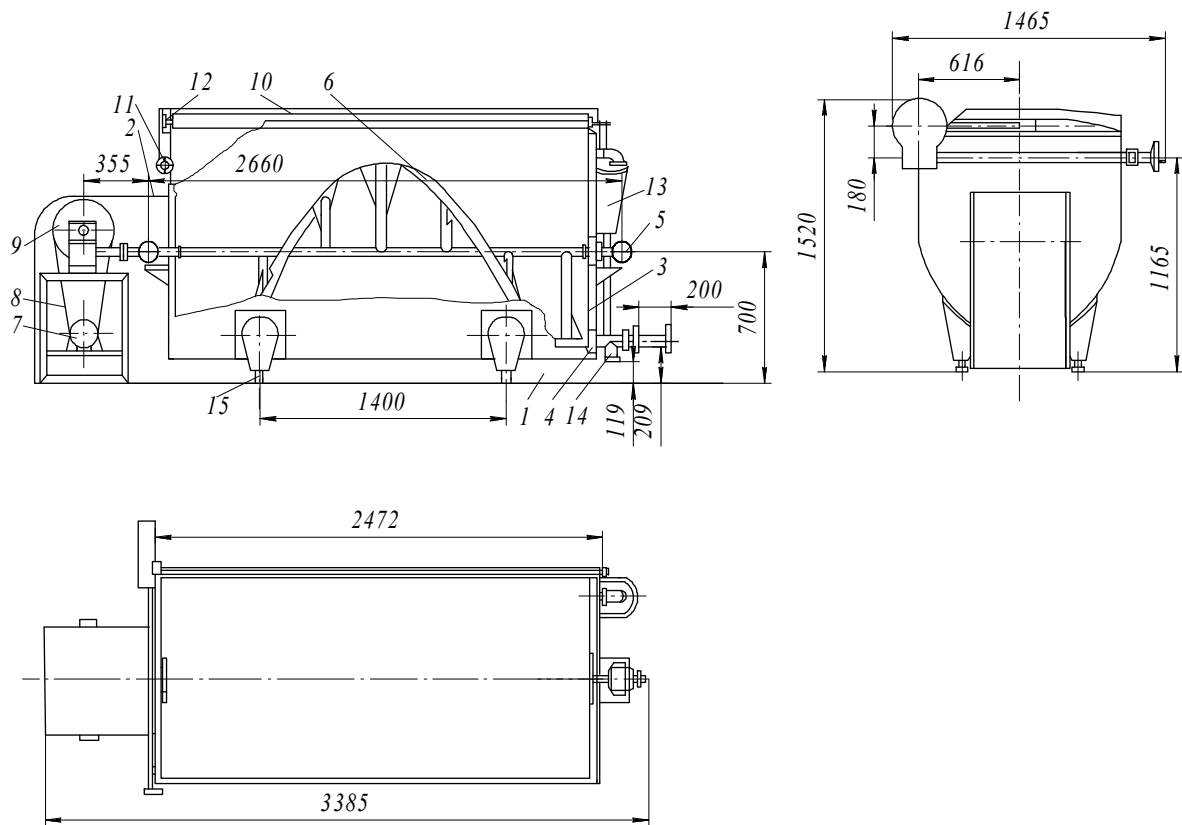


Рис. I.50 Кристалізатор-охолоджувач РЗ-ОКО

Кристалізатор закритий кришкою 10, що відкривається за допомогою штурвала 11 через черв'ячний редуктор 12.

Завантаження сиропу (згущеної сироватки) здійснюються через завантажувальний отвір 13, а вивантаження – через кран 14. Подача води в сорочку 4 регулюється вентилем 15.

Залежно від умов виробництва ємність може бути із закритою або відкритою кришкою 10. Мішалка 6 переміщає кристали вздовж корпуса й підтримує їх у зваженому стані, сприяючи утворенню добре сформованих і порівняно однорідних по розмірах кристалів.

I.7 Розчинення твердих речовин

Розчинення — це перехід твердої частини речовини в розчин. У багатьох випадках розчинення супроводжує масообмінні та теплові процеси — абсорбцію та адсорбцію, екстрагування, варіння та ін.

Процес розчинення має три послідовні стадії: перехід молекул розчинника із рідкої фази до поверхні твердого тіла; перехід молекул твердого тіла в рідину на межі розділу фаз; перехід молекул розчиненої речовини від поверхні розділу фаз в об'єм рідини.

Для інтенсифікації процесу розчинення необхідно подрібнювати тверду речовину, щоб збільшилася її поверхня дотику з рідиною, оскільки процес розчинення буде тим ефективніший, чим більша питома поверхня частинок твердої речовини.

Коефіцієнт масовіддачі залежить від розміру і форми твердих частинок тіла.

Він збільшується при збільшенні швидкості руху твердих частинок у рідині.

Рівновага в системах тверде тіло–рідина настає, коли розчин стає насиченим. Так як насичення в першу чергу досягають шари рідини, що контактують з твердою речовиною, та швидке видалення цих шарів в загальну масу розчину є необхідною умовою інтенсифікації процесів. В зв'язку з цим апарати періодичної дії оснащують механічними мішалками, циркуляційними насосами використовують пневматичне перемішування. В апаратах безперервної дії крім механічного перемішування створюють умови високих відносних швидкостей рідини і твердих частинок. Крім цього, процес розчинення залежить і від різниці концентрації розчинника в об'ємі та пограничному шарі твердої речовини.

У промисловості застосовують розчинення в двокомпонентних системах:

«тверда речовина — рідина» (розчинення соляної руди в воді);

«рідина — рідина» — (розчинення ефірних масел у спирті при лікеро-горілчаному виробництві);

«газ — рідина» (розчинення CO_2 при виробництві мінералізованих вод).

Багатокомпонентні системи розчинення застосовують у таких технологічних процесах, як, наприклад, виробництво фруктових газованих напоїв, де проводять розчинення фруктових соків, цукрового сиропу і вуглекислоти у воді. У таких випадках процес ускладнюється, оскільки необхідно експериментально визначити температурний режим розчинення. З підвищенням температури прискорюється процес розчинення твердих речовин і рідин, а газів зменшується, отже, необхідно розробити технологічний регламент з оптимальними температурою і тиском для досягнення найкращої ефективності виробництва.

Апарати для розчинення бувають періодичної та безперервної дії. Принцип роботи розчинника безперервної дії показано на рис. І.51.

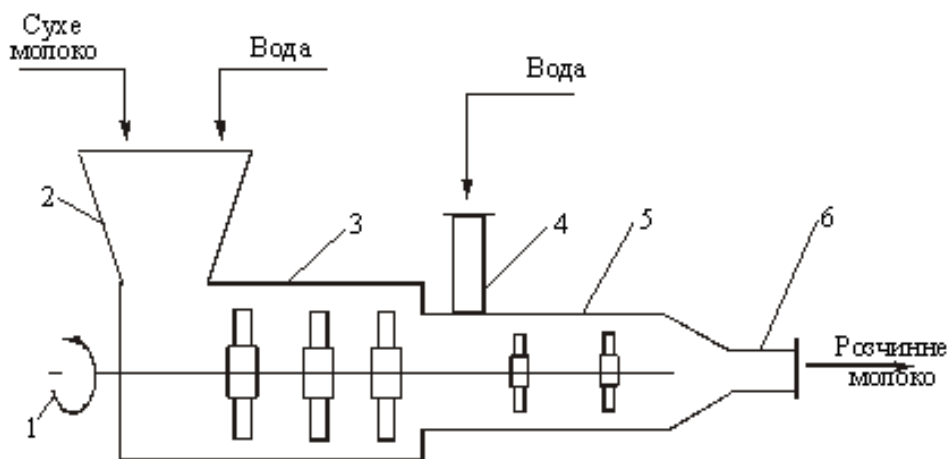


Рис. І. 51 Схема апарата безперервної дії для розчинення сухого молока:

1 – мішалка; 2 – завантажувальний бункер; 3 – перший циліндричний корпус; 4 – патрубок; 5 – другий циліндричний корпус; 6 – патрубок

Апарат для розчинення сухого молока має ступеневу циліндричну форму, має привод 1, завантажувальний бункер 2, патрубки для подавання води 4 і виходу молока. Сухе молоко і вода подаються в завантажувальний бункер 2, звідки надходять у перший циліндр 3. Внаслідок інтенсивного перемішування відбувається рівномірний розподіл часточок сухого молока у воді, їх набухання і розчинення.

Далі продукт переходить у другий циліндр 5, куди подається така кількість води, щоб розчинене молоко мало необхідну кількість сухих речовин. Готовий продукт через патрубок 6 направляється для дальшого перероблення.

В цукровому виробництві для розчинення цукру-сирцю, цукру II і III продуктів використовуються апарати, показані на рис. I.52.

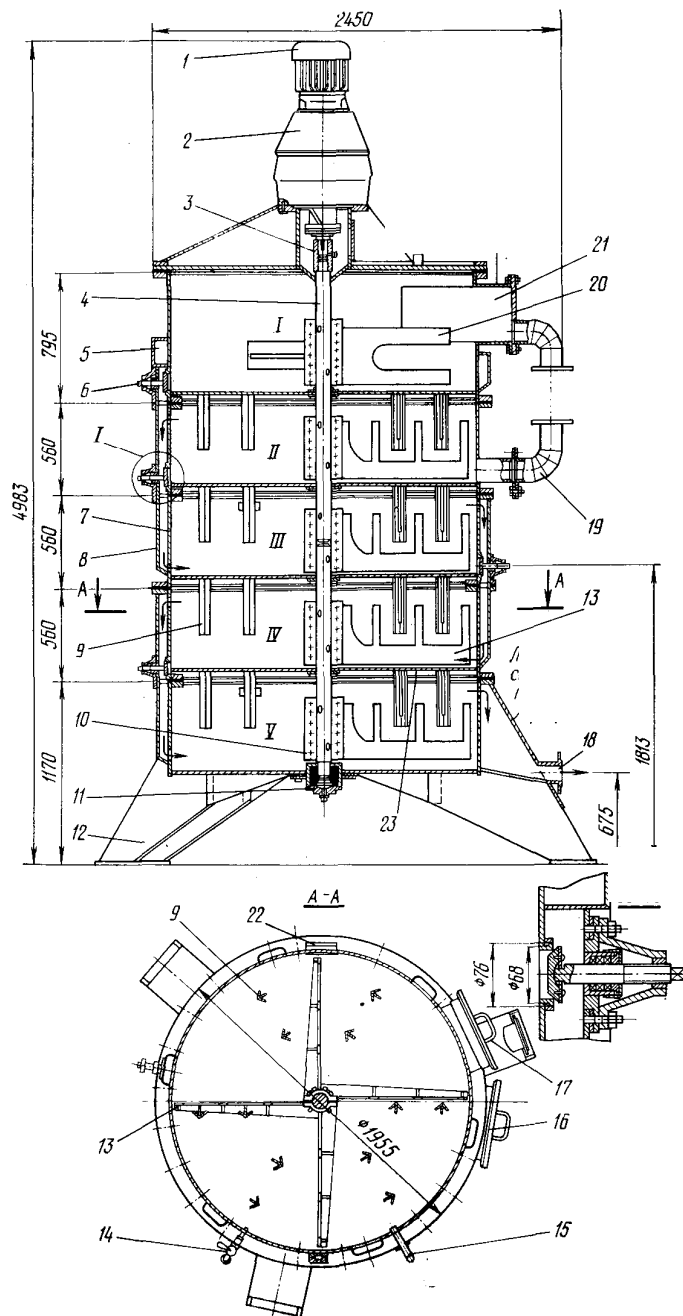


Рис. I. 52 Клеровочні мішалки

I.8 Іонообмін

Іонообмін є одним з видів хемосорбції. Він полягає в обміні іонів між розчином електроліту й твердих речовин - іонітами, нерозчинними у воді й органічних розчинниках. Існують іоніти мінерального походження (алюмосилікати, гідрат окису алюмінію, фосфат цирконію й ін.) і органічного (найчастіше - полімери), природні й синтетичні. У промисловості переважно застосовують синтетичні іонообмінні смоли (високомолекулярні сполуки) у вигляді часток сферичної форми. Вони складаються із просторової сітки (матриці) вуглеводних ланцюгів з фіксованими активними (іоногенними) групами, що надають полімеру гідрофільність. Тому що ланцюжки макромолекул «зшиті» один з одним у просторову сітку, то розчинник викликає набрякання іонообмінної смоли, ступінь якого залежить від структури полімеру, типу й концентрації активних груп, а також від сполуки розчину. При набряканні активні групи дисоціюють на рухливі протиіони й фіксовані (пов'язані з матрицею) нерухливі іони.

Швидкість процесу іонообміну залежить від швидкостей окремих його стадій: дифузії (переносу) іона B^+ у розчині до поверхні іоніту та всередині його, хімічної реакції подвійного обміну, дифузії заміщеного іона A^+ всередині іоніту до його поверхні й від останньої в розчин. Визначальними є звичайно швидкості дифузії всередині зерна іоніту. Для здійснення періодичних і безперервних процесів іонообміну використовуються ті ж конструкції апаратів і технологічні схеми, що й для адсорбції.

Метод іонообміну широко застосовується в різних галузях промисловості: для зм'якшення або знесолення води, для витягу й очищення лікарських препаратів (антибіотиків, алкалоїдів, вітамінів), для витягу кольорових і рідких металів зі скидів розчинів, для поділу близьких по властивостях елементів (рідкоземельних цирконія і гафнія, ніобія і тантала), для очищення відпрацьованих розчинів від хімічно шкідливих органічних і радіоактивних речовин і ін.

Запитання для самоперевірки до розділу I

1. Основне рівняння масопередачі.
2. Прямотечія, протитечія. Рівняння робочої лінії.
3. У чому полягає суть процесу екстракції і що є рушійною силою дифузійного процесу?
4. Які основні вимоги мають бути виконані при конструюванні дифузійних апаратів?
5. Яка класифікація дифузійних апаратів цукрового виробництва?
6. Конструкції та принцип дії екстракторів цукрового виробництва.
7. Які переваги і недоліки похилих дифузійних апаратів?
8. За яким принципом працюють екстракційні установки для отримання спиртових настоянок і морсів?
9. Яка будова і принцип дії шнекового екстрактора НД-1250?

10. Які основні параметри технічної характеристики стрічкового екстрактора МЭЗ-350?
11. Від яких параметрів залежить тривалість процесу дифундування в дифузійному апараті?
12. Яка будова і принцип дії апарату для екстракції желатину?
13. Як працює апарат для знежирення кісток?
14. Що таке дистиляція? Обладнання для проведення простої дистиляції.
15. Ректифікація сумішей. Робота ректифікаційних установок.
16. Конструкції контактних пристроїв.
17. Сушіння. Види зв'язку вологи з матеріалом.
18. Періоди процесу сушіння. Фактори, що впливають на процес сушіння.
19. Матеріальні та тепловий баланси сушарок.
20. Способи сушіння матеріалів.
21. Класифікація сушильних установок.
22. Барабанні, стрічкові сушарки.
23. Розпилювальні сушарки.
24. Сушарки зі зваженим (віброкиплячим) шаром.
25. Абсорбційні процеси. Типи абсорбційних апаратів.
26. Конструкції абсорберів: поверхневі, ротаційні насадкові, барботажні, розпилюючі.
27. Адсорбційні процеси. Конструкції адсорбційних апаратів.
28. Кристалізація. Зародження та ріст кристалів.
29. Конструкція та принцип дії вакуум-апарата ПВА-400.
30. Конструкція та принцип дії кристалізатора-охолоджувача РЗ-ОКО.
31. Розчинення твердих речовин та обладнання для проведення цих процесів.
32. Іонообмін.

II ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

II.1 Основні теоретичні відомості

Передача тепла можлива трьома способами: теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням.

Теплопровідність – це процес переносу теплоти при безпосередньому контакті тіл (частин одного тіла) з різними температурами.

Цей процес можливо розглядати як передача тепла від частинки до частинки без їх переміщення.

Конвективна передача тепла здійснюється в результаті переміщення частинок в об'ємі. Він завжди супроводжується теплообміном між частинками внаслідок теплопровідності. Конвективний теплообмін може відбуватись тільки в рідинах і газах. В залежності від причини, що викликають переміщення частинок рідини або газу, розрізняють конвективний теплообмін при вільній чи примусовій конвекції.

Вільна конвекція викликається виключно різницею густин рідини або газу в різних частинах об'єму, що вони займають внаслідок різниці температур.

Примусова конвекція – переміщення частинок рідини або газу, що проходить під дією зовнішніх сил.

Теплове випромінювання – це процес переносу теплоти у вигляді електромагнітних хвиль, що супроводжується переходом теплової енергії у випромінювання і навпаки. Цей вид теплообміну можливий між тілами різного агрегатного стану, що знаходяться в контакті, так і між такими, що знаходяться на відстані один від одного.

В техніці найчастіше зустрічається комбінація способів передачі тепла. У чистому вигляді вони зустрічаються дуже рідко.

Є два випадки теплообміну: тепловіддача і теплопередача. Тепловіддача – процес теплообміну між твердим тілом і контактуючою з ним рідиною (або газом). Теплопередачею називають процес теплообміну між рідинами, газами, рідиною і газом, що розділені стінкою.

Кількість тепла, що проходить через дану поверхню за час τ є тепловим потоком. Тепловий потік, що проходить за одиницю часу через 1 м^2 поверхні називається питомим тепловим потоком або густиною теплового потоку.

Рівняння Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності.

Температура в кожній точці тіла є функцією координат точки і часу. Сукупність миттєвих значень температури в усіх точках тіла в кожний момент часу утворює температурне поле.

Всередині тіла завжди є множина точок з однаковою температурою, що утворюють ізотермічну поверхню. Зміна температури в тілі максимальна по но-

рмалі до ізотермічної поверхні, а величина цієї зміни, що приходиться на одиницю довжини нормалі $\frac{dt}{dn}$ є температурним градієнтом.

$$\frac{dt}{dn} = grad t$$

Кількість тепла dQ (Дж), що передається через площу F ізотермічної поверхні тіла за час $d\tau$ виражається основним законом теплопровідності (закон Фур'є).

$$dQ = -\lambda \cdot F \cdot \frac{\partial t}{\partial n} d\tau$$

Знак « $-$ » показує, що температура тіла в напрямі переносу тепла падає. Коефіцієнт λ називається коефіцієнтом теплопровідності (Дж/м·с·К), (Вт/м·К). Він показує, яка кількість тепла передається за 1с через 1м² поверхні тіла при градієнті температур 1°С на 1м довжини нормалі ізотермічної поверхні.

Величина λ , що характеризує можливість тіла проводити тепло, залежить від природи речовини. Найбільше значення теплопровідності у металів ($\lambda_{\text{час}} = 2,3 - 418 \text{ Вт/мК}$). Коефіцієнти теплопровідності не металічних матеріалів в межах $0,02 - 3 \text{ Вт/мК}$.

Коефіцієнти теплопровідності рідин лежать в межах $0,09 - 0,7 \text{ Вт/мК}$, а газів $- 0,006 - 0,6 \text{ Вт/мК}$.

Основне рівняння конвективного теплообміну.

За основу при вивченні процесу конвективного теплообміну приймають рівняння Ньютона:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{н}}) \cdot F$$

де F – поверхня твердого тіла,

$t_{\text{н}}$ – температура поверхні тіла,

$t_{\text{с}}$ – температура середовища,

α – коефіцієнт тепловіддачі (Вт/м² град).

Коефіцієнт тепловіддачі виражає кількість тепла, що віддається одиницею поверхні в одиницю часу при різниці температур 1 градус.

Конвективна тепловіддача є результатом двох паралельно протікаючих процесів переносу тепла: власне теплопровідності і теплообміну, зумовленого рухом рідини або газу (конвекцією). При всіх умовах інтенсивність теплообміну, що виражається коефіцієнтом тепловіддачі α зв'язана з характером руху рідини або газу. Тому розрізняють тепловіддачу при ламінарному чи турбулентному режимах руху.

В інженерній практиці через обмежені можливості теоретичного знаходження коефіцієнтів тепловіддачі α користуються формулами, отриманими при узагальненні експериментальних даних на основі теорії подібності. В загальному вигляді ці формули виражаються наступною залежністю:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, \delta)$$

де Re – критерій Рейнольда;

Pr – критерій Прандтля;

Gr – критерій Грасгофа;

δ – безрозмірний симплекс (відношення характерних геометричних розмірів).

Теплообмін випромінюванням.

Хвилі з довжиною $0,8 \dots 800 \mu\text{м}$ (інфрачервоні), виникнення яких обумовлено температурою і оптичними властивостями випромінюючого тіла є тепловими, а явища їх розповсюдження – теплове випромінювання. Властивість теплового випромінювання і поглинання мають всі тіла з температурою вище 0°К , при чому зі зростанням температури тіла, а відповідно його внутрішньої енергії збільшується і інтенсивність випромінювання тіла з однаковою температурою стільки тепла, скільки поглинають, тому вони зберігають свої температури.

Тіло, яке повністю поглинає падаючу на нього променеву енергію, перетворюючи її в теплову, називається абсолютно чорним. Якщо тіло повністю відбиває променеву енергію – то воно називається дзеркальним.

Сумарна питома кількість енергії, що випромінюється абсолютно чорним тілом E_s підпорядковується закону Стефана-Больцмана:

$$E_s = C_s \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4,$$

де C_s – коефіцієнт випромінювання, $C_s = 5,7 \frac{\text{Адж}}{\text{м}^2 \cdot \text{Е}^4}$

T – абсолютна температура.

Теплопередача через стінку.

При передачі тепла від нагрітої рідини (газу, пари) до холодної через розділяючу їх тверду стінку (теплопередача) кількість тепла може бути постійною або змінюватись в часі. В першому випадку процес теплопередачі є сталим, в другому – не сталим.

Якщо стінка (рис. П.1) товщиною δ з твердого матеріалу, що має коефіцієнт теплопровідності λ омивається з однієї сторони потоком нагрітої рідини з температурою $t_r = \text{const}$, а з другої холодною рідиною з температурою $t_x = \text{const}$, то в результаті теплообміну на самих поверхнях стінки встановлюються деякі температури θ_1 і θ_2 .

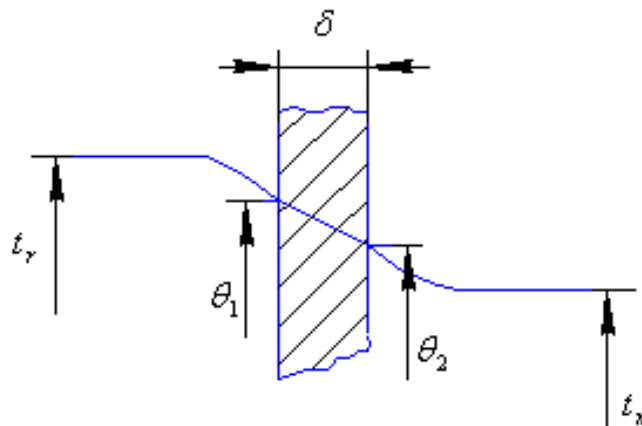


Рис. П.1 Теплообмін через стінку

При сталому процесі теплообміну через стінку проходить кількість тепла Q , яке вона сприймає від гарячого середовища (коефіцієнт тепловіддачі α_1) і віддає холодному середовищу (коефіцієнт тепловіддачі α_2).

$$Q = \alpha_1 F(t_m - \theta) = \frac{\lambda}{\delta} F(\theta_1 - \theta_2) = \alpha_2 F(\theta_2 - t_x),$$

враховуючи, що $t_m - \theta_1 = \frac{Q}{\alpha_1 F}$

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{Q}{\frac{\lambda}{\delta} F},$$

$$\theta_2 - t_x = \frac{Q}{\alpha_2 F}.$$

Складуючи останнє рівняння можна отримати вираз:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F(t_m - t_x) = KF(t_m - t_x),$$

де $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ – коефіцієнт теплопередачі.

Величина обернена до коефіцієнту теплопередачі називається термічним опором.

У випадку, якщо потрібно тепло ізолювати апарат від втрат тепла зовнішні поверхні апаратів і трубопроводів покривають одним або кількома шарами теплоізоляційних матеріалів, що мають низький коефіцієнт теплопровідності (λ нижче 0,2 Вт/м·К).

II.2 Класифікація теплообмінних апаратів

Теплообмінними апаратами називають пристрої для тепла від гарячих теплоносіїв до холодних.

Відповідно до свого призначення теплообмінні апарати називають:

- підігрівниками,
- холодильниками,
- випарювачами (випарними апаратами),
- конденсаторами,
- дистиляторами,
- сублиматорами і т.д.

За способом передачі тепла розрізняють теплообмінні апарати:

- поверхневі (передача тепла відбувається через розділяючу стінку);
- змішувальні (тепло передається при безпосередньому контакті середовищ).

Поверхневі апарати поділяються на:

- рекуперативні (тепло від гарячого до холодного теплоносія передається через розділяючу стінку – теплообмінну поверхню),

- регенеративні (теплоносії поперемінно контактують з однією і тією ж стінкою). При проходженні гарячого теплоносія стінка нагрівається, а при проходженні холодного – віддає тепло.

II.3 Рекуперативні теплообмінні апарати

Найпростішим теплообмінним апаратом є ємність, що охоплена нагрівальною або охолоджуючою рубашкою (рис. II.2). В кільцевому просторі циркулює відповідний теплоносій.

Для інтенсифікації теплообміну, а часто по необхідності технологічного процесу такі апарати оснащують механічними мішалками, а для забезпечення більшої поверхні теплообміну апарати можуть бути оснащені всередині спіральними змійовиками.

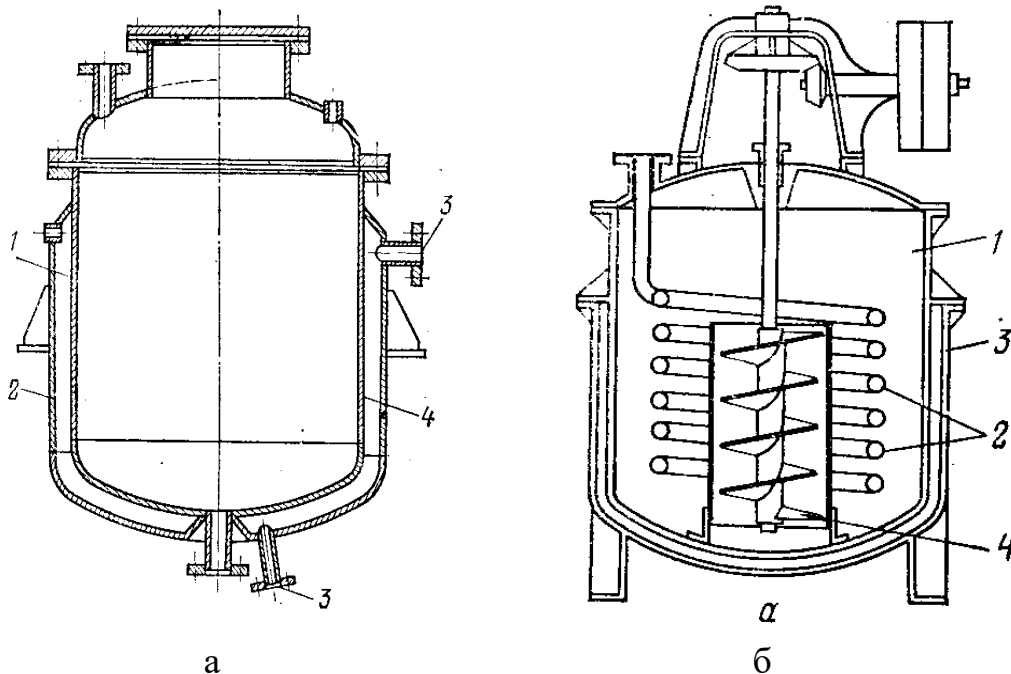


Рис. II .2 Апарати з:

а) теплообмінною сорочкою: 1 – апарат; 2 – сорочка; 3 – патрубки для входу і виходу теплоносія; 4 – теплова сорочка; б) зі змієвиком: 1 – апарат; 2 – спіральні змієвики; 3 – теплова сорочка; 4 – мішалка

Теплообмінники труба в трубі (рис. II.3) складаються з ряду співвісних трубок різних діаметрів. Один теплоносій рухається по внутрішній трубці, а другий – по кільцевому каналу між трубками.

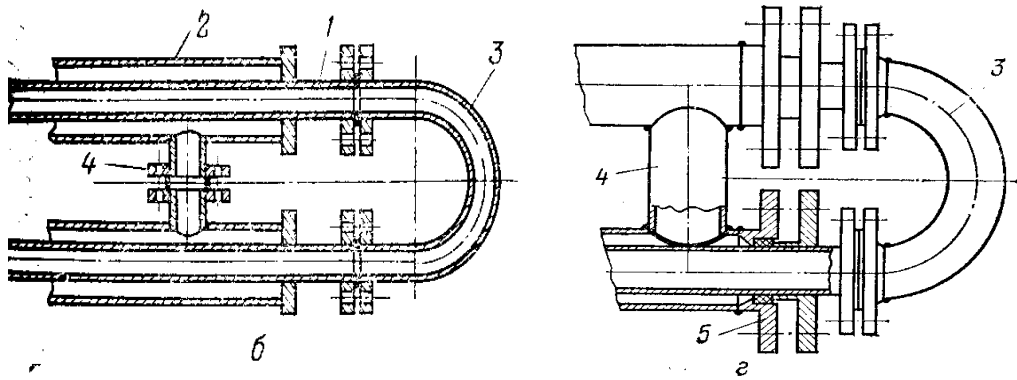


Рис. П. 3 Теплообмінник труба в трубі:
1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3 – калач;
4 – з'єднувальний патрубок; 5 – сальник.

Найбільше розповсюдження отримали кожухотрубні теплообмінні апарати, що використовуються для теплообміну між потоками в різних агрегатних станах. Апарат (рис. П. 4) складається з пучка труб, що розміщені всередині циліндричного корпусу. Трубки завальцовані в двох трубних решітках. По трубках рухається, як правило, той потік, в якому є зважені тверді частинки, знаходиться під тиском або має агресивні властивості.

Так як сумарна площа живого перерізу труб значно менша перерізу між трубного простору, то при однакових об'ємних витратах теплоносіїв коефіцієнт тепловіддачі зі сторони між трубного простору нижчий. Для ліквідації такої диспропорції збільшують швидкість теплоносія шляхом розміщення всередині між трубного простору різних перегородок (рис. П.5).

Для подовження шляху теплоносіїв з метою збільшення їх швидкостей інтенсифікації теплообміну використовують двохходові і багатоходові теплообмінні апарати.

Двохходовою горизонтальний теплообмінник типу Н (рис. П.5) складається з циліндричного звареного кожуха 8, розподільної камери 11 і двох кришок 4. Трубний пучок утворений трубами 7, що закріплені у двох трубних решітках 3. Трубні решітки приварені до кожуха. Кришки, розподільна камера й кожух з'єднані фланцями. У кожусі й розподільній камері виконані штуцери для введення й виводу теплоносія з трубного (штуцера 1, 12) і міжтрубного (штуцера 2, 10) просторів. Перегородка 13 в розподільній камері утворює ходи теплоносія по трубах. Для герметизації вузла з'єднання поздовжньої перегородки з трубними решітками використана прокладка 14, покладена в паз грат 3.

Оскільки інтенсивність тепловіддачі при поперечному обтіканні труб теплоносієм вища, ніж при поздовжньому, у міжтрубному просторі теплообмінника встановлені зафіксовані стяжками 5 поперечні перегородки 6, що забезпечують зигзагоподібний по довжині апарата рух теплоносія в міжтрубному просторі. На вході теплоносія в міжтрубний простір передбачений відбійник 9 — кругла або прямокутна пластина, що охороняє труби від місцевого ерозійного зношування.

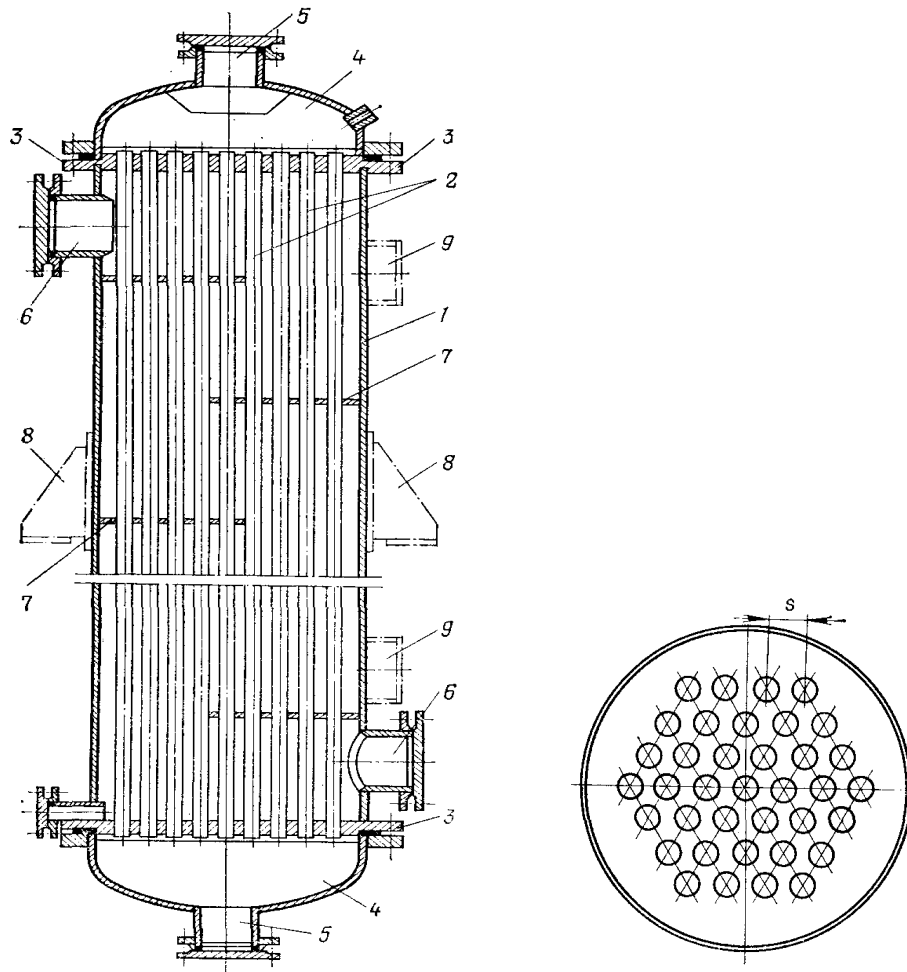


Рис. П.4 Кожухотрубний теплообмінний апарат:

1 – корпус; 2 – труби; 3 – трубні решітки; 4 – кришка; 5 – штуцери для входу і виходу із трубного простору; 6 – штуцери для входу і виходу з між трубного простору; 7 – поперечні перегородки міжтрубного простору; 8, 9 – опорні лапи відповідно при вертикальному і горизонтальному розташуванні апарату

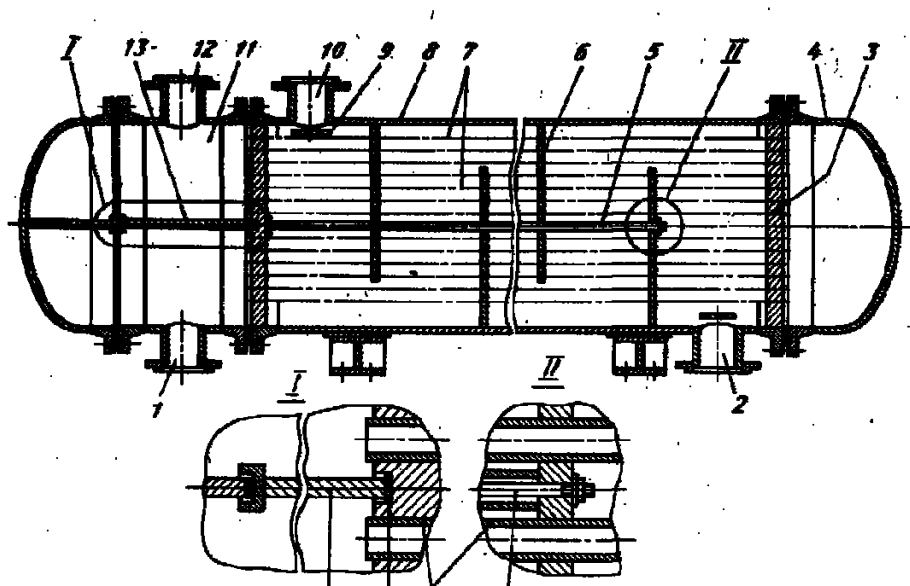


Рис. П.5 Двохходовой горизонтальний теплообмінник типу Н

Теплообмінники з температурним компенсатором на кожусі

Якщо температурні напруги, що виникають у стінках теплообмінника або трубках, виявляються більшими, то необхідно передбачати температурну компенсацію (рис. П.6).

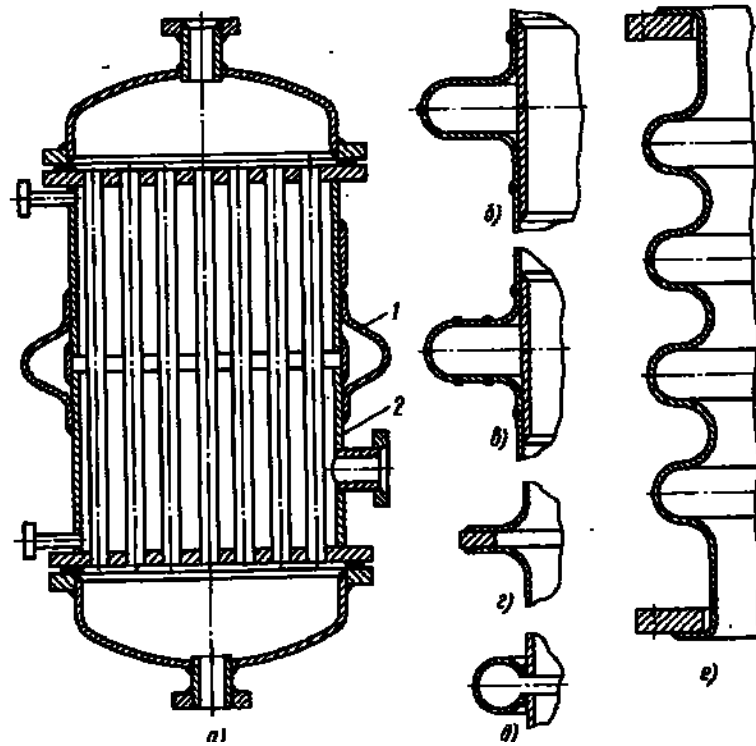


Рис. П.6 Теплообмінник типу ДО - з лінзовим компенсатором

У цьому апараті температурні деформації компенсуються осьовим стиском або розширенням компенсатора. Теплообмінники з лінзовими компенсаторами застосовують при невеликих температурних деформаціях (не більше 13-15 мм) і невисоких тисках у міжтрубному просторі (не більше 0,5 МПа).

Для круглих елементів апаратів, діаметр яких перевищує 100 мм, звичайно застосовують лінзові компенсатори, що складаються з однієї й більше лінз. Лінзи виконують штампованими або з кільцевого тора. Одна лінза компенсує невеликі температурні деформації (4...5 мм), набір лінз (не більше чотирьох) дозволяє компенсувати деформації до 15 мм.

Лінзові компенсатори застосовують у вертикальних і горизонтальних апаратах і трубопроводах при надлишковому тиску, що становить не більше 1,6 МПа.

Застосування кожухотрубних теплообмінників з температурним компенсатором на кожусі (лінзовий компенсатор) обмежено гранично припустимим тиском у кожусі, рівним 1,6 МПа. При більшому тиску в кожусі (1,6...8,0 МПа) варто застосовувати теплообмінники з плаваючою головкою або з U-подібними трубами

Кожухотрубні конденсатори із плаваючою головкою (держстандарт 14247-79) відрізняються від аналогічних теплообмінників більшим діаметром штуцера для підведення пари в міжтрубний простір. Припустимий тиск середовища в

трубах до 1,0 МПа, у міжтрубному просторі - від 1,0 до 2,5 МПа. Ці апарати можуть бути двох-, чотирьох- і шестиходовими по трубному просторі. Діаметр кожуха від 600 до 1400 мм, висота труб 6,0 м.

Теплообмінники з постійним діаметром по всій довжині зручні при зборці. Зборка теплообмінників зі змінним по довжині діаметром (рис. II.7) утруднена, тому що плаваючу головку (по габаритних розмірах) у зібраному виді неможливо помістити в кожух. Теплообмінники з постійним діаметром не мають цього недоліку, тому що плаваючу головку можна збирати й розбирати поза і всередині кожуха. Крім того, теплообмінники з постійним діаметром по довжині переважніше теплообмінників зі змінним діаметром тому, що при очищенні їх міжтрубного простору не доводиться розбирати

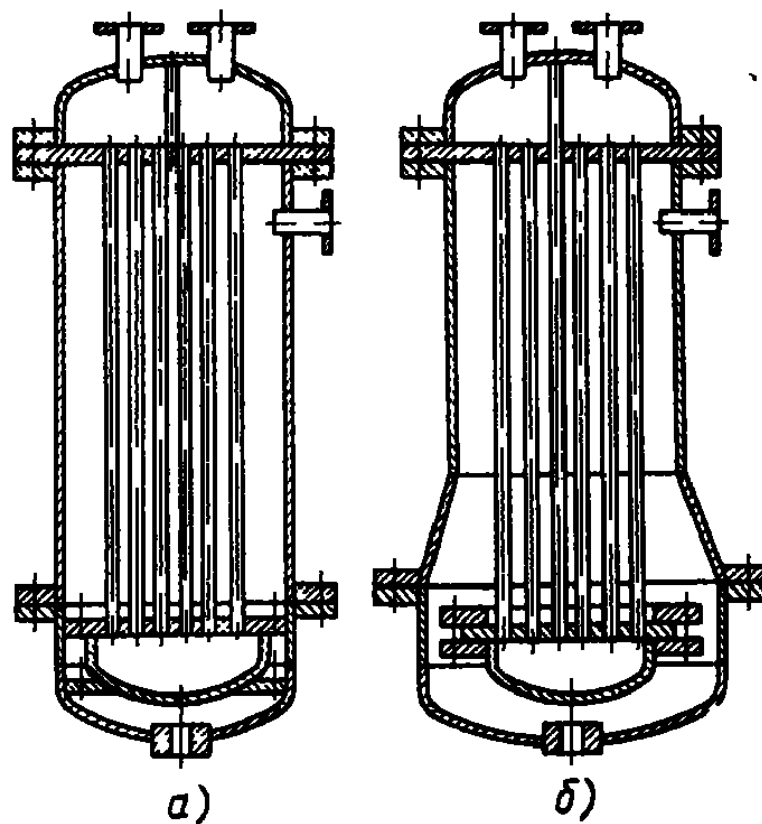


Рис. II.7 Теплообмінники з плаваючою голівкою

Для ефективної роботи теплообмінника бажано, щоб середня частина була виконана з найменшим діаметром; при цьому забезпечується найбільша швидкість продукту й, отже, створюються оптимальні умови для теплопередачі. Це і є причиною виготовлення теплообмінників зі змінним діаметром по довжині. Однак зменшувати діаметр середньої частини апарата має сенс лише при значних розмірах плаваючої головки. При застосуванні малогабаритної плаваючої головки відпадає необхідність у виготовленні теплообмінників змінного діаметра. Малогабаритна плаваюча головка вільно розташовується у найменшому перетині кожуха.

Роторні плівкові апарати.

Перемішування стікаючої плівки значно інтенсифікує як процеси теплообміну між плівкою і стінкою апарату, так і рідиною та газом. Із всієї різноманітності конструкцій роторних плівкових апаратів найбільш часто використовуються апарати з шарнірно закріпленими лопатями (рис. П. 8). Лопаті виготовляються з корозійностійких сталей. При необхідності кромки лопатей, які контактують зі стінкою апарату виготовляють з фторопласта або кольорового металу. Принцип дії роторного плівкового апарату ясний з приведенного рисунку. Рідина, що подається зверху плівкового апарату обертаючимися лопатями розподіляється по внутрішній поверхні апарату і стікає по ній вниз. Лопаті турбулізують шар рідини, що стікає, внаслідок чого значно інтенсифікуються процеси теплообміну між передаючою стінкою та рідиною.

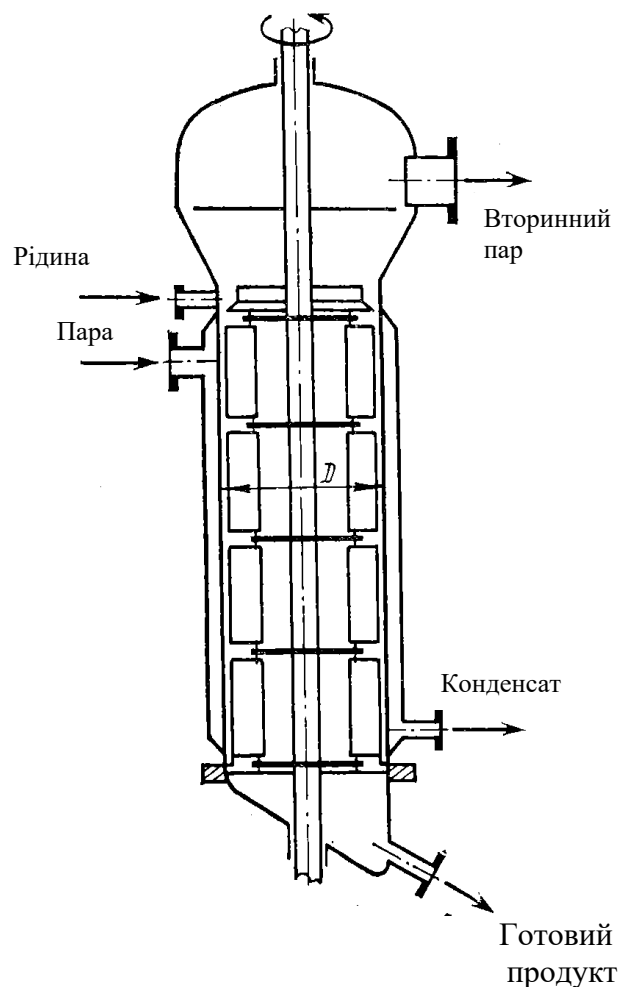


Рис. П.8 Роторний плівковий апарат

Теплообмінні апарати з електричним обігрівом.

Установки із трубчастими нагрівальними елементами показана на рис. П.9. На відміну від електронагрівальних елементів, для яких як електроізоляційні матеріали застосовують кераміку, слюду, сучасні трубчасті електричні нагрівачі (ТЕН) являють собою металевий патрон - звичайно трубу з міді, латуні, вуглецевої сталі або аустенітної хромонікелевої сталі X18H10T, всередині якої запресована в наповнювачі спіраль із ніхромового дроту. Як наповнювач застосо-

вуються плавлений окис магнію (периклаз), окис алюмінію (електрокорунд) або кварцовий пісок. Наповнювач служить, з одного боку, електроізоляцією спіралі від металевої труби, а з іншого - провідником тепла.

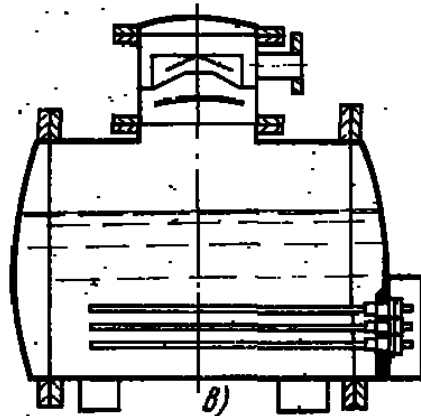


Рис. П.9 Теплообмінний апарат з електричним обігрівом

Спіральні теплообмінні апарати.

Широко використовуються спіральні теплообмінні апарати, які навиті з рулонного металу навколо центральної перегородки (рис. П. 10). З торців витки щільно закриті торцевими кришками. Теплоносії рухаються по спіральним каналам в протилежних напрямках. Перевагою цих апаратів є компактність, невеликі витрати тепла в навколишнє середовище; можуть використовуватись для нагрівання рідин з твердими домішками, високов'язких рідин.

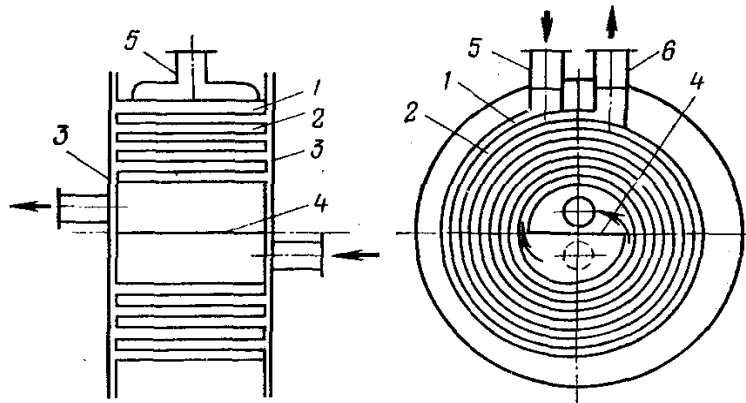


Рис. П.10 Спіральний теплообмінний апарат:
1, 2 – спіральні канали; 3 – кришка; 4 – перегородка (кern);
5, 6 – вхід і вихід теплоносіїв

Великою компактністю відрізняється пластинчастий теплообмінник. Їх питома поверхня досягає $1500 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Апарат складається з набору гофрованих пластин, що розділені ущільнюючими прокладками і утворюють ізольовані канали для зустрічного руху теплоносіїв (рис. П.11).

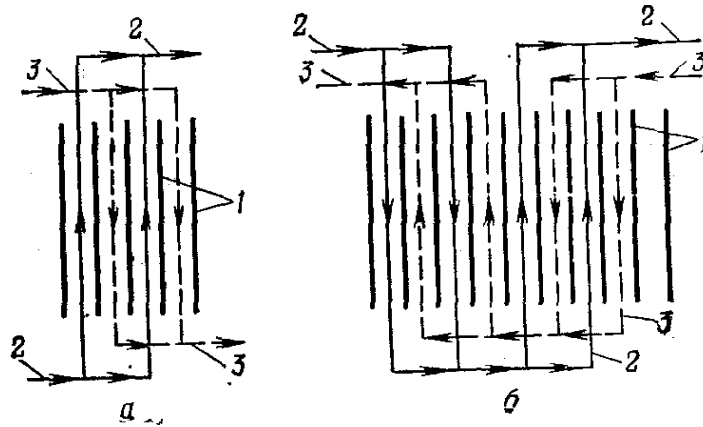


Рис. П.11 Розбірний пластинчатий теплообмінник:

а) паралельні потоки: 1 – пластини; 2 – перший теплоносіє; 3 – другий теплоносіє; б) паралельно – послідовні потоки: 1 – пластини; 2 – перший теплоносіє; 3 – другий теплоносіє.

Пластинчаті теплообмінні апарати.

Пластинчаті теплообмінники являють собою апарати, теплообмінна поверхня яких утворена набором тонких штампованих пластин з гофрованою поверхнею. Їх розділяють по ступені доступності поверхні теплообміну для механічного очищення й огляду на розбірні, напіврозбірні й нерозбірні (зварені).

Найбільше широко застосовують розбірні пластинчасті теплообмінники, у яких пластини відділені одна від іншої прокладками. Монтаж і демонтаж цих апаратів здійснюють досить швидко, очищення теплообмінних поверхонь вимагає незначних витрат праці.

Основні розміри й параметри найпоширеніших у промисловості пластинчастих теплообмінників визначені ГОСТ 15518–83. Їх виготовляють із поверхнею теплообміну від 2 до 600 м² залежно від типорозміру пластин; ці теплообмінники використають при тиску до 1,6 МПа й температурі середовищ від – 30 до +180° С для реалізації теплообміну між рідинами й парами (газами) як холодильники, підігрівники і конденсатори.

Серійні розбірні пластинчасті теплообмінники можуть працювати із забрудненими робочими середовищами при розмірі твердих включень в них не більше 4 мм.

Розбірні пластинчасті теплообмінники виготовляють у п'ятьох виконаннях, у тому числі на консольній рамі (виконання 1), на двохопорній рамі (виконання 2), на трьохпорній рамі (виконання 3).

Розбірний пластинчастий теплообмінник на двохопорній рамі (виконання 2) показаний на рис. П. 12. Апарат складається з ряду теплообмінних пластин 4, розміщених на верхній і нижній горизонтальних штангах 3. Кінці штанг закріплені в нерухомій плиті 2 і на стійці 7. Натискною плитою 11 і гвинтом 8 пластини стискаються та утворюють теплообмінну секцію.

Теплообмінні пластини мають чотири прохідних отвори (а, б, в, г), які утворюють дві ізольовані одна від іншої системи каналів. Для ущільнення пластин і каналів є гумові прокладки. Прокладка б покладена в паз по контурі пластини.

тини і охоплює два отвори на пластині, через які відбуваються підвід та відведення теплоносія в канал між суміжними пластинами, а прокладки 5 герметизують два інших отвори на пластині. Для підведення теплоносіїв в апарат і виводу призначені штуцера 1, 9, 10, 12, що розташовані на нерухомій і рухомій плитах.

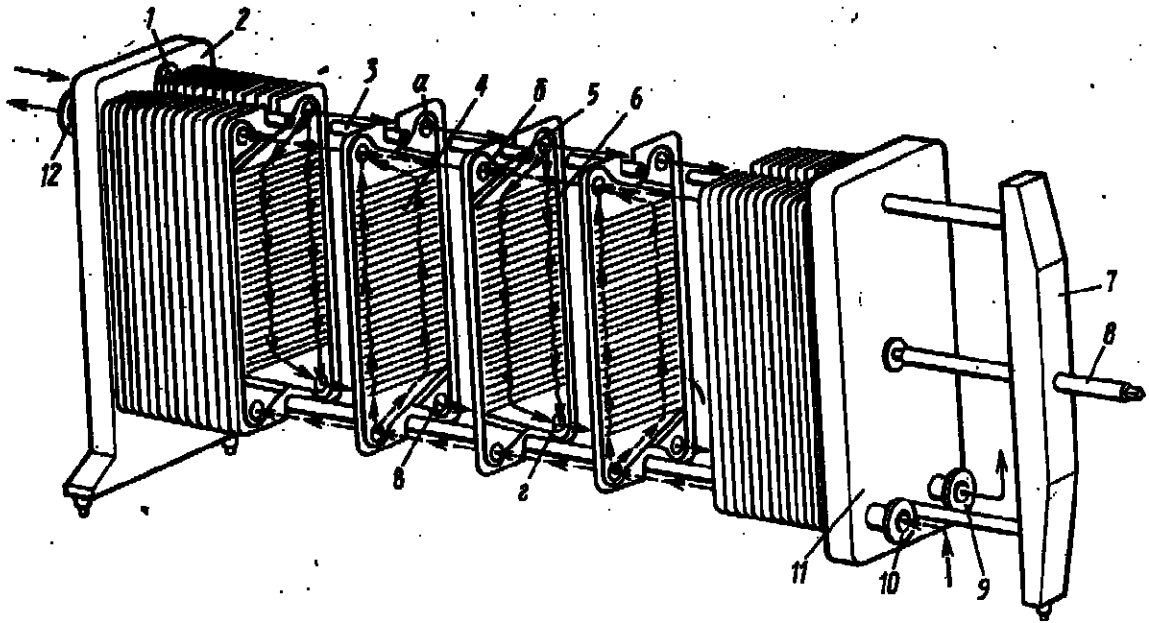


Рис. П. 12 Розбірний пластинчастий теплообмінник на двохопорній рамі

П.4 Регенеративні теплообмінні апарати

Корпуси регенеративних теплообмінників виготовляють з вогнетривкої цегли або листового металу. Апарат заповнюється твердою насадкою (цеглою, шматками шамоту і т.д.). Спочатку апарат нагрівається гарячим теплоносієм, а після нагріву переключається на холодний, який відбирає тепло від гарячої насадки, охолоджуючи її при цьому.

Регенератори часто працюють в парі – коли через один протікає гарячий газ, що віддає тепло насадці, то через інший – холодний газ, що забирає тепло від насадки. Переключення регенераторів відбувається автоматично.

П.5 Змішуючі теплообмінні апарати

Теплообмін між рідинами, газами протікає при безпосередньому їх контакті. Інтенсивність теплообміну найбільша.

Для змішування рідин використовують об'ємні апарати, що мають різні механічні мішалки або інжектори (рис. П.13)

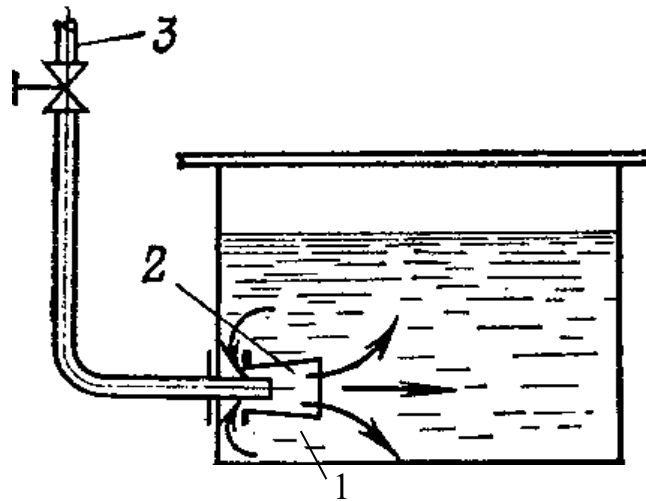


Рис. П.13 Змішувальний інжекторний апарат:
1 – ємкість; 2 – інжекторний апарат; 3 – паропровід

Нагрівання рідин конденсацією пари проводять шляхом вдування пари через барботери (рис. П.14).

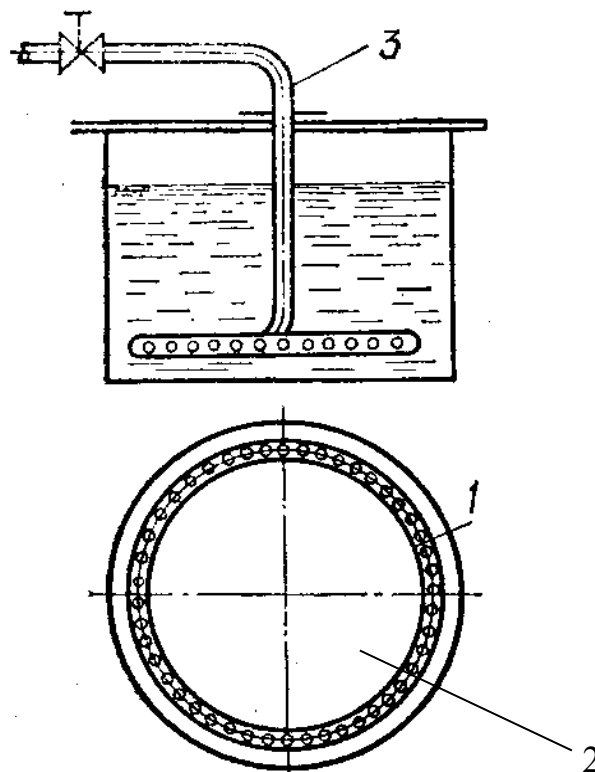


Рис. П.14 Змішувальний барботерний апарат:
1 – барботер; 2 – ємкість; 3 – паропровід

Для нагрівання рідин використовують контакт з гарячим газом, а для охолодження – з холодним газом. Процес відбувається в вертикальних циліндричних апаратах, що називаються скруберами. Для збільшення поверхні контакту фаз скрубери часто заповнюють різними типами насадок. Розподіляють рідину на мількі струмінки або використовують розпилюючі форсунки.

Для конденсації парів їх безпосередньому контакті з рідиною використовують конденсатори змішування (рис. П.15).

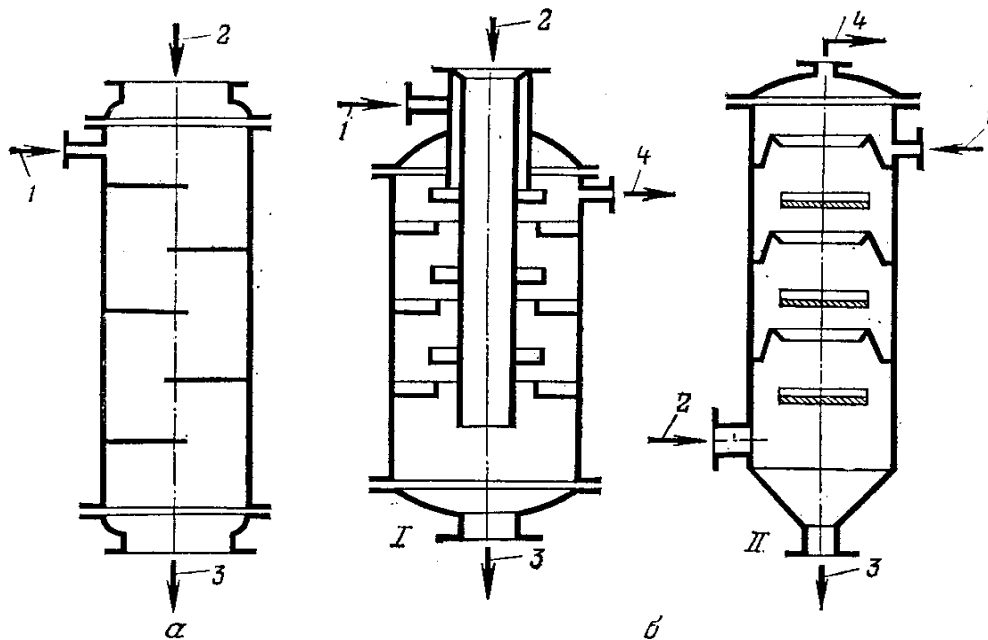


Рис. П.15 Конденсатори змішування:

а – прямиотечій ний апарат з сегментними перегородками; б – протитечійні апарати з: I – кільцевим перегородками; II – з решітчастими перегородками:

1 – вхід охолоджуючої води; 2 – вхід пари; 3 – вихід суміші охолоджуючої води та конденсату; 4 – вихід несконденсованої парогазової суміші

Конденсатори змішування можуть бути прямиотечійні або протитечійні. Рідина розподіляється по ряду перегородок різної форми.

У вологих конденсаторах охолоджуючу воду, конденсат і гази, що не конденсуються (повітря) відводять із нижньої частини апарата за допомогою вакуумного насосу, у сухих охолоджувальну воду з конденсатом видаляють з нижньої частини апарата, а повітря відсмоктується вакуум насосом з верхньої частини.

На рис. П.16 зображений вологий прямиотечій ний конденсатор змішування. У корпус 1 конденсатора через патрубок 3 на кришці 2 вводиться пара, що конденсується. Охолоджуюча вода подається через розпилююче сопло 4. Нагріта вода разом з конденсатом і повітрям виводиться через патрубок 5 насосом 6.

Застосування апаратів повітряного охолодження як холодильників-конденсаторів має ряд переваг:

- виключаються витрати на підготовку й перекачування води;
- знижується трудомісткість і вартість ремонтних робіт; не потрібно спеціального очищення поверхні труб;
- полегшується регулювання процесу охолодження й ін.

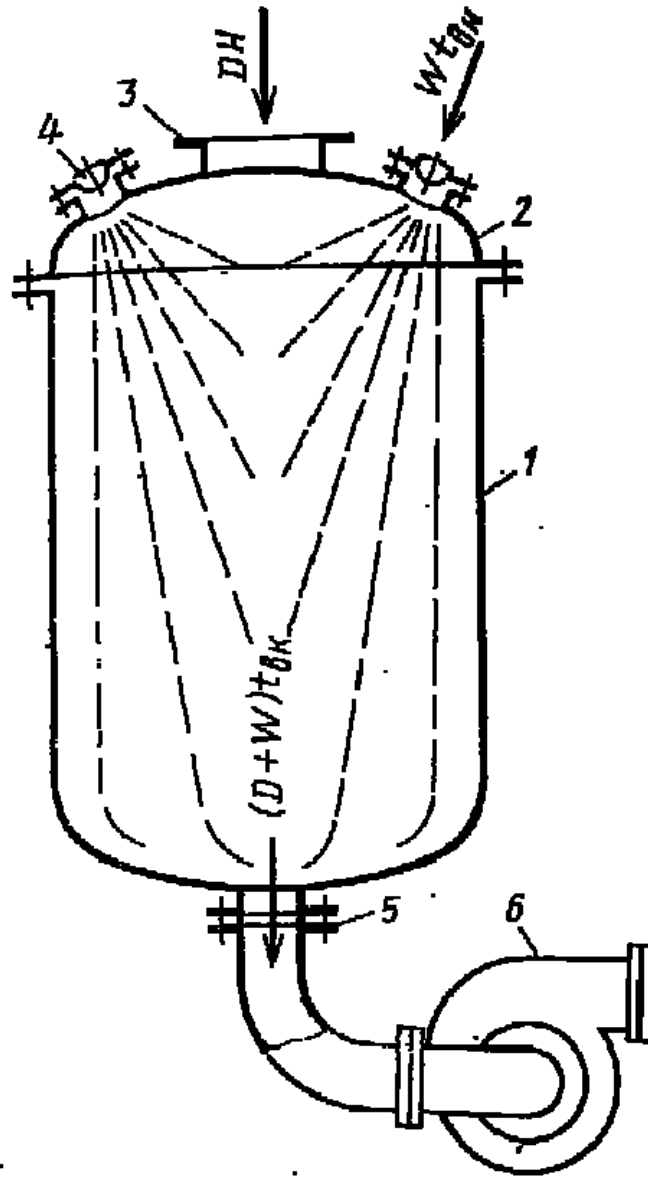


Рис. П.16 Вологий прямотечійний конденсатор змішування

Горизонтальний апарат повітряного охолодження (рис. П.17) являє собою зварену раму 1, на якій розміщений ряд теплообмінних секцій 2. Секції складаються з пучка поперечно оребрених труб, в яких протікає конденсуєме (охолоджувана) середовище. Знизу до рами прикріплений дифузор 3 і колектор 6, у центрі якого встановлений осьовий вентилятор 5. Вентилятор разом з кутовим редуктором 9 й електродвигуном 7 змонтований на окремій рамі 8. Повітря, що нагнітає вентилятором, проходить через теплообмінні секції, омиваючи зовнішню поверхню оребрених труб і забезпечуючи при цьому конденсацію й охолодження середовища, що протікає по трубах.

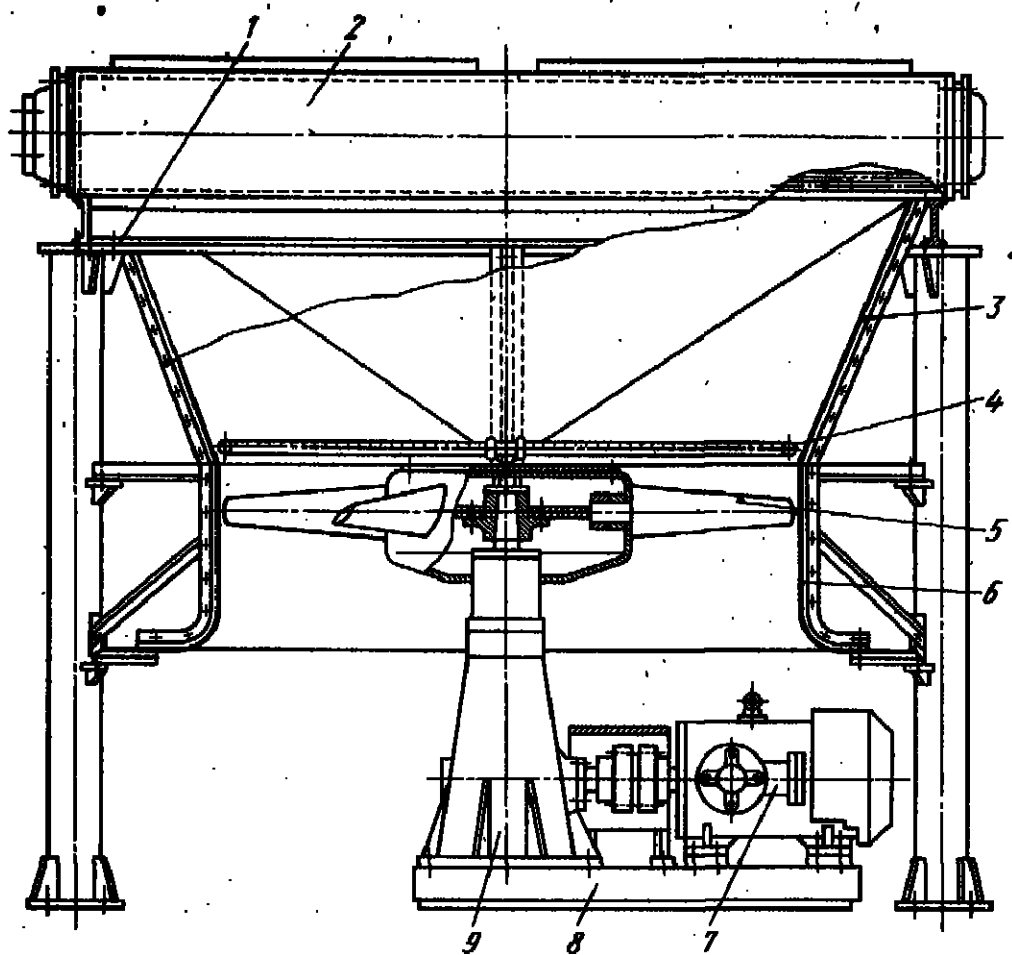


Рис. П.17 Горизонтальний апарат повітряного охолодження

П.6 Обладнання для випарювання

Випарюванням називається процес концентрування розчинів твердих речовин при температурі кипіння шляхом часткового видалення розчинника в пароподібному стані.

В харчовій промисловості використовують випарні апарати з внутрішньою нагрівальною камерою, що являє собою пучок труб, кінці яких розвальцьовані в двох трубних решітках. (рис. П. 18) Випарюваний розчин подається в випарний апарат, а в міжтрубний простір поступає гріючий пар. Закипаючи всередині нагрівальних труб вторинний пар відділяється і покидає апарат, а розчин опускається вниз по циркуляційній трубі великого діаметру. Таким чином багаторазово циркулюючи по випарним трубкам розчин випаровується.

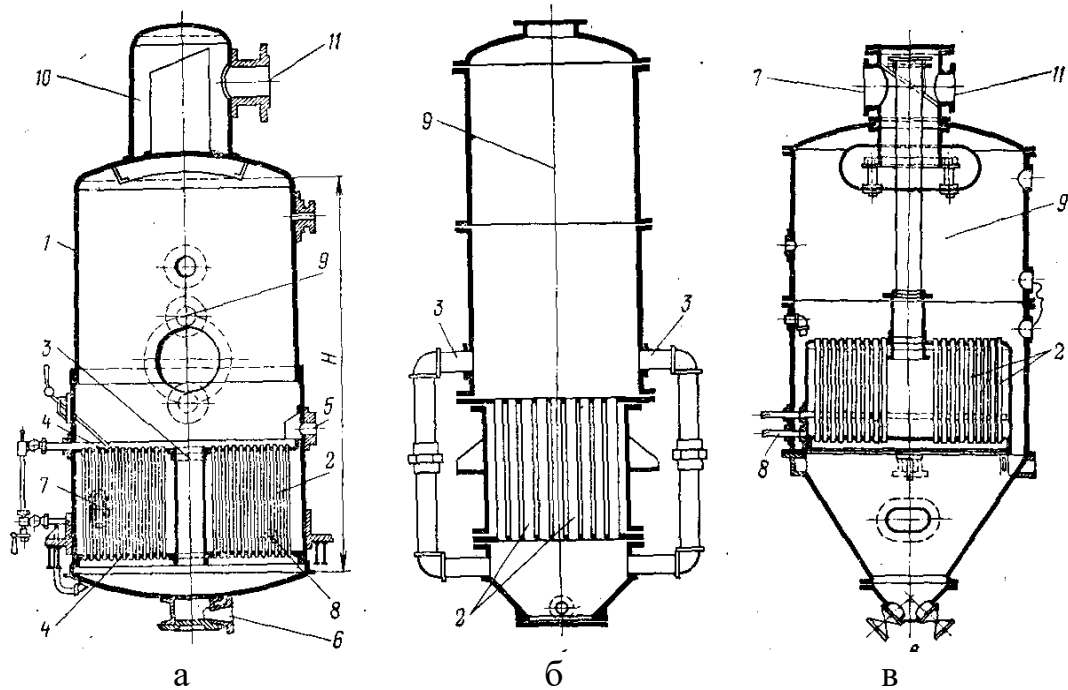


Рис. П.18 Випарні апарати з внутрішньою гріючою камерою: а) апарат з центральною циркуляційною трубою, б) апарат з зовнішніми циркуляційними трубами, в) апарат з підвісною гріючою камерою:

1 – корпус; 2 – нагрівальні труби; 3 – циркуляційна труба; 4 – трубні решітки; 5 – вхід початкового розчину; 6 – вихід випареного розчину; 7 – вхід граючої пари; 8 – вихід конденсату; 9 – сепараційний простір; 10 – бризкоуловлювач; 11 – вихід вторинної пари

Для забезпечення компактності нагрівання камери використовують апарат із зовнішніми циркуляційними трубами (рис. П.18, б)

Використання підвісної нагрівальної камери у випарних апаратах (рис. П.18, в) дозволяє зменшити небезпеку пориву розвальцовки труб внаслідок теплової деформації.

В цукровій промисловості для випарювання води з соку знайшов використання плівковий прямотечійний випарний апарат типу ВАПП-1250 (рис. П.19).

Принцип дії апарата: сік з приймальної камери надходить в кип'ятильні трубки, де закипає і разом з паром рухається вгору. Вгорі, в сепаруючому пристрої, від соку відділяється пар, а рідина надходить в трубки плівкової частини апарату. Сік тонкою плівкою стікає по трубах і разом з паром рухається в нижній сепаратор, де вторинний пар відділяється і йде на наступний корпус випарки.

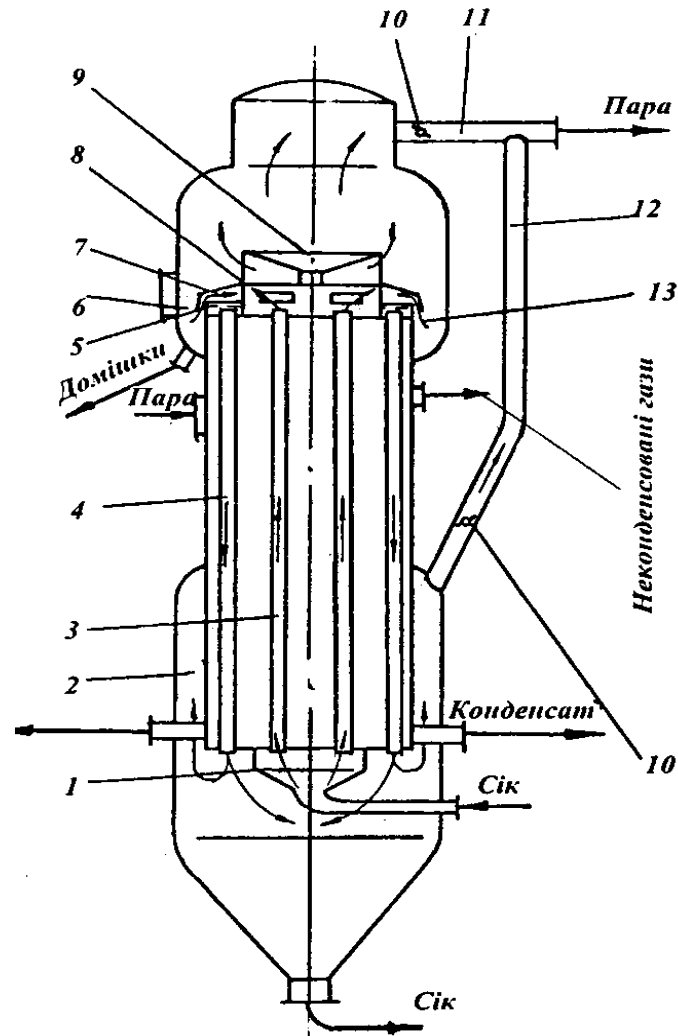


Рис. П.19 Прямотечійний плівковий випарний апарат ВАПП-1250:

- 1 – вхідна камера соку; 2 – парова камера; 3 – піднімаючий трубний пучок;
 4 – опускний трубний пучок; 5 – кільце; 6 – циліндрична обичайка; 7 – конус;
 8 – циліндрична надставка; 9 – сепаруючий устрій; 10 – засувка;
 11 – колектор; 12 – з'єднуючий трубопровід; 13 – сито

П.7 Багатокорпусне випарювання

Витрата пари на випарювання розчинів в однокорпусних апаратах доволі значні і складають значну долю собівартості кінцевого продукту.

Для зменшення витрат пари широко використовуються багатокорпусні випарні апарати, що складаються з ряду однокорпусних послідовно з'єднаних апаратів.

По прямотечійній схемі розчин послідовно проходить через всі корпуси системи, з яких кожний наступний гріється вторинною парою, що утворилась в попередньому корпусі. Для здійснення такого процесу необхідно, щоб температура кипіння розчину в кожному наступному корпусі була менше температури насичення вторинного пару попереднього корпусу. По числу послідовно з'єднаних корпусів відрізняють двохкорпусні апарати, трьохкорпусні і т.п.

На рис. П.20 показана принципова схема багатокорпусної випарної установки.

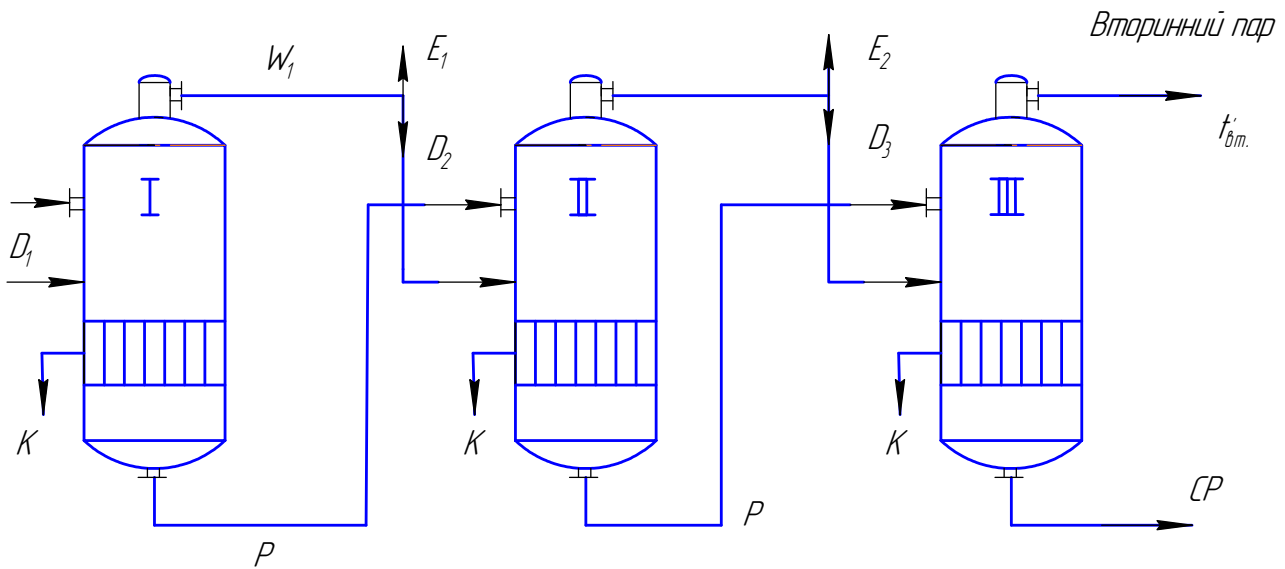


Рис. П.20 Схема багатокорпусної випарної установки

Багатокорпусна випарна станція складається з кількох одиночних випарних апаратів, з'єднаних послідовно. В якості гріючої пари наступного корпусу використовується вторинний пар попереднього корпусу. У кожному апараті теплообмін забезпечується завдяки різниці між температурами гріючого пару і киплячої рідини. Самий низький тиск повинен бути в останньому корпусі установки, причому цей тиск може бути як вище, так і нижче атмосферного.

Вторинний пар останнього корпусу направляється в конденсатор, де він конденсується при контакті з охолоджуючою рідиною, що і забезпечує в останньому корпусі потрібне розрідження.

Вторинний пар з кожного корпусу направляють на нагрівання наступного випарного апарату, крім того можливий частковий відбір усього пару на сторону для потреб інших споживачів. У цьому випадку такий пар називають **екстрапаром**.

Конденсат з випарних апаратів можна відводити як окремо з кожного корпусу, так і перепускати через всі нагрівальні камери і виносячи з системи мінімальну кількість теплоти.

Перевагою протічної багатокорпусного випарювання є самоплинне перетікання розчину через всю систему і мінімальні витрати тепла з вихідним випарним розчином (він виходить при температурі кипіння останнього корпусу). Недоліком такої системи є несприятливі умови теплопередачі: самий концентрований розчин випарюється (кипить) при самій низькій температурі, коли в'язкість максимальна.

По умовах теплопередачі найбільш сприятливі апарати з протічєю розчину і пари. У цьому випадку початковий розчин рухається від останнього корпусу до першого, а первинний і вторинний пари навпаки.

Недоліком такої системи випарювання є необхідність встановлення між корпусами додаткових насосів.

II.8 Конденсаційні установки

Контактні конденсатори застосовуються для створення вакууму шляхом конденсації парів, а також з метою отримання гарячої води для технологічних потреб. Збільшення вакууму в виробничих умовах досягається відкачкою неконденсованих газів, які містяться в парах. Зазвичай це повітря, абсорбований водою (зокрема охолодженою водою) чи просочуються через нещільність з'єднань трубопроводів.

Теоретично можливий вакуум, який створюється конденсаторами, відповідає тиску насичених парів води при температурі на виході конденсатора (при найбільшій її температурі). Практично він недосяжний внаслідок наявності газів, абсорбованих водою, і нещільностей вакуумної системи.

Конденсатори зміщення розрізняються між собою способами видалення конденсату. Барометричні конденсатори мають відвідну вертикальну трубу висотою до 10 м, тому конденсат із нього видаляється самопливом. Із інших апаратів конденсат видаляється насосом.

Іншою відмінною конденсаторів являється організація руху води в апараті. В залежності від цього конденсатори поділяються на поличні (каскадні), тарілчасті і з струменевим введенням охолоджуючої води в потік пари.

На рис. II.21 зображено барометричний конденсатор, камеру зміщення якого називають поличною (каскадною). Камера зміщення цього конденсатора частково перегороджена полками, які розташовані в шаховому порядку. Охолоджуюча вода подається на верхню полку, стікає каскадами послідовно через всі полки і видаляється через так звану барометричну трубу, опущену в посуд з водою. Пар подається під нижню полку, послідовно проходить через всі каскади води, і його залишки, які містять головним чином неконденсовані гази, видаляються вакуум – насосом через бризковідділювач, який з'єднується з барометричною трубою, куди стікає відсепаровані бризки.

Основне призначення барометричної труби – служити розділювачем середовища всередині конденсатора і навколишнього повітря, так як ці середовища знаходяться при різних тисках. Через такий розподілювач вільно стікає вода з конденсатора. Вода в барометричній трубі піднімається на висоту H , яка визначається рівністю $p_a - p_{ост} = \rho g H$,

де $p_a, p_{ост}$ – атмосферний і остаточний тиск в конденсаторі, Па;

ρ – щільність води, кг/м³.

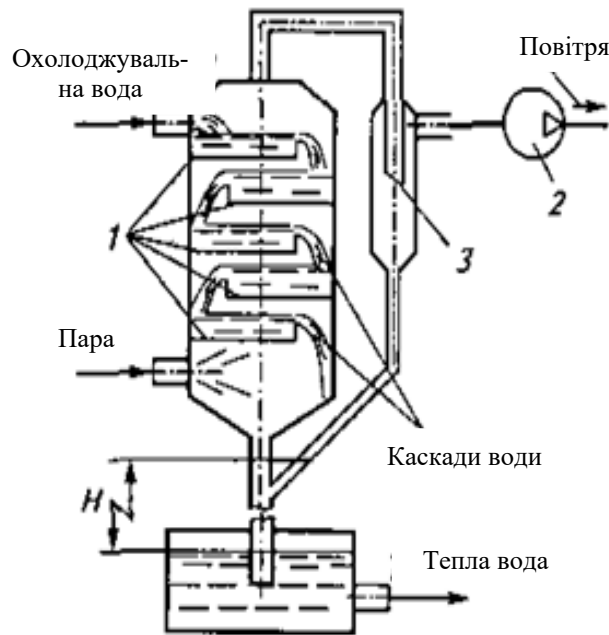


Рис. П.21 Барометричний конденсатор поліщний

Контакт пари і охолоджуючої води здійснюється при проході пари через каскади води. Їх геометрична форма визначається формою перегородок (полок). Якщо теплота конденсуючої пари повинна утилізуватись, то для підвищення температури води в барометричній трубі її кількість повинна гранично зменшуватись. При цьому конденсація пари в одному апараті може не завершуватись. Для гарантії завершення конденсації послідовно з першим встановлюють другий такий же конденсатор. В ньому створюється надлишок охолоджуючої води.

На рис. П.22 приведена конструктивна схема конденсаторів зміщення.

Поліщний конденсатор змішування являє собою циліндричний корпус 11 з конічним днищем, до фланця якого з'єднана барометрична труба. Для утворення плоских струменів – завіс всередині конденсатора встановлені полки 4. Полки забезпечені бортами і планками 13, через які переливається вода. Призначення планок – регулювання товщини водяних завіс і змінення їх напрямку. Встановлюють планки таким чином, щоб їх верхня кромка була розташована в горизонтальній площині.

Пара надходить в конденсатор через штуцер 5 і 7 під нижню полку. Вода для охолодження і конденсації пара із збірника направляється в повітровіддільвач і зрівнювальну посудину 2 і далі – на верхню полку конденсатора. Переливаючись з полки на полку, вода утворить каскади, крізь які рухається пар. По мірі просування вгору пар конденсується. Барометрична вода, яка представляє собою суміш охолоджуючої води і конденсатора пара, по барометричній трубі поступає в збірник. Не сконденсований газ і повітря, який поступає в конденсатор з охолоджуючою водою та внаслідок підсосів повітря, відкачуються вакуум – насосом через вловлювач 12. Виділені в вловлювачі краплини води відводяться по своїй трубі в збірник барометричної води, або ця труба врізається в осно-

вну барометричну трубу. Люки 3, 9, 10 служать для обслуговування і ремонту конденсатора.

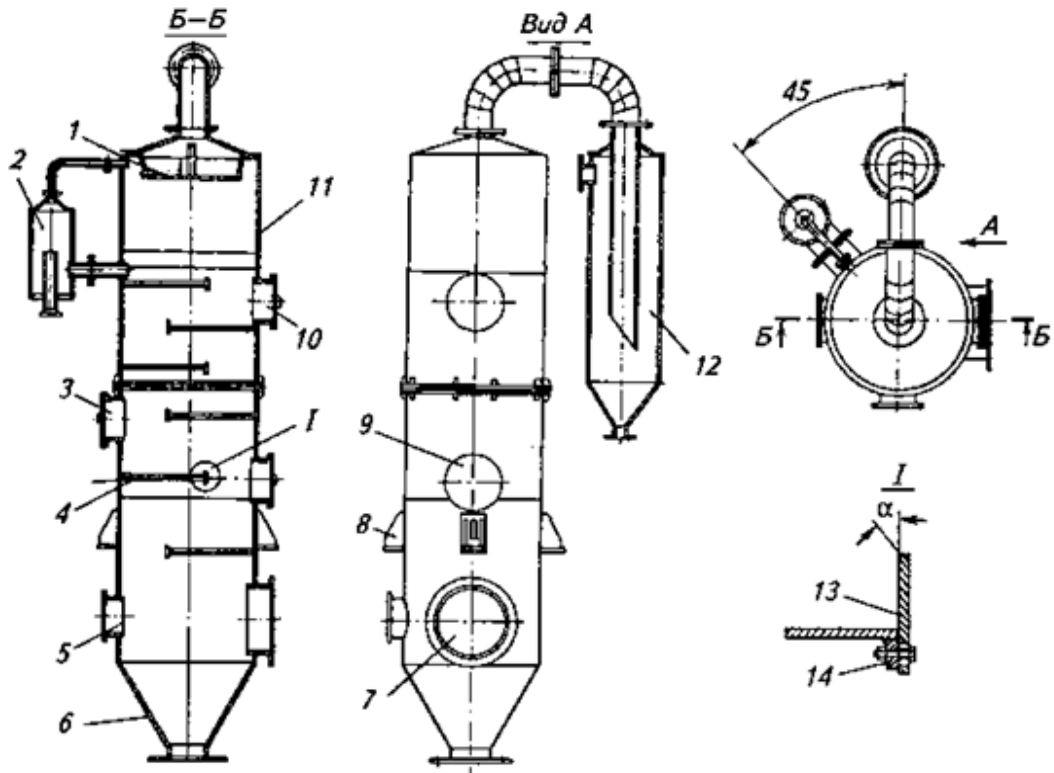


Рис. П.22 Барометричний конденсатор змішування:

1 – відбійний щит, 2 – зрівнювальний посудина, 3, 9, 10 – люки, 4 – полки, 5, 7 – штуцери, 6 – днище, 8 – опорна лапа, 11 – корпус, 12 – вловлювач, 13 – планка, 14 – борт

В тарілчастому конденсаторі змішування з плоскими і лінійними струминами води (рис. П.23) охолоджуюча вода по трубі 3 подається в плоске суцільне днище верхньої тарілки 2 і далі через зубчатий борт, утворюючи плоску струмину, зливається на кільцеве суцільне днище тарілки 4. Таким чином, як і з верхньої тарілки, вода зливається з усіх подальших тарілок. Нижні тарілки 6 і 9 крім плоских струмин утворюються циліндричні струмини, що витікають з отворів, виконаних в днищі.

Пар, який підлягає конденсації, по штуцерам 12 поступає в кільцевий простір 10, з якого направляється до верхньої частини конденсатора. Пересікаючи по шляху водяні завіси і струмини, він конденсується. Барометрична вода по трубі стікає в збірник. Для відділення крапель води від газів і повітря встановлюється відбійний щит 1.

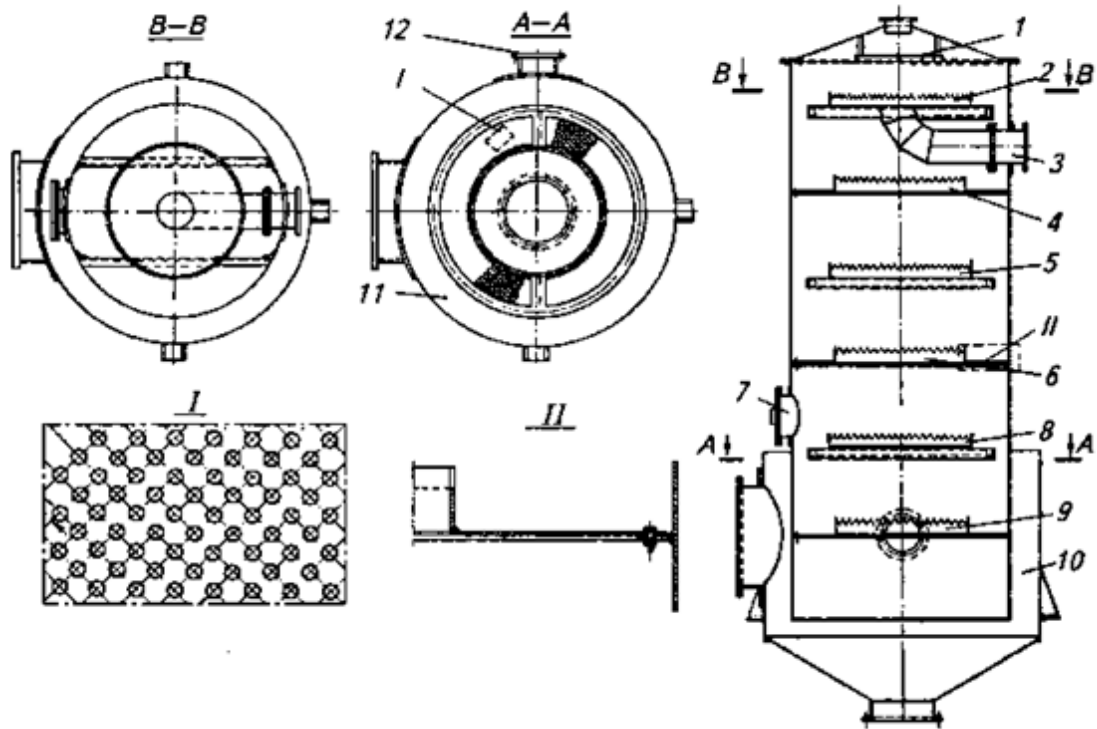


Рис П.23 Тарілчастий конденсатор змішування:

1 – відбійний щит, 2,6,8,9 – тарілки, 3 – труба, 7 – люк, 10 – кільцевий про-
стір, 11 – корпус, 12 – штуцер для підводу пари.

Продуктивність поличного конденсатора можна значно підвищити шляхом збільшення площі поверхні каскаду водозливу, застосувавши паралельні зливи (рис. П.24). При цьому швидкість руху пару через каскад зменшується і сам контакт пари з водою покращується. Не змінюючи кількість полок, а отже висоти конденсатора, загальну площу каскадів водозливу можна збільшити майже в два рази, якщо розташувати в одній горизонтальній площині дві симетрично розташовані сегментні полки, а нижче – одну центральну полку з двохстороннім зливом.

Позитивний вплив на конденсацію пара надає зменшення температури води. Вона істотно знижується, якщо на нижній полці подається свіжа вода. Для реалізації цього потрібно частково відводити підігріту воду за межі конденсатора і подавати замість неї холодну воду безпосередньо на нижні полки. Ефект дає і просте додавання холодної води на нижні полки конденсатора.

Глибину шару води на полці встановлюють шляхом вибору висоти порогу на зливі (вузол А). Вона повинна бути достатньо великою, щоб забезпечити переміщення води на полці з метою вирівнювання її температури перед входом на наступний каскад водозливу.

Полки в конденсаторі виконують dvojake призначення : вони забезпечують рух води каскадами з полки на полку і перемішування води після кожного ступеня з метою осереднення температури. Вода, зливаюсь з полки на полку, не повинна падати на гребні водозливу, так як це порушує плавність її руху. Для цього полки повинні перекривати одна одну на величину h_c . Виходячи із експе-

риментальних даних, рекомендується вибирати перекриття полок не менше $h_c = (D/2) + (100 \dots 200)$ мм. Глибину шару води на полці вибирають рівною 30...40 мм.

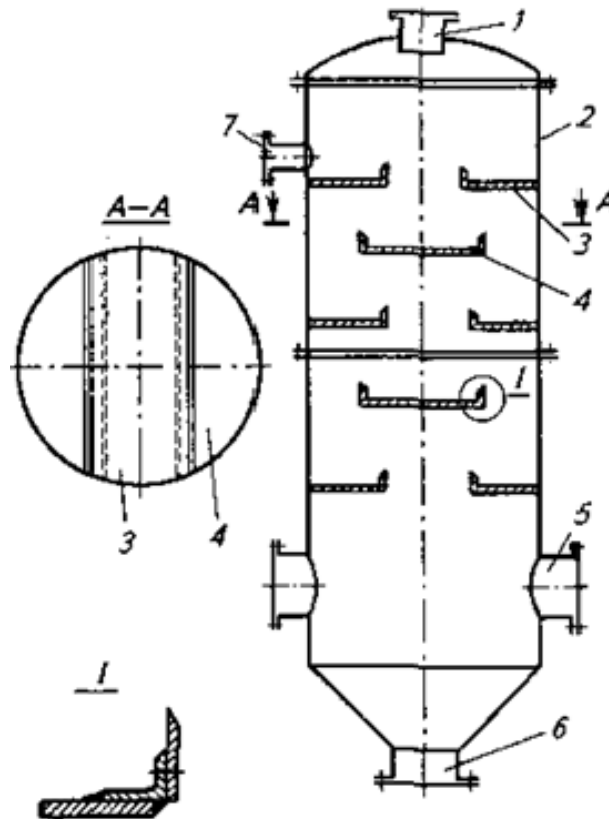


Рис. П.24 Конденсатор з паралельним зливами

1 – штуцер для відводу не сконденсованих газів, 2 – корпус, 3 – центральна полка, 4 – бокова полка, 5 – штуцер для підводу пари, 6 – штуцер для приєднання барометричної труби, 7 – штуцер для підводу води.

На схемі (рис. П.25) показано послідовне з'єднання двох поличних конденсаторів, які використовуються для отримання гарячої води, так і для вакууму в випарній установці.

Тепловий баланс барометричного конденсатора має вигляд:

$$D(i + ct_2) = Wc_s(t_2 - t_1),$$

де D, W – Масові витрати відповідно пари і води, кг/с,
 i – ентальпія пари Дж/кг,
 c, c_s – теплоємності конденсата і води, Дж/(кг·К),
 t_1, t_2 – температура охолоджуючої і барометричної води, °С.

них і спеціальних сортів мучних виробів. По асортименту продукції, що виробляється, пічні агрегати можна розділити на:

- універсальні печі (можуть виробляти хлібобулочні, кондитерські, бубличні вироби різних сортів і маси в широкому діапазоні);
- спеціалізовані печі і агрегати (виробляють обмежений асортимент бубликів, печива, пряників, формових сортів хліба або певні череневі сорти хлібобулочних виробів).

За способом обігріву пекарної камери всі печі розділяються на наступні види:

- печі з регенеративним обігрівом (жарові печі, в яких робоча камера одночасно є і топковою, в якій періодично спалюється певна порція палива);
- печі з каналним обігрівом (теплоносієм є продукти згорання, які проходять по системі каналів, через поверхню теплообміну яких теплота передається в пекарну камеру до тіста хліба);
- печі з пароводяним обігрівом (теплоносієм є пароводяна суміш високого тиску, що циркулює в товстостінних нагрівальних трубках);
- печі з газовим обігрівом (цей спосіб забезпечується спалюванням газу в пекарній камері);
- електричні печі (використовують трубчасті електронагрівачі, світлові випромінювачі, струми високої частоти, а також контактний спосіб прогрівання);
- печі з комбінованим (змішаним) обігрівом (використовується комбінація каналів і пароводяних трубок, а також інші варіанти способів обігріву).

Пекарні камери сучасних печей бувають двох типів:

- тупикові (посадка тестових заготовок на під і вивантаження готової продукції виробляються через один і той же посадочний отвір);
- прохідні (посадка і вивантаження продукції здійснюється через отвори, розташовані з протилежних сторін печі).

У печах з пластинчастим, стрічковим або сітчастим конвеєром прохідна пекарна камера має форму довгого тунелю заввишки 300...400 мм. Такі печі називаються тунельними.

В кожній пекарній печі є загальні елементи: каркас і обмурівка, пекарська камера, генератори тепла, теплообмінні пристрої, конвеєри, допоміжні пристрої.

Каркас печі – є металева конструкція до якої кріпиться конвектор та інші елементи пічного агрегату, включаючи обмурівку.

Обмурівка - стіни і газові печі, виконані з кирпича і теплоізоляційного матеріалу.

Пекарна камера – основний елемент печі. Завантаження і вивантаження виробів в тупикових печах здійснюється з однієї сторони, а в печах тунельних – з протилежних сторін. В пекарній камері розміщуються конвеєри теплообмінники, зволожуючі пристрої і т.п.

Теплообмінні пристрої – найбільше використання отримали печі з каналними теплообмінними пристроями.

Конвеєри – для приміщення продукції в пекарній камері. Конструкція може біти різноманітна.

Конструкції хлібопекарних печей

Печі з каналним обігрівом.

Піч РЗ-ХПА (рис. П.26) складається з тупикової пекарної камери 3, топкового пристрою 9, трубчастих обігрівальних каналів: каналів 4, 5 для обігріву тістової заготовки хліба на верхній гілці 6 конвеєра і двох каналів – 12 і 11 для обігріву тістової заготовки хліба на нижній гілці 10 конвеєра.

Усередині пекарної камери розміщені парозволожуючий пристрій 1 і люлечно-подовий конвеєр з верхньою гілкою 6 і нижньою 10. Конвеєр приводиться в рух приводним валом 15, на якому закріплені провідні зірочки 14. Натягнення ланцюгів конвеєра здійснюється натяжним валом 7 і веденими зірочками 8.

Втулково-роликові ланцюги конвеєра підтримуються верхніми 2 і нижніми 13 направляючими з кутової сталі, які кріпляться до консолі. До ланцюгів з кроком ланки 140 мм через кожні три ланки шарнірно підвішені 36 люльок завдовжки 2000 мм і шириною 350 мм з вкладними подами з листової сталі. При випічці формового хліба можуть бути використані вузькі люльки розміром 2000×220 мм. Такі люльки підвішуються через кожні дві ланки (280 мм). Кількість таких люльок на конвеєрі 54.

Рух конвеєра переривчастий, управління тривалістю зупинки і пуску конвеєра здійснюється за допомогою реле часу.

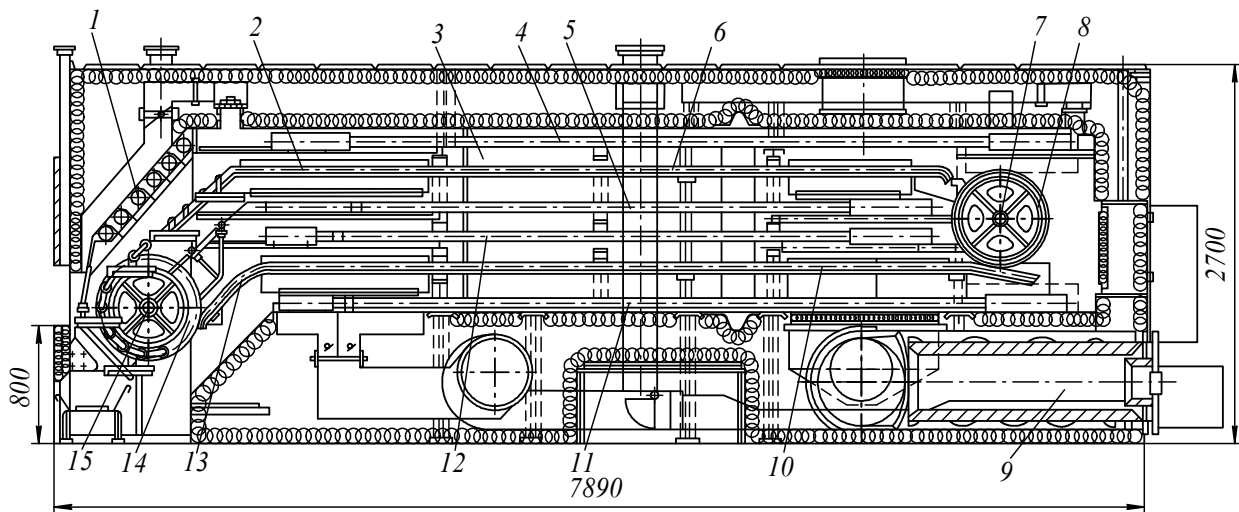


Рис. П. 26 Піч РЗ-ХПА

Піч ФТЛ-2-66 (рис. П.27) відноситься до групи конвеєрних люлечних тупикових печей середньої потужності з каналним обігрівом пекарної камери. Ця піч по асортименту, що виробляється, універсальна і призначена для випічки хлібобулочних, бубличних і сухарних виробів всіх найменувань, а також багатьох видів борошняних кондитерських виробів.

Піч складається з топки 1, пекарної камери 2, ланцюгового конвеєра 3 з люльками 4 і приводного механізму. Топка печі пристосована для спалювання дров, вугілля, мазути і газу. При спалюванні вугілля застосовується повітряне

дутьтя. Повітря від відцентрового вентилятора поступає під колосники і через отвори в них проникає в шар палива. Гарячі гази прямують з топки 1 по нижньому цегляному каналу, передавальному тепло пекарній камері 2 через зведення по двох вертикальних каналах, розташованих в бічних стінках печі, і далі прямують в металевий радіатор, а потім піднімаються в канали верхнього газоходу.

Ланцюговий конвеєр являє собою дві пластинчасті шарнірні ланцюги з кроком 140 мм, що перекинуті через три пари блоків 5, які укріплені на валах. Між ланцюгами підвішені люльки 4. Для випічки формового хліба люльки роблять з куткової сталі у вигляді рамок, в які вставляються секції з форм, а для подових виробів застосовуються люльки з подами з листової сталі з бортами з трьох сторін. Всього печі мають 24 люльки шириною 1920 мм і завдовжки 350 мм.

Для випічки формових виробів на конвеєрі розміщують 36 люльок завдовжки 220 мм, з кроком їх підвіски 280 мм. На такій люльці встановлюються 16 форм розміром 235×115.

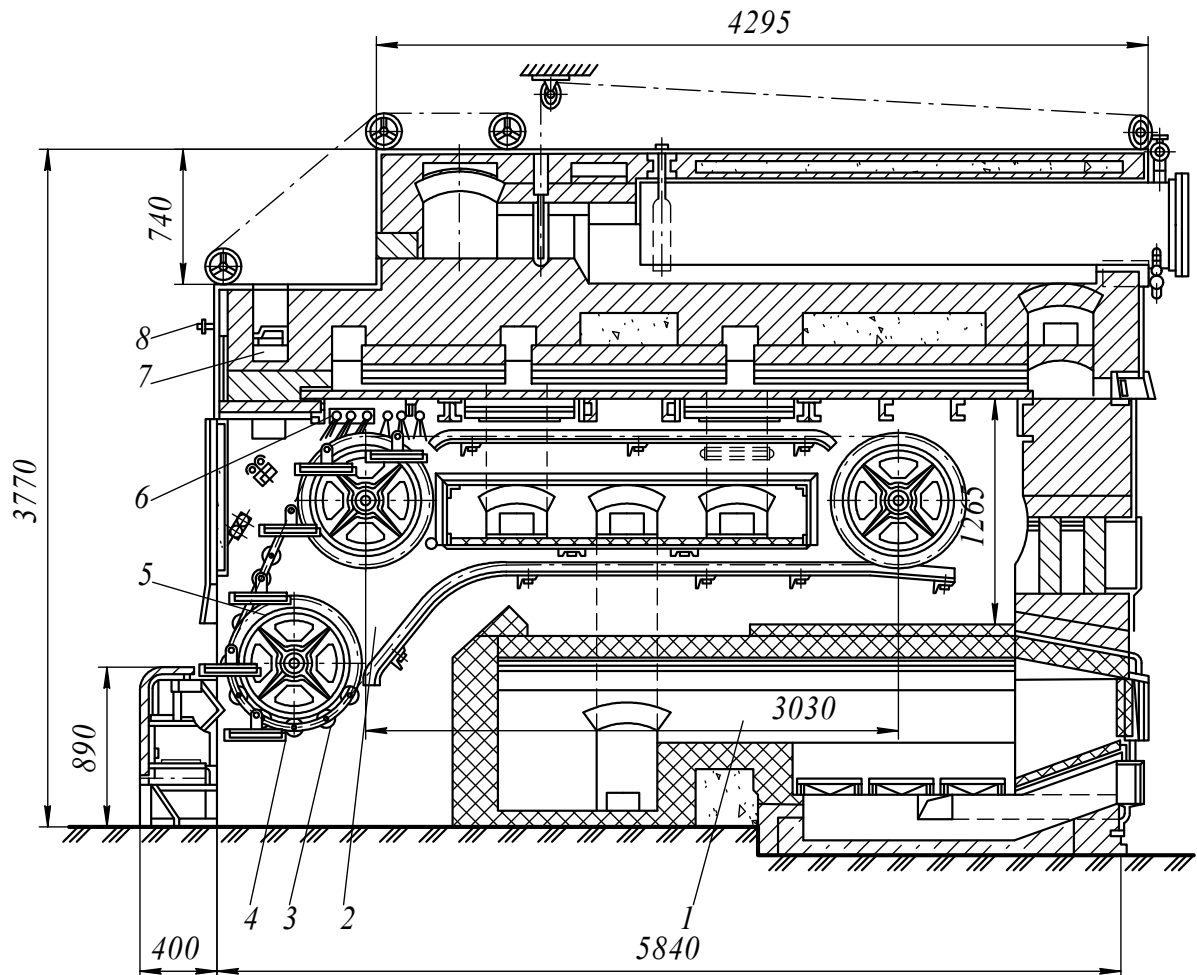


Рис. П.27 Піч ФТЛ-2-66

Конвеєр з люльками приводиться в рух від електродвигуна, сполученого пасовою передачею з редуктором, а останній через ланцюгову передачу сполучений з приводним валом. Рух конвеєра печі переривчастий.

Для зволоження середовища пекарної камери в першій зоні над чотирма люльками встановлена гребінка трубок 6 діаметром 50 мм з отворами, оберненими у бік конвеєра. Пара потрапляє з двохтрубчастих парогенераторів діаметром 200 мм, що встановлені в газоходах внизу бічних стін кладки печі, або з котельної підприємства. Надлишок пари з пекарної камери видаляється через канал 7, що перекивається шибром, ручка 8 якого виходить до місця посадки.

Посадка тістових заготовок або форм з тістом і виїмка готових виробів відбувається через посадочний отвір. Після закінчення встановленого часу реле автоматично включає електродвигун приводу, а завантажена тістом люлька пересувається у верхню зону пекарної камери. Подальше завантаження печі відбувається у тій же послідовності до моменту, коли перша завантажена люлька підійде до отвору під розвантаження. Знявши готові вироби, люльку завантажують знов.

Піч ХПП-25 (рис. П.28) складається з камери зволоження 1, пекарної камери 3 і топки 9. У пекарній камері розташовані чотирихярбусний люлечно-подовий конвеєр 4 з 65 люльками розміром 1920×220 мм або 43 люльками розміром 1920×350 мм і 6 пар блоків, з яких крайній справа 7 у верхньому ряду є натяжним. Рух конвеєра безперервний. У камері зволоження розташовані приводний 14 і направляючий 15 вали з зірочками. Конвеєр приводиться в рух від електродвигуна через черв'ячний і циліндричний редуктори. Тривалість випічки регулюється варіатором.

З топки 9 печі газу поступають в центральний газохід підвісного каналу 8, де розділяються на два паралельні потоки. Далі газу по двох бічних каналах опускаються в два нижні канали 10, а з них по двох стояках 11 прямують в передні вертикальні газоходи 2. Звідси по верхніх каналах 6 газу поступають під водонагрівальні казанки.

Вертикальний газохід, що відділяється від пекарної камери 3 металевою стінкою, створює в посадочній частині пекарної камери високу температуру (зону обжарювання), яка необхідна при виготовленні житніх хлібних виробів. Для підвищення вологості в цю зону подається пара по трубах 5. Пара в камеру зволоження також подається по двох трубах 16, а для обприскування водою готових виробів передбачена труба 12 з форсунками.

Вивантаження подових виробів на стрічковий транспортер 13 здійснюється за допомогою упору, що нахиляє люльки на 30...45°.

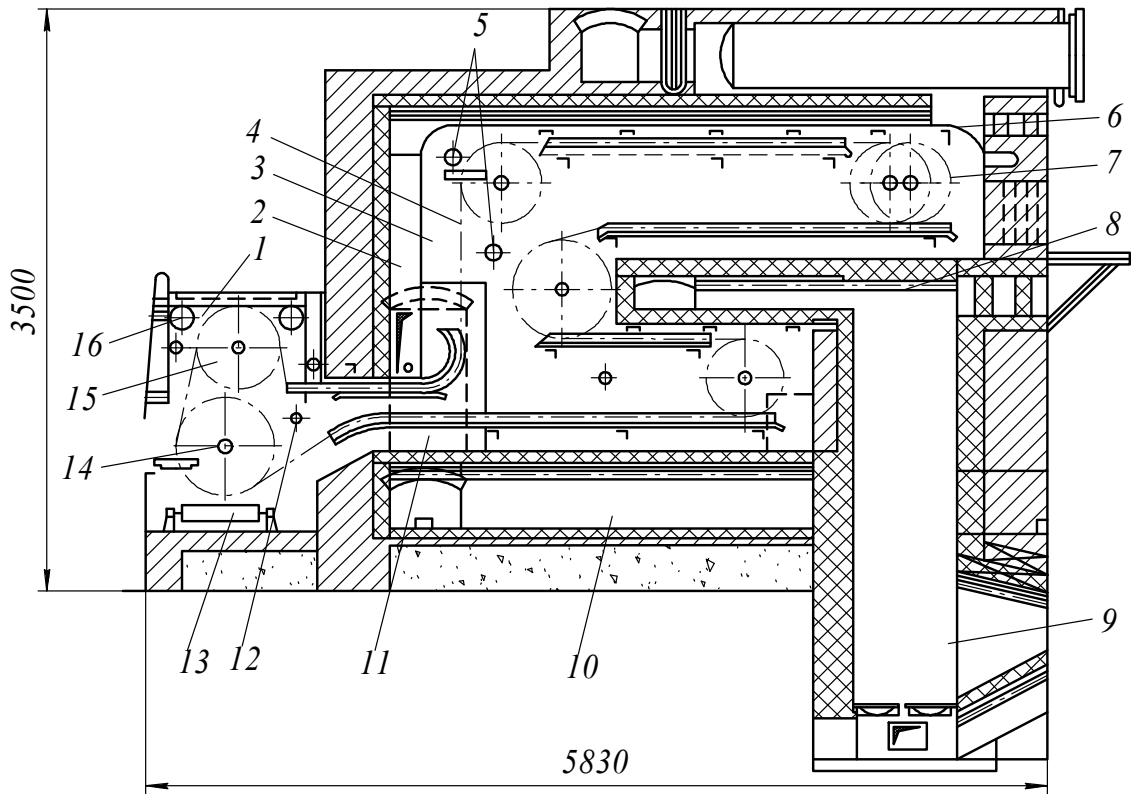


Рис. П. 28 Піч ХПП-25

Піч ГГР-1 (рис. П. 29) передбачає наявність виносної камери 1 для зволоження тістових заготовок, чотирьохниткового ланцюгового конвеєра 2 з 64 люльками, чотирьох радіаторів 3, пристроя для обприскування водою тістових заготовок перед пекарною камерою 5 і готової продукції після випічки 4. Привід конвеєра 2 печі здійснюється від електродвигуна. Топка 6 печей пристосована для спалювання газоподібного і рідкого палива.

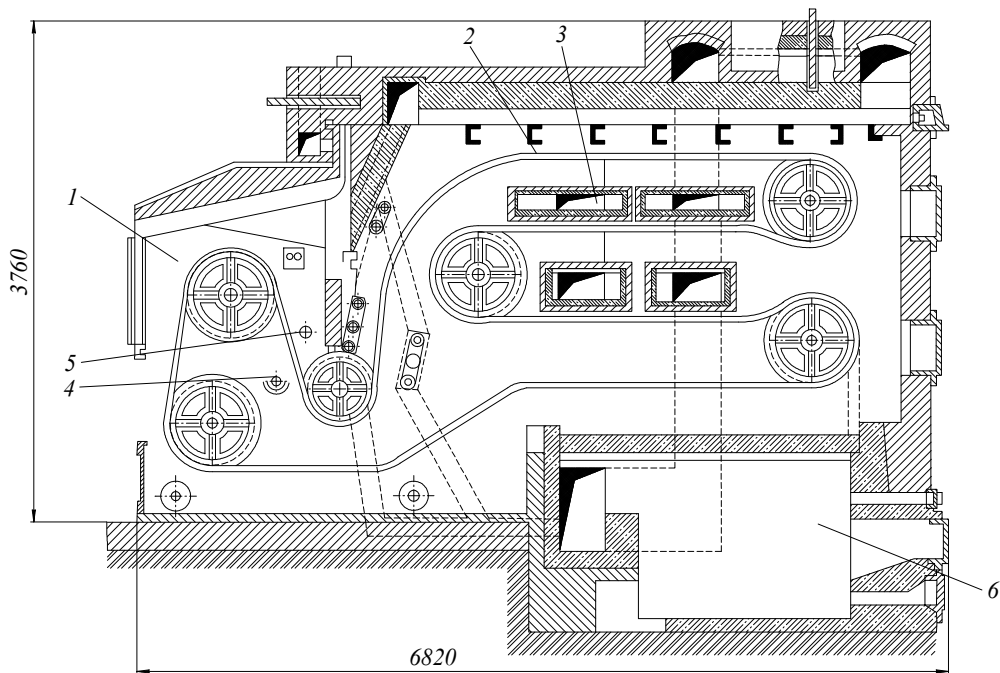


Рис. П.29 Піч ГГР-1

Печі з комбінованою системою обігріву.

У печах з комбінованою системою обігріву (АЦХ, ХПА-40, ФТЛ-4 і ін.) передача теплоти в процесі випічки здійснюється через систему каналів і пароводяних трубок.

Піч ХПА-40 (рис. П.30) призначена для випічки формового хліба з житньої і пшеничної муки.

У пекарній камері 1 печі розміщений чотирьохярусний конвеєр 13 з пластинчасто-роликів ланцюгів з кроком 140 мм. На конвеєрі між ланцюгами підвішені 98...100 люльок розміром 1720×220 мм (крок підвіски 280 мм). Конвеєр підтримується направляючими з кутикової сталі 90×60×8 мм і чотирма парами ведених зірочок 11, встановлених на валах, підшипники яких винесені в ніші із зовнішнього боку бічних стін. Привідні зірочки 2 розташовані за межами кладки печі в металевому кожусі. Натяжна станція знаходиться на зірочках 8.

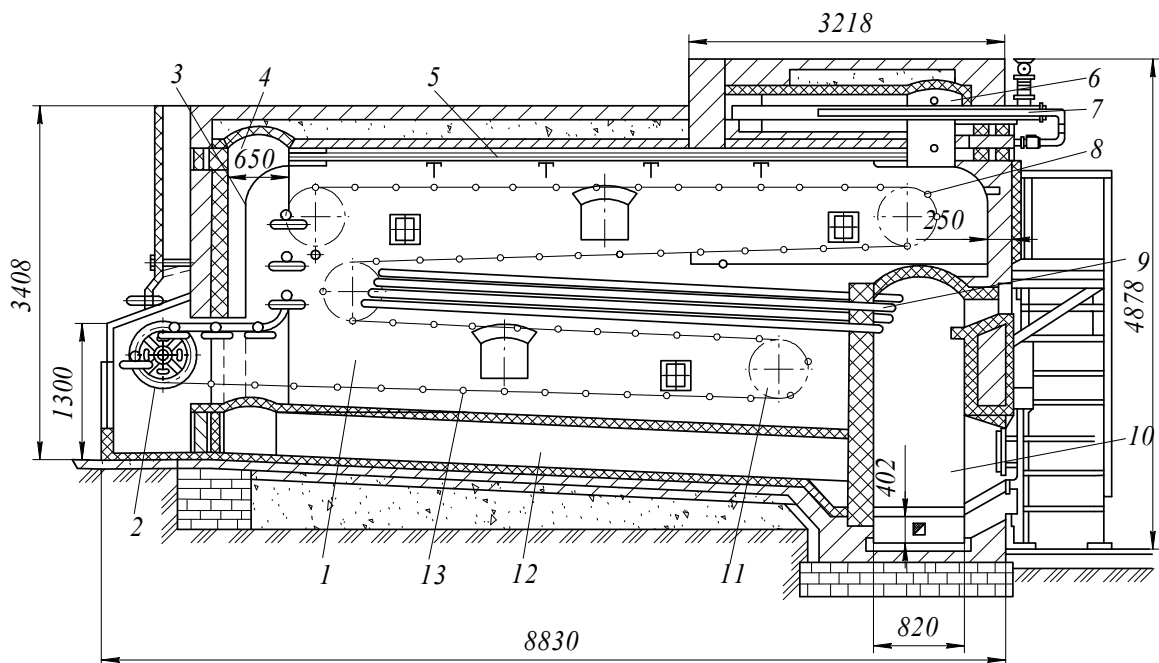


Рис.П.30 Піч ХПА40

Обігрів пекарної камери змішаний: у середній частині камера обігривається пароводяними трубками 9, в нижній – двома цегляними каналами 12 і у верхній – дев'ятьма димогарними трубами 5 діаметром 150 мм. Нагрівальні трубки завдовжки 5300 мм встановлені в 4 ряди з кроком по горизонталі 70 мм, по вертикалі 85 мм і з ухилом (у бік топки) 40 мм на 1 м труби.

Димові гази з топки 10 обігривають кінці нагрівальних трубок, прямують по бічних каналах в нижні газоходи 12, потім по вертикальних каналах потрапляють в металеву збірну камеру 4 з малим термічним опором, звідки проходять по димогарним трубах 5 під водогрійні казанки 7, і далі в димар 6.

Конвеєр печі приводиться в рух від електродвигуна через варіатор швидкості, який дозволяє регулювати тривалість випічки від 38 до 55 хв.

Перевагою печі ХПА-40 є наявність зони обжарювання в початковій стадії випічки, що особливо важливе при виробленні хліба з житньої або житньо-

пшеничної муки. Передача тепла в цій зоні відбувається через металеву стінку 3, що відокремлює збірну камеру 4 від пекарної камери печі.

У пекарній камері на відстані 1,2 м від посадочних дверець над нижньою гілкою конвеєра встановлений механізм, який обприскує водою одночасно чотири люльки з хлібом. Продуктивність печі ХПА-40 складає 40...45 т в добу при виробленні формового хліба з житньої шпалерної муки масою 1 кг.

Тунельні печі з каналним обігрівом.

У тунельних печах з каналним рециркуляційним обігрівом (ПХС-25М, ПХС-40, РЗ-ХПУ-25 і ін.) використовуються стрічкові поди і блоково-каркасні обгороджування, а для обігріву цих печей застосовується рециркуляція продуктів згорання палива (газ, рідке паливо) і електрострум.

Піч ПХС-25М (рис. П.31) складається з пекарної камери, металевих каналів верхнього 2 і нижнього 3 для обігріву камери, двох топок 4 з камерами змішувачів і інжекційними газовими пальниками, стрічкового поду 5 із сталеві спіраль-но-стрижнєвої сітки, привідного 9 і натяжного барабанів 6. Останній обладнаний пристроєм для коректування положення сітчастої стрічки шляхом зміни міри натягнення її правої або лівої половини. Крім того, конвеєр має сигналізатор, який включається, коли порушують встановлені зазори між кромками сітчастої стрічки і бічними стінками пекарної камери.

Для очищення сітчастого поду передбачена металева кругла щітка 8 з вантажним притискним механізмом, яка приводиться в рух від електродвигуна через черв'ячний редуктор і дві ланцюгові передачі.

У зоні посадки пекарної камери змонтований зволожувальний пристрій, що складається з ряду перфорованих трубок, водовідділювача, вентилів і манометра і сполучене заводською паровою системою. Для зменшення вентиляції пекарної камери усередині неї передбачено два поворотні фартухи 7. Для видалення зайвої вологи пекарна камера сполучена двома витяжними отворами і каналами 1 з вентиляційною системою підприємства.

Піч обладнана двома ogrивальними системами одна з яких (права) обслуговує зону випічки, а інша (ліва) – зону допікання. Всі конструкції обігривальної системи, що знаходяться під впливом газів з високою температурою, виготовлені з жаростійких сталей. Крім того, для зниження температури газу, що поступає в канали, застосована рециркуляція.

Топки печі пристосовані для спалювання газів і рідкого палива. Для газу застосовані інжекційні пальники 1 середнього тиску. Гарячі газу, що утворюються в топках 2 під впливом тяги, створюваною димососами 4, проходять по металевих каналах 5 і через їх стінки передають тепло обом зонам пекарної камери. В кінці системи охолоджені газу розділяються на два потоки: один – 7 – прямує в димар, інший – в камеру змішувача топки 2 для охолодження стінок і зниження температури топкових газів.

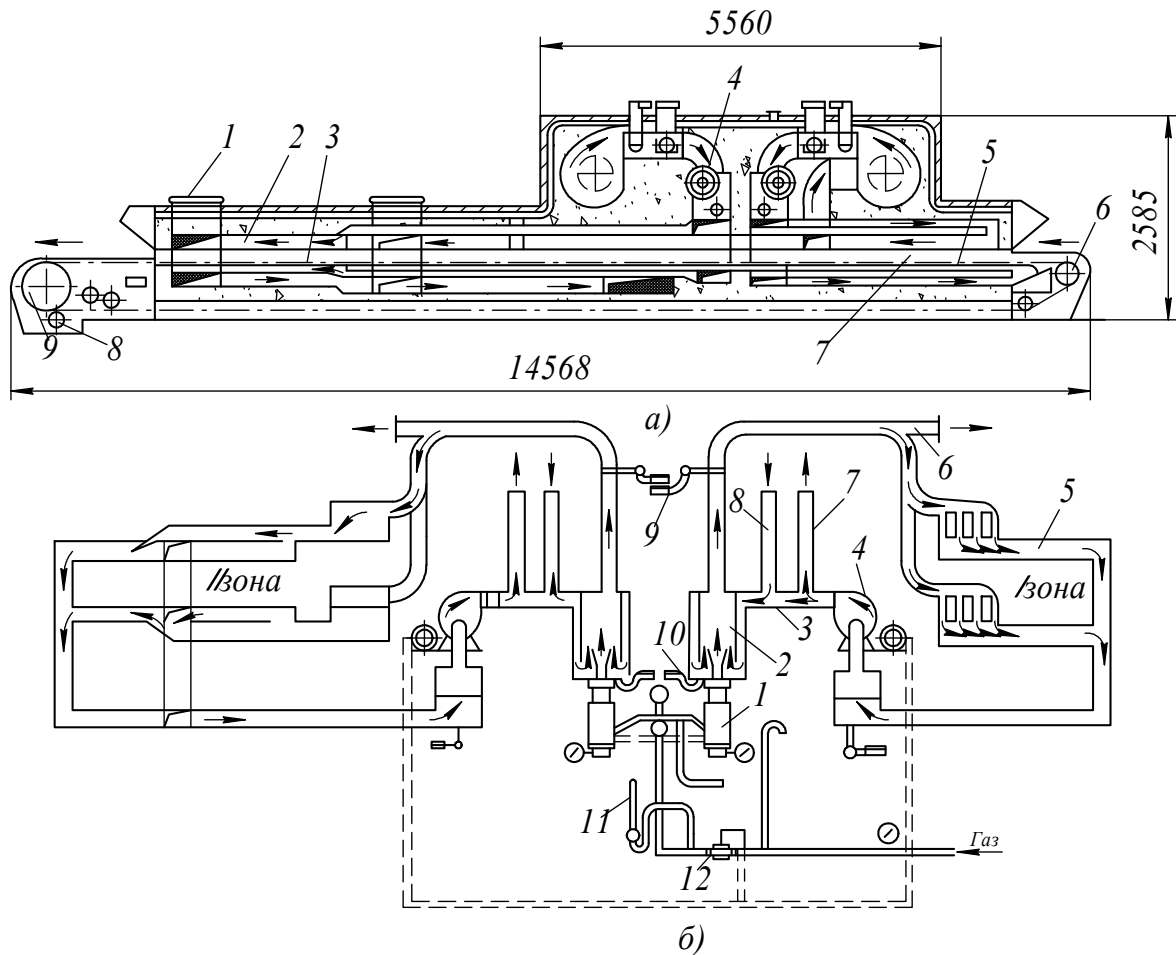


Рис. П.31 Піч ПХС-25М: а – повздовжній розріз; б – тепла схема

Обидві обігрівальні системи обладнано тягомірами 10 для контролю тяги в топках, термопарами 9 з гальванометрами для виміру температури газів в кінці камер змішувачів топок, переносною свічкою 11, вибуховими клапанами 6 і спеціальним електромагнітним клапаном 12 для припинення подачі газу до пальників у випадках зупинки роботи димососів або при зниженні тиску в газоподачі нижче допустимої межі.

Печі з електрообігрівом.

У печах з електрообігрівом пекарні камери обігриваються трубчастими електричними нагрівальними елементами. Печі бувають тунельні або тупикові і призначені для випічки широкого асортименту хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів.

Печі П-119М (рис. П.32) відноситься до тупикових люлечно-подових конвеєрних печей з електрообігрівом і складається з блоково-каркасного обгороджування 1, пекарної камери 2, в якій розміщений двох'ярусний ланцюговий конвеєр 3. Ланцюги конвеєра втулково-роликові з кроком 140 мм. На конвеєрі через кожні три ланки підвішені люльки 4 розміром 1410×285 мм з висотою підвіски 150 мм. На цих люльках випікається формовий хліб.

Передній вал конвеєра приводний, а задній – натяжний. Вали спираються на підшипники кочення, які в приводного валу винесені за межі печі, а в натяж-

ного розташовані в нішах бічних панелей обгороджування. Рух конвеєра рівномірно-переривистий, здійснюється за допомогою реле часу і кінцевого вимикача.

Обігрів пекарної камери відбувається від трубчастих електронагрівачів 5 потужністю 2,5 кВт. Всього в печі передбачено 30 нагрівачів загальною потужністю 75 кВт. Нагрівачі встановлені на обох бічних панелях печі.

Обгороджування печі є порожнистими панелями шириною 250 мм з тонкої листової сталі, заповнені ізоляційним матеріалом (мінеральною ватою). Для більш рівномірного розподілу температури в пекарній камері між верхньою і нижньою гілками конвеєра розміщений екран 6.

Зволоження пекарної камери відбувається парою від котельної підприємства. Пара подається трьома паровими гребінками 10, які звожують тістові заготовки на чотирьох люльках. У нижній частині печі при необхідності розташовуються електробойлер 7 і паровий казанок 8 з електрообігрівом.

Завантаження тістових заготовок для всіх виробів в піч відбувається вручну, а вивантаження готових подових виробів здійснюється механічно, шляхом нахилу люльки на кут 42° при її русі і зіткненні з копірами 9 в бічних стінках камери.

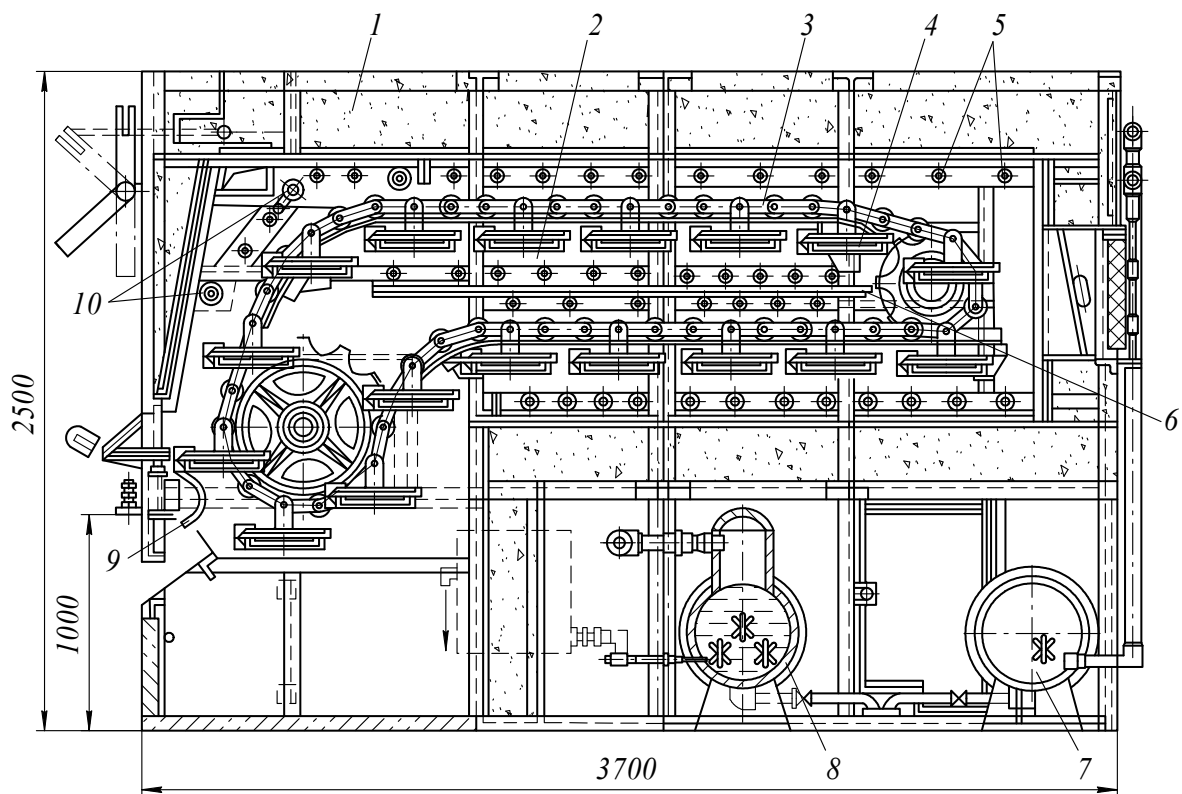


Рис. П.32 Піч П-119М

Вся апаратура управління, регулювання і контролю температурного режиму встановлена на щиті шафового типу. Перед початком роботи на потенціометрах встановлюється задана температура. Розігрівши печі до робочої температури відбувається вручну поступово – спочатку включається лише одна група

електронагрівачів. Досягши заданої температури пекарної камери переходять на автоматичний режим обігріву печі. Час розігрівання печі від холодного стану до робочої температури складає не менше 2,5 годин.

Піч Г4-ХПС-40 (рис. П.33) складається з пекарної камери 4, приводної і натяжних станцій, на барабанах 1 і 11 яких натягнута спіраль-стрижньова сітка 3, закріплена на тягових ланцюгах 5. Пекарна камера складається з 6 секцій, встановлених на опорах, сполучених в одну камеру. Простір між секціями і обшивкою заповнений мінеральною ватою 7. Обігрів пекарної камери здійснюється двома рядами електронагрівачів 6, яких в печі знаходиться 170 шт.

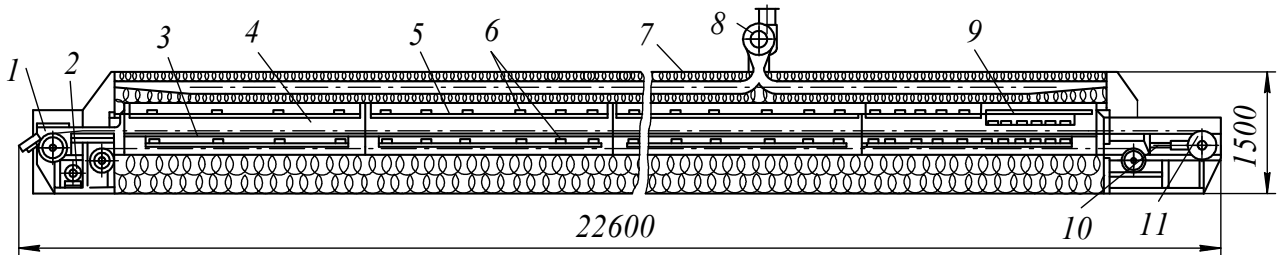


Рис. П.33 Піч Г4-ХПС-40

Піч має систему вентиляції 8 для видалення пари з пекарної камери і парозволожувального пристрою 9, що розміщений в першій секції. Пекарна камера 4 розбита на 4 зони з індивідуальним регулюванням і контролем температурного режиму. Натяг тягових ланцюгів відбувається натяжною станцією 10. Привід 2 печі складається з електродвигуна, пасової передачі, варіатора і системи зірочок.

П.10 Обладнання для обробки холодом

П.10.1 Теоретичні відомості

У харчовій промисловості холод застосовують при зберіганні сировини, напівфабрикатів та готової продукції, а також при проведенні ряду технологічних процесів.

Харчові продукти по технологічним вимогам можуть бути охолодженими або замороженими.

Охолодження — процес зниження температури харчових середовищ (але не нижче криоскопічної) з метою затримання біохімічних процесів і розвитку мікроорганізмів. Це один з основних способів холодильного консервування продуктів без зміни їх структурного стану. За принципом перенесення теплоти способи охолодження підрозділяються на три групи:

- шляхом конвекції (охолодження в повітрі продуктів, упакованих у непроникні штучні чи природні оболонки, а також у рідких середовищах);
- в результаті фазових перетворень (інтенсивне випаровування частини води в продукті при його вакуумуванні);

- змішаним теплообміном (передача теплоти здійснюється конвекцією, радіацією і за рахунок теплообміну при випаровуванні вологи з поверхні продукту).

Заморожування — процес зниження температури нижче криоскопічної на $10 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$, що супроводжується переходом майже всієї кількості води, що міститься в продукті, в лід. Способи заморожування (контактні і безконтактні) поділяються на чотири групи:

- Заморожування в киплячому холодоагенті;
- Заморожування в рідинах як проміжних холодоносіях;
- Заморожування в повітрі як проміжному холодоносіях;
- Самозаморожування.

Для отримання низьких температур можуть бути використані фізичні процеси, що супроводжуються поглинанням теплоти ззовні: танення водного льоду та льодосолевих сумішей; сублимація сухого льоду (твердого діоксиду вуглецю); кипіння різних речовин (холодоагентів) при низьких температурах; дроселювання і т.д

Один з найбільш простих способів отримання холоду - **використання водного льоду та льодосолевих розчинів**. На великих підприємствах застосовують холодильні машини, які за принципом дії поділяються на компресійні, абсорбційні і пароежекторні.

При використанні льоду в якості джерела холоду отримують температуру в камері охолодження $3 \dots 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура танення льодосолевої суміші залежить від хімічної формули солі та її концентрації в суміші. На практиці використовують суміш подрібненого льоду з технічною кухонною сіллю. Концентрацію суміші встановлюють у залежності від необхідної температури охолодження. З підвищенням концентрації температура плавлення розчину зменшується до деякої межі, а потім знову зростає (рис. П.34).

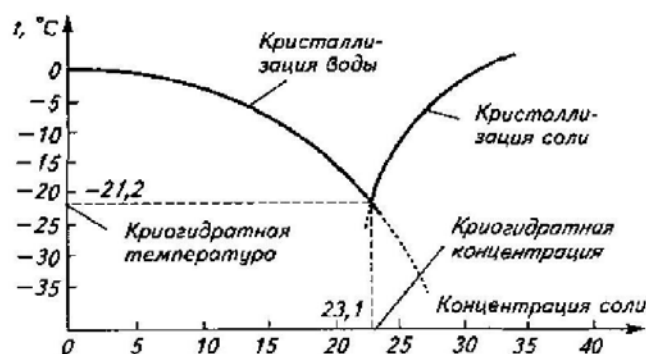


Рис. П.34 Діаграма температур плавлення льодосолевої суміші подрібненого льоду та кухонної солі

Найнижча температура плавлення ($-21,2^\circ\text{C}$) досягається при концентрації кухонної солі 23,1%. Вона називається криогідратною. Для льодосолевої суміші ($\text{CaCl} + \text{лід}$) криогідратна температура дорівнює -55°C .

Сублімація сухого льоду. Температура сублімації сухого льоду (твердого діоксиду вуглецю) при атмосферному тиску $t_{\text{субл}} = -78,9^{\circ}\text{C}$; питома теплота сублімації 574 кДж/кг.

Кипіння. Це процес інтенсивного пароутворення на поверхні нагрівання при підводі теплоти. Ефект відведення теплоти від охолоджувального середовища в процесі кипіння рідини використовують у парових компресійних холодильних машинах. Рідину, киплячу при низькій температурі, називають холодоагентом.

Дроселювання. Дроселювання стислих газів здійснюють на дросельних вентилях, редукторах, перегородках і інших звужуючих пристроях. Цей процес супроводжується різким падінням тиску. Зниження температури газу методом дроселювання пов'язано з підвищеними витратами енергії і застосовується обмежено. Зокрема, його використовують для зріджування азоту, кисню і інших компонентів повітря, тобто для досягнення криогенних температур. Дроселювання - це один з основних процесів, що протікають в парових компресійних холодильних машинах. При проходженні рідкого холодоагента через вузький перетин в регулюючому вентилі (капілярній трубці) під дією різниці тисків падіння тиску супроводжується зниженням температури всього потоку.

II.10.2 Цикли роботи холодильних машин

Кругові процеси, або цикли, що здійснюються робочими тілами (речовинами) в машинах, поділяються на прямі, в яких теплота перетворюється на роботу, і зворотні. За прямими циклами працюють теплові двигуни. Вони виробляють механічну енергію шляхом переносу теплоти з більш високого температурного рівня на більш низький. Зворотній цикл використовується машинами, що перетворюють механічну роботу в негативні теплові потоки. Так працюють холодильні машини і теплові насоси, що переносять теплоту з нижчого температурного рівня на більш високий.

Цикли Карно (прямий і зворотній) зображені на рис. II. 35 в координатах p - V (тиск - питомий об'єм).

Теплоносій, що піддається перетворенням у теплових машинах: стиснення, розширення, нагрівання, охолодження, фазовим переходам та ін., називають робочим тілом машини.

Прямий цикл Карно. Вихідним станом робочого тіла двигуна є стан точки 1. На ділянці 1-2 циклу робоче тіло стискається адіабатично, тобто без втрат теплоти. У точці 2 до нього починають ізотермічно підводити теплоту q_1 від високотемпературного джерела, в результаті чого робоче тіло розширюється по лінії 2-3. На ділянці 3-4 розширення робочого тіла триває вже без підведення теплоти, тобто адіабатично. На ділянці 4-1 від робочого тіла за допомогою джерела низької температури відбирається теплота q_2 . У двигунах, що працюють за розімкнутого циклу, коли теплоносій у кожному циклі роботи оновлюється, процес охолодження замінюється процесом оновлення теплоносія. Різниця підведеної і відведеної теплоти в циклі відповідає виробленій в циклі роботі:

$$l = q_1 - q_2.$$

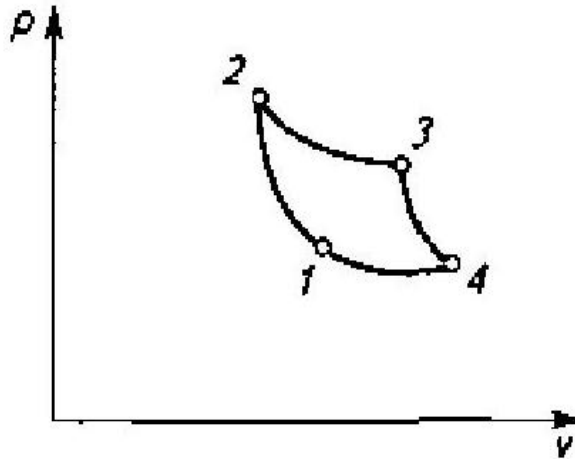


Рис. П.35 Цикл Карно

Зворотній цикл Карно. У зворотньому циклі Карно ті ж процеси відбуваються в зворотній послідовності. Початковий стан робочого тіла тепер - точка 4. Адіабатичний стислий компресором по лінії 4-3 робоче тіло охолоджується ізотермічно по лінії 3-2 і далі продовжує розширюватися адіабатично по лінії 2-1. На ізотермі 1-4 до робочого тіла підводиться теплота від камери охолодження і воно повертається до вихідного стану точки 4.

П.10.3 Класифікація обладнання

В основу класифікації апаратів для охолодження та заморожування харчових середовищ покладені наступні ознаки: призначення циклу холодильної установки, способи одержання холоду, число ступенів охолодження, вид і кількість робочих речовин, температурний рівень охолодження, корисна холодопродуктивність та ін.

Зазвичай *охолоджувальні установки* та охолоджувачі класифікують на: безперервної та періодичної дії, відкриті і закриті, плоскі і круглі, трубчасті та пластинчасті, однорядні і багаторядні (пакетні), односекційні і багатосекційні, прямотечійні та протитечійні. Серед апаратів для охолодження харчових середовищ найбільше поширення отримали охолоджувачі відкритого (зрошувальні, резервуарні) та закритого (трубчасті, пластинчасті) типів.

Для охолодження м'яса, м'ясопродуктів, птиці, риби, масла, сиру, фруктів і овочів використовуються камери або тунелі. Камери охолодження можуть бути циклічної (періодичної) або безперервної дії. Вони являють собою теплоізольовані приміщення, обладнані підвісними конвесерами, приладами охолодження і системами повітророзподілення. Тунелі являють собою теплоізольовані приміщення, по ширині яких упродовж тунелю розташовані кілька підвісних шляхів, а повітря охолоджують за допомогою повітряохолоджувачів різного типу.

Камери заморожування можуть бути з природною і примусовою циркуляцією повітря, тупиковими і прохідними, періодичної та безперервної дії. У камерах з природною циркуляцією встановлюють пристінні і стельові охолоджу-

ючі батареї, а з примусовою циркуляцією повітря - повітряохолоджувачі і спеціальні системи повітророзподілення.

Морозильні апарати бувають повітряними, плитковими і контактними. Повітряні морозильні апарати являють собою теплоізовані тунелі, всередині яких розміщені охолоджуючі батареї, вентилятори і транспортуючі засоби. Плиткові морозильні апарати призначені для заморожування упакованих продуктів (рибного філе, м'яса в блоках, плодоовочевих наборів та ін..) і мають систему безпосереднього охолодження. Заморожування у контактних апаратах проводять методом зрошення або занурення.

Фризери бувають періодичної та безперервної дії, а ескімогенератори - карусельного типу. Льодогенератори є для приготування сніжного і кускового льоду, причому сніжний лід отримують у льодогенератор вертикального і горизонтального типів.

Установки криогенного заморожування підрозділяють на рефрижераторні, зріджувальні і газорозподільні. Рефрижераторні установки призначені для охолодження та термостатування, зріджувальні - для переведення речовини в рідкий стан, а газорозподільні - для поділу газових сумішей на складові компоненти.

За призначенням розрізняють побутові холодильники, морозильники та холодильники-морозильники. Залежно від способу одержання холоду побутові холодильники можуть бути компресійними, абсорбційними і термоелектричними. Залежно від способу їх установки - підлоговими, типу шафи, і блочно-вбудованими. Залежно від числа камер - одно-, дво- і трикамерні.

П.10.4 Види холодильного обладнання

Плоскі зрошувальні охолоджувачі типу Г2-ООА-1 (рис. П.36) призначені для охолодження молока, вершків та інших рідких молочних продуктів.

Зрошувальний охолоджувач складається з верхньої 2 і нижньої 3 секцій, зібраних з теплообмінних труб. З боків розташовані герметично скріплені з трубою решіткою колектори. Ці колектори розподіляють потік води і розсолу послідовно по кожній трубі. У верхній частині охолоджувача знаходиться приймач 1 для прийому гарячого молока і розподілу його тонким шаром по зовнішній поверхні теплообмінних труб. У нижній частині розташований приймач 4 для збору охолодженого молока. Охолоджувач встановлений на кронштейні 6.

Пластинчаста охолоджувальна установка АОЗ-У6 призначена для охолодження сула перед бродінням та пива перед розливом. Установка (рис. П. 37) складається з охолоджувача 1, пульта керування 2, що регулює клапан 5 на трубопроводі розсолу і теплопередаючих пластин 3, виготовлених з нержавіючої сталі.

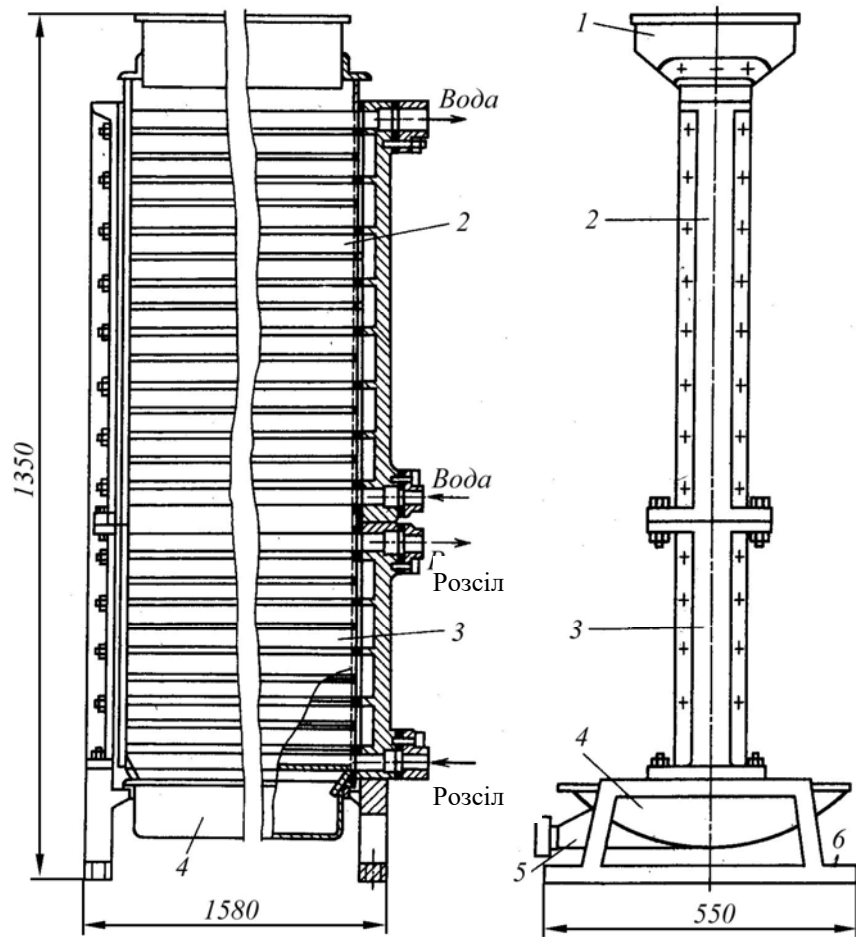


Рис. П.36 Зрошувальний охолоджувачі типу Г2-ООА-1

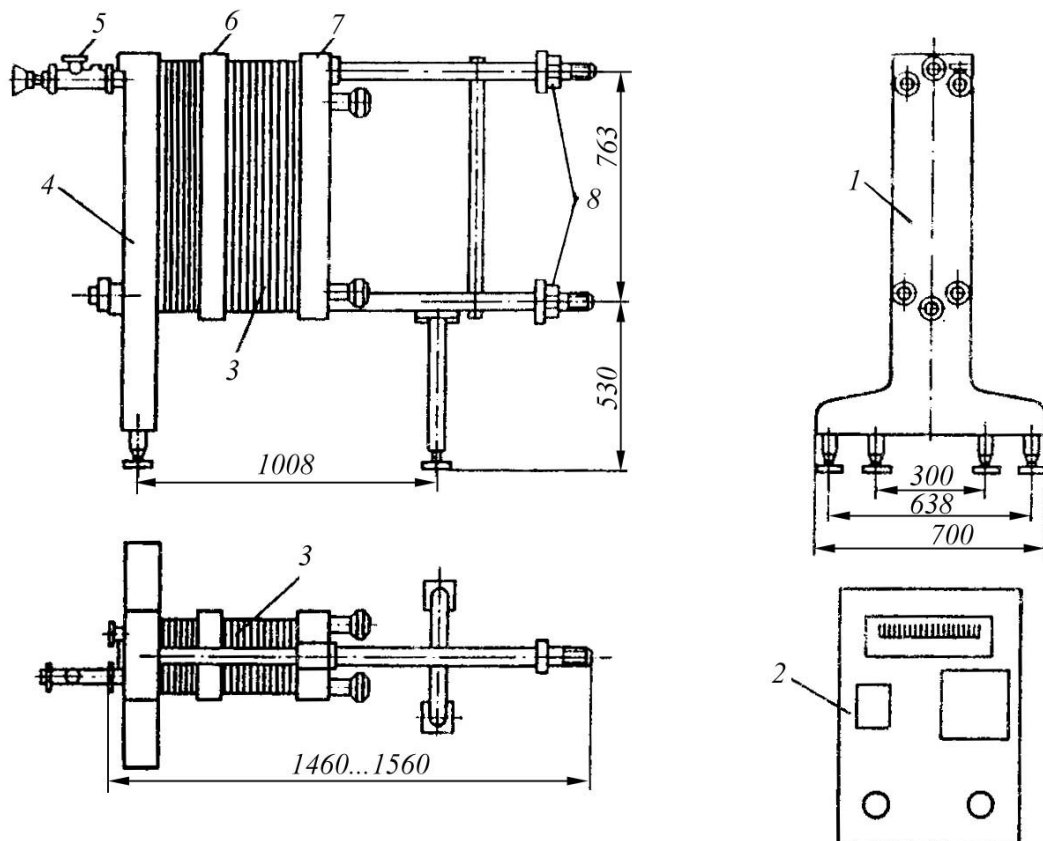


Рис. П.37 Пластинчаста охолоджувальна установка АОЗ-У6

Частина теплообмінника охолоджується одним теплоносієм і складається з одного або декількох пакетів, що являють собою секцію. Пластини розбиті на дві секції, відокремлені одна від іншої спеціальною плитою 6. Залежно від наявності та розташування наскрізних отворів на кутах пластин в секціях створюються пакети з одним напрямком потоку рідини. Пластини притискаються до стійки 4 за допомогою натискної плити 7 і натискних пристроїв 8 на направляючих.

Гаряче сусло з відстійного апарату насосом нагнітається в першу секцію, де охолоджується холодною водою з 70 до 25°C. З секції водяного охолодження сусло надходить в другу секцію, де охолоджується розсолем до 6...7°C і виводиться з апарату. Сусло рухається двома паралельними потоками між стійкою і пластинами. Охолоджуюча рідина двома паралельними потоками рухається назустріч суслу між пластинами. Якщо за один прохід між пластинами сусло не встигає охолотитися до певної температури, то його пропускають через наступну групу пластин цього ж теплообмінника.

На рис. П.38 показані в розрізі дві пластини, між якими утворюється зигзагоподібний канал для рідини. Пластина у верхній і нижній частинах має 4 отвори, які в зібраному вигляді утворюють канали для подачі і відведення рідин. Напівкруглі вирізи вгорі і внизу пластини служать для встановлення пластин на станині.

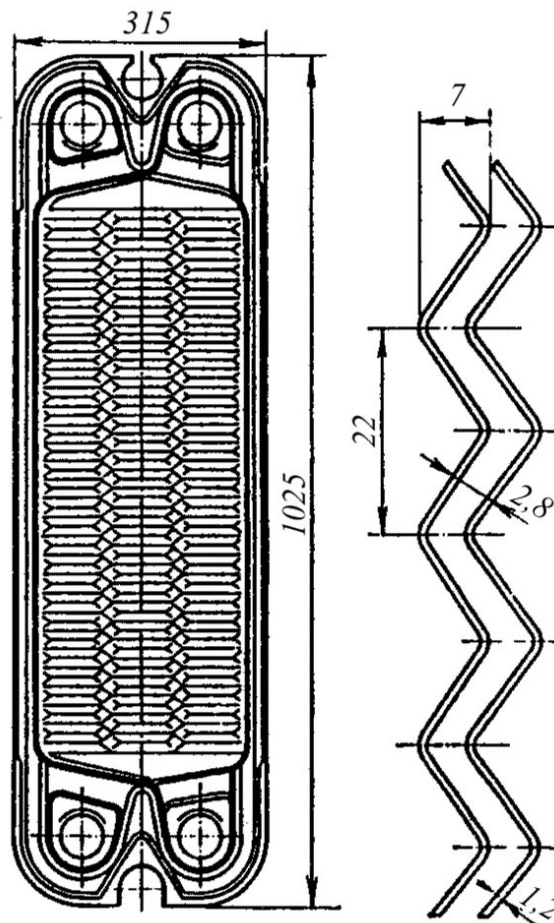


Рис. П.38 Пластини охолоджувача

Камери охолодження та заморозки.

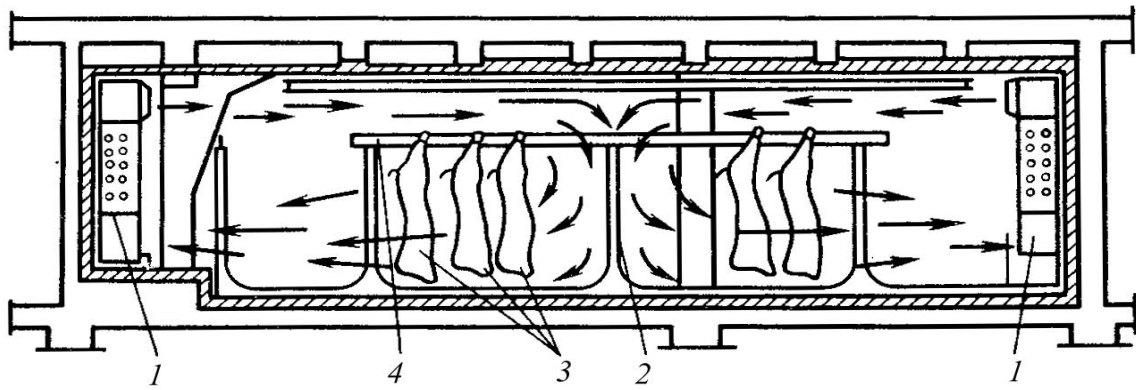
Охолодження м'яса та м'ясопродуктів в повітрі можна здійснити як одностадійним способом (при постійному режимі протягом всього процесу охолодження 30...36 год. при температурі повітря близько 0°C, відносній його вологості 87...97% і швидкості руху 0,15...0,25 м/с), так і двох-і тристадійному способами, коли кожна стадія процесу відрізняється за параметрами тепловідвідного середовища (на першій стадії процесу температура охолоджуючого повітря не нижче -8 °С при швидкості його руху 1,0 ... 2,0 м / с і тривалості процесу охолодження 7 ... 10 год.). Технологія заморожування м'яса передбачає два способи: двофазний, коли заморожується попередньо охолоджене м'ясо, і однофазний, коли заморожується парне, ще тепле м'ясо. В апаратах інтенсивного заморожування температура повітря підтримується -30...-40° С при швидкості його руху 2,0...3,0 м/с. Тривалість заморожування в таких умовах становить 16...24 год при усушці - 1,5%.

Камери охолодження (рис. П.39) з поперечним рухом повітря або з дуттям повітря зверху вниз призначені для охолодження м'яса і можуть бути циклічної (періодичної) або безперервної дії.

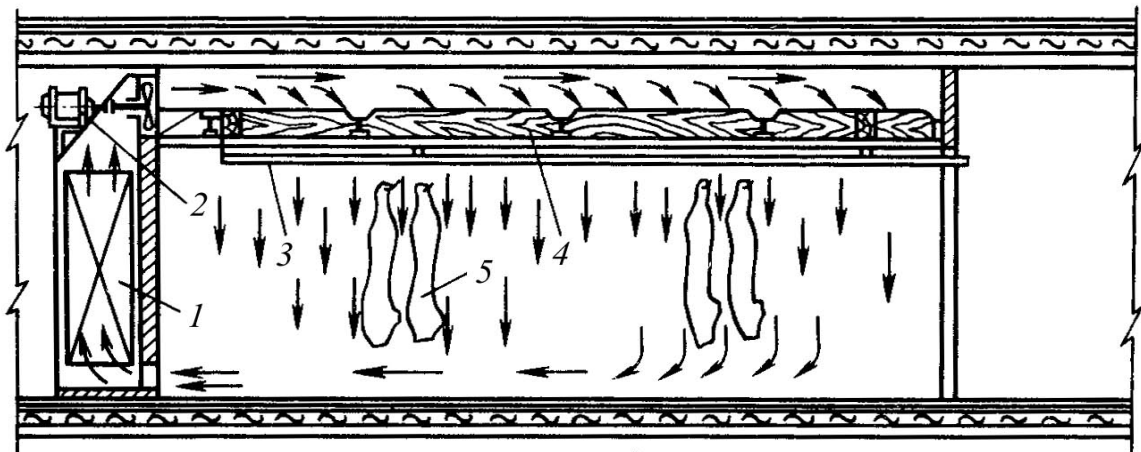
Камера охолодження з поперечним рухом повітря (рис. П.39, а) складається з повітроохолоджувача 1, перегородок 2, охолоджуємих напівтуш м'яса 3, які переміщуються за допомогою підвісного шляху 4 (стрілки показують напрямок руху повітря). Камера охолодження з подачею повітря зверху вниз (рис. П.39, б) включає в себе повітроохолоджувач 1, вентилятор 2, фальш-стелю 4. Туші для охолодження 5 переміщуються за допомогою підвісного шляху 3, на який м'ясо завантажують за допомогою конвеєра або вручну, одночасно сортуючи його по категоріям вгодованості і масі. Розміщують туші на рамах з інтервалами в 30...50 мм. На ділянці підвісного шляху довжиною 1 м розміщують 2...3 яловичих або 3...4 свинячих напівтуші. Великі туші розміщують в зоні з найбільш низькою температурою та найбільш інтенсивним рухом повітря.

Камери заморожування (рис. П.40) забезпечують заморожування м'яса і м'ясопродуктів та можуть бути з вимушеним чи природним рухом повітря. Камери з вимушеним рухом повітря обладнують повітроохолоджувачем, а іноді й батареями у поєднанні з різними системами повітророзподілення, а камери з природним рухом повітря - пристінними, стельовими або міжрядними радіаційними батареями.

Залежно від організації технологічного процесу камери заморожування можуть бути однофазового або двофазового заморожування. У камерах однофазового заморожування передбачена значна площа поверхні охолоджуючих пристроїв. Конструктивно камери заморожування виконують прохідними або тупиковими. У прохідних камерах м'ясо завантажується і вивантажується через двері, розташовані зазвичай в торцевих стінах камери. У тупикових камерах завантаження і вивантаження відбуваються через одні загальні двері.



а)



б)

Рис. П.39 Принципова схема камери охолодження м'яса:
а – з поперечним рухом повітря, б – з подачею повітря згори-вниз

Камери заморожування м'яса можуть працювати безперервно або періодично. У камерах тунельного типу, що працюють безупинно, здійснюється поточковий технологічний процес.

Устаткування камери заморожування тунельного типу з поперечним рухом повітря (рис. П.40, а) складається із стельових повітроохолоджувачів 1 з напрямними апаратами 6, розташованих над фальш-стелею 3 та підвісними шляхами 5, укріпленими на підвісках 2. Охоложене в повітроохолоджувачах повітря направляєтся в камеру через нагнітальні отвори 4 в фальш-стелі і омиває напівтуші м'яса. Тепле повітря через всмоктуючий отвір направляєтся в охолоджувач повітря і знову на охолодження. У морозильній камері тунельного типу з міжрядними батареями (рис. П.40, б) розміщено чотири тунелі, в кожному з яких є один підвісний шлях для підвішування і пересування м'яса.

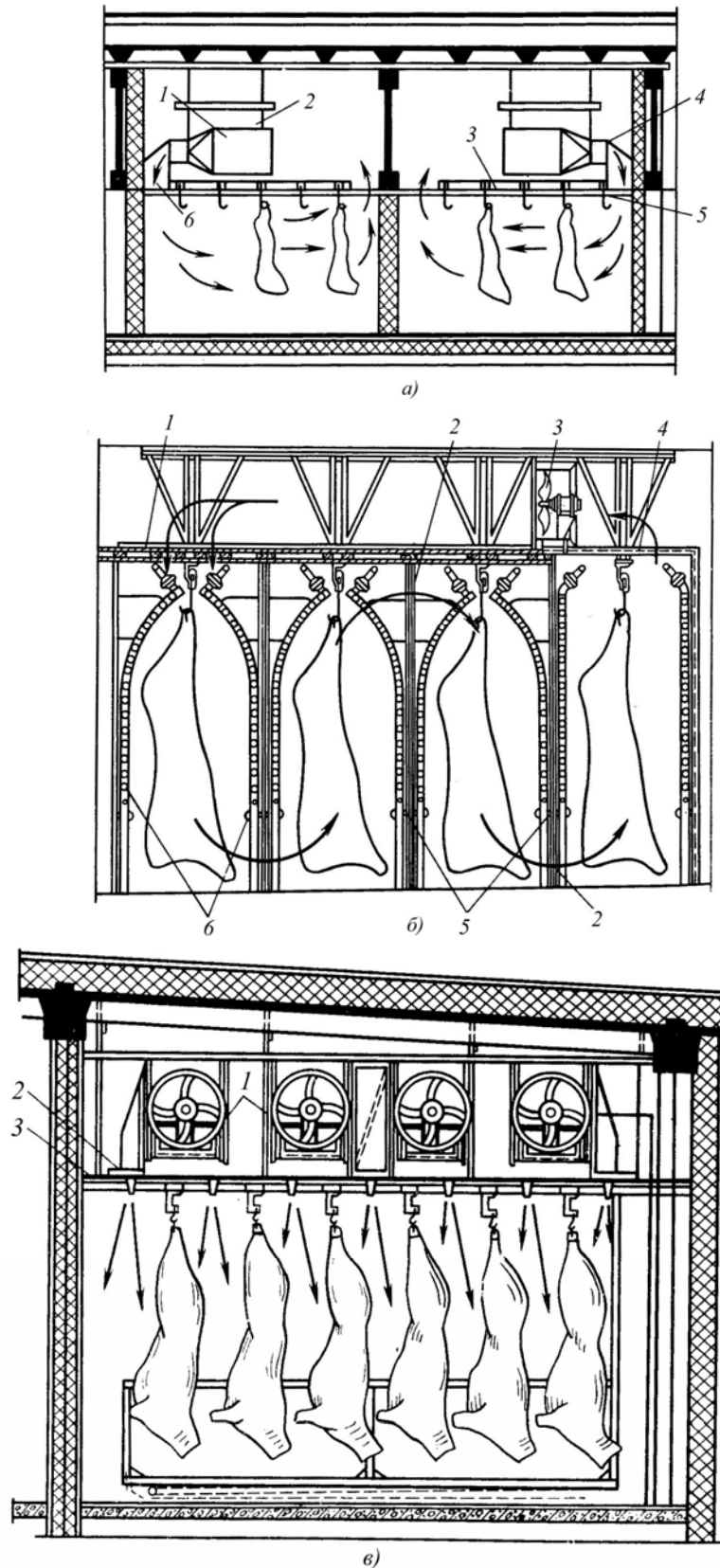


Рис. П.40 Принципова схема камери заморожування м'яса:
 а – однофазного с поперечним рухом повітря; б – с міжрядними батареями;
 в – тупикового типу

Вздовж стін кожного тунелю встановлені пристінні ребрені батареї 6. Повітря нагнітається вентилятором 3 по каналу, утвореному фальш-стелею і пере-

криттям камери, через нагнітальні отвори 1 направляється в перший тунель, у якому, рухаючись зверху вниз, охолоджує напівтуші. Через отвір 5 у нижній частині перегородки 2 першого тунелю повітря потрапляє в другий тунель, в якому він циркулює вже знизу вгору. Далі повітря через отвір перегородки переходить у третій тунель, опускається вниз і прямує в четвертий тунель, з якого засмоктується вентиляторами через отвір 4, і знову прямує в перший тунель. Наближення в таких камерах теплообмінників до поверхні продукту дає можливість використовувати не тільки конвективний, але і радіаційний теплообмін, що скорочує тривалість заморожування і зменшує усушку.

Камери заморожування тупикового типу з фальш стелею (рис. П.40, в) мають повітроохолоджувач з всмоктувальним отвором близько підлоги камери. Охолоджене повітря видаляється з повітроохолоджувачів вентилятором 1 в простір між перекриттям і фальш-стелею камери, які знаходяться на рівні каркаса підвісних шляхів. У вантажний об'єм камери заморожування повітря надходить через щілинні сопла 2 по обидві сторони ниток підвісних шляхів 3.

Морозильні апарати

У сучасній холодильній техніці застосовують такі типи морозильних апаратів: з інтенсивним рухом повітря; багатоплиточні морозильні апарати; контактні морозильні апарати та ін

Конвеєрний повітряний морозильний апарат призначений для заморожування фасованих плодів і овочів і може бути виконаний з сітчастим конвеєром і поперечним рухом повітря або з стрічковим конвеєром і поздовжнім рухом повітря.

Для заморожування плодів і овочів розсипом використовуються повітряно морозильні апарати з сітчастим конвеєром 5 (рис. П.41, а), через який продувається холодне повітря з охолоджувача 1 за допомогою відцентрового вентилятора 3, що працює від приводу 2. Упакований продукт 4 (ягоди, зелений горошок, квасоля та ін.), укладений розсипом на сітчастому конвеєрі, заморожується при температурі -30°C .

Стрічковий конвеєр 4 морозильного апарату (рис. П.41, б) дозволяє заморожувати картоплю, моркву, буряк та інші упаковані продукти 3 за допомогою повітроохолоджувача 2 і відцентрового вентилятора 1, що забезпечують поздовжній рух повітря.

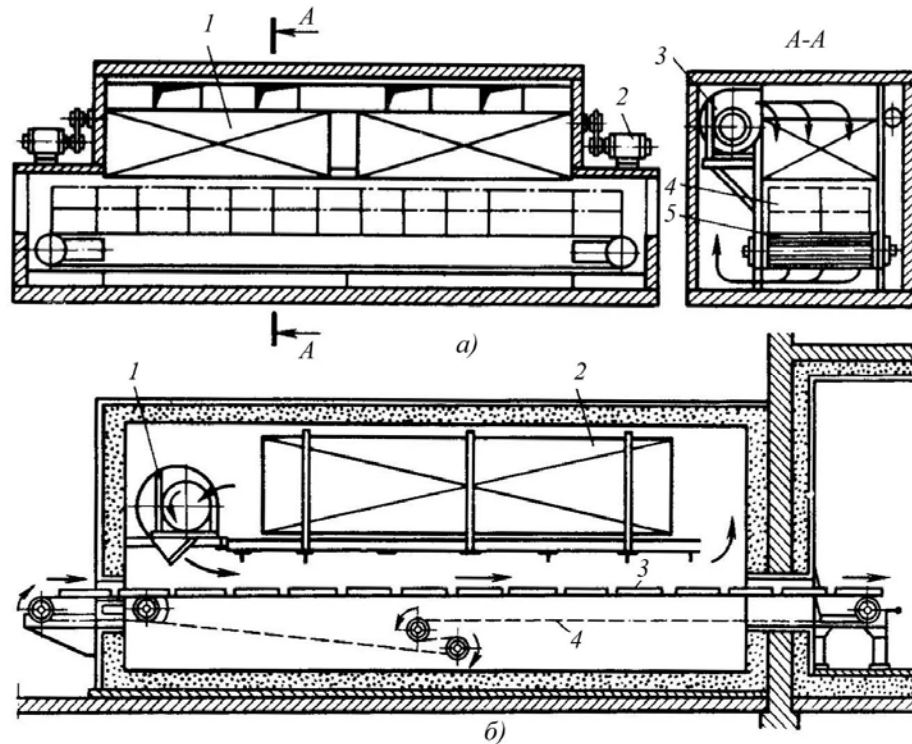


Рис. П.41 Принципова схема конвеєрного морозильного апарата для заморожування запакованих продуктів:

а – з сітчастим конвеєром і поперечним рухом повітря; б – зі стрічковим конвеєром та повздовжнім рухом повітря

Швидкоморозильний апарат Я10-ОАС.М (рис. П.42) забезпечує виробництво заморожених пельменів, вареників, фрикадельок і ін.

Основними вузлами апарату є ізоляційний контур 1, конвеєр подаючий, підморожуючий 2, барабан галтовочний і доморожуючий 9, спільний блок батарей 12 і 13 повітроохолоджувач, ніж знімання пельменів 16, лоток для вивантаження пельменів 11. Швидко морозильний апарат працює спільно з формами пельменного автомата. На верхню стрічку підморожуючого конвеєра 2 пельменноформуєча машина укладає три тістофаршевих джгута з допомогою формуючих пристроїв. Потім їх направляють в зону підсушування повітрям. Штампуючим барабаном із джгутів накочуються пельмені, які направляються у швидко морозильний апарат. Перед попаданням в ізоляційний контур 1 апарата сформовані вироби піддаються візуальному контролю. Верхня і нижня гілки конвеєра 2 закриті в індивідуальні коробки-повітропроводи 3 і 4, що забезпечують рух повітря вздовж осі транспортерної стрічки. Потрапляючи в повітропровід 3 верхньої гілки конвеєра, продукт обдувається холодним повітрям з патрубка 7 при температурі $-30 \dots -35 \text{ }^\circ\text{C}$, яке подається вентилятором 5 через додатковий блок батарей 12. На нижній гілці конвеєра в повітроводі 4 з патрубком 8 продукт омивається повітрям від вентилятора 6 з контуру швидко морозильного апарату. При попаданні виробів у нижній повітропровід температура їх тістової оболонки вже дорівнює або нижче криоскопічної. Далі вироби зрізуються з нижньої гілки конвеєра ножем 16 і по лотку 10 направляються в галтовочний доморожуючий барабан 9. Барабан спирається на дві пари опорних роликів і

має зовні привідний ланцюг, приварений до бандажу. Проходячи вздовж осі барабана, пельмені галтуються, звільняються від галтованої крихти та доморожуються. Весь цикл заморожування і галтовки складає 18 ... 20 хв. Для доморожування виробів використовується повітря від повітроохолоджувальної батареї 13 та двох осьових вентиляторів 14 і 15. Доморожені пельмені виводяться з апарата за допомогою лотка 11. Пульти управління апарату 18 розташовані на майданчику 17.

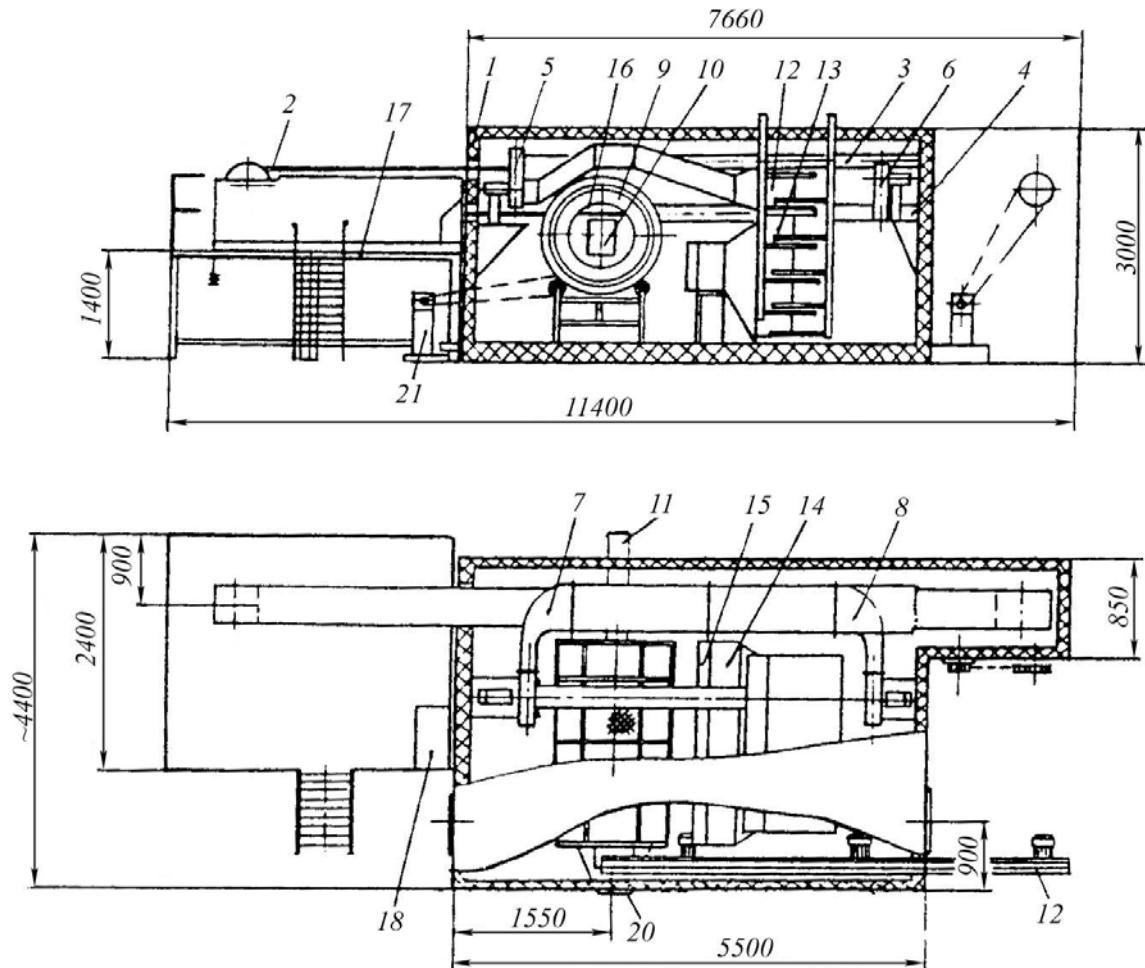


Рис. П.42 Швидкокомрозильний апарат Я10-ОАС.М

Фреоновий апарат для заморожування дрібних штучних продуктів (рис. П.43) відноситься до контактних апаратів, в якому продукт що підлягає заморожуванню надходить на стрічку вантажного конвеєра 4 з завантажувального тунелю 1 через лоток 8, де охолоджується рідким фреоном, що поступає зі зрошувального пристрою 5. Утворений в результаті теплообміну пароподібний фреон конденсується за допомогою холодильної машини на поверхні конденсатора випарника 2, розташованого над зрошувачем. Сконденсованої фреон стікає в піддон 6 і знову направляється насосом 7 в зрошувальний пристрій. Заморожений продукт по розвантажувальному тунелю 3 відводиться з апарата. Фреоновий апарат такої конструкції знаходиться в ізольованому контурі 9.

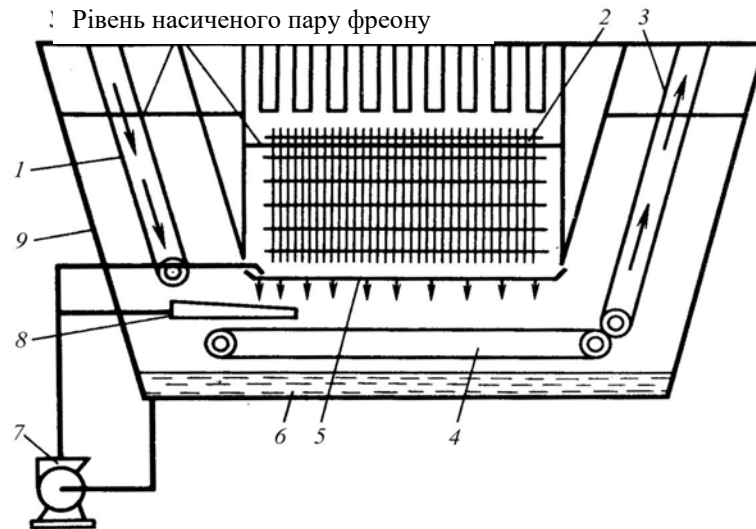


Рис. П.43 Принципова схема фреонового апарату для заморожування

Фризер Б6-ОФМ (рис. П.44) призначений для виробництва м'якого морозива з рідкої суміші. У корпусі фризера розміщені дві автономні системи приготування морозива, кожна з яких складається з ємності 3 для попередньо підготовленої, вихідної рідкої суміші.

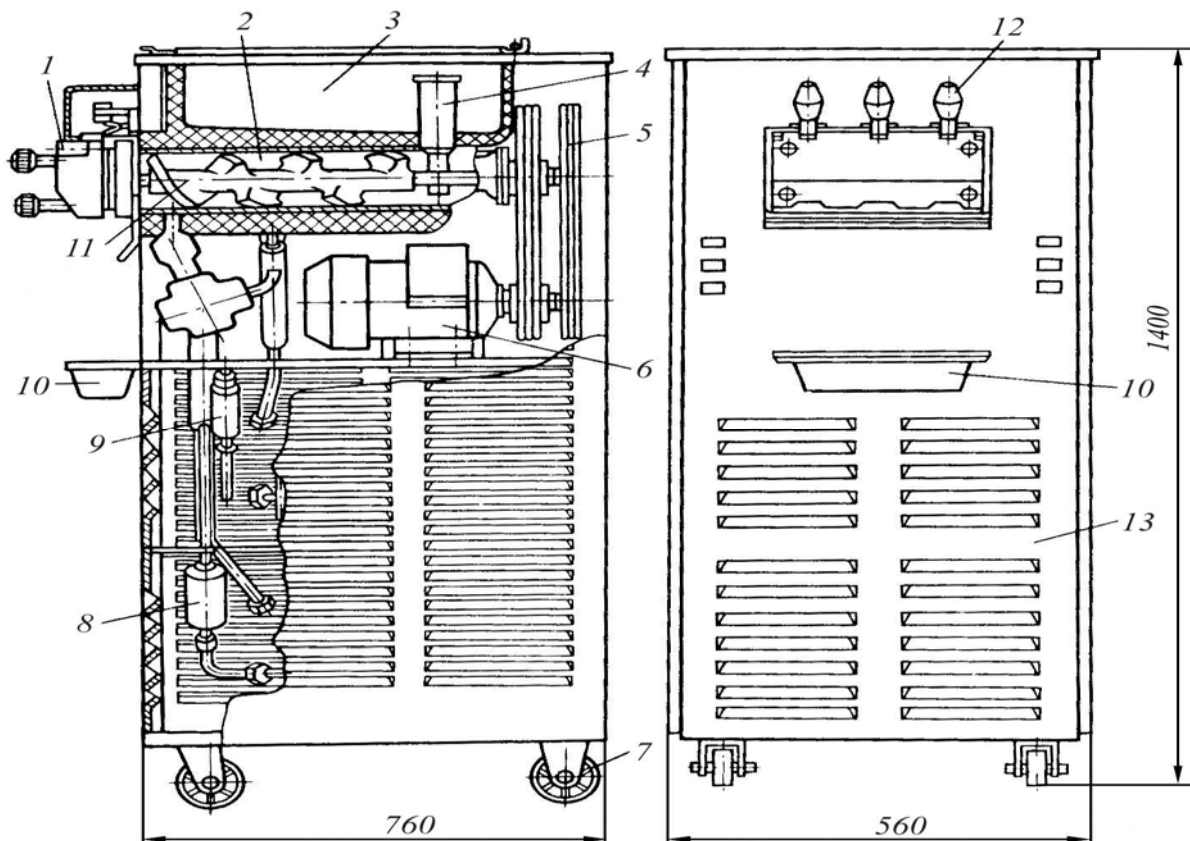


Рис. П.44 Фризер Б6-ОФМ

Суміш заливають у ємність, звідки вона через клапан 4 разом з повітрям надходить в циліндр 2. В сорочці циліндра, яка є випарником, кипить холодоагент R 502. Суміш у циліндрі охолоджується і постійно перемішується мішалкою 11, обертання якої забезпечується від індивідуального електродвигуна 6

через клинопасову передачу 5. Кожен циліндр обслуговується низькотемпературним герметичним агрегатом з фільтрами-осушувачами 8 і 9, що розміщені в нижній частині фризера. Корпус фризера закрито огорожею 13, на якому розміщені рукоятка 12 і полка 10. Фризер переміщується на колесах 7.

При охолодженні суміші в циліндрі до -5°C реле температури вимикає холодильний агрегат і включає сигнальну лампу. За допомогою рукоятки 12 відкривають випускний пристрій 1, і морозиво виштовхується з циліндра мішалкою.

Вертикальний льодогенератор Л-250 (рис. П.45) являє собою порожнистий циліндр 1, оточений охолоджуючою сорочкою. У сорочку подають рідкий холодоагент. На внутрішню поверхню циліндра насосом через форсунки 5 розбризкують воду. Стікаючи, вода замерзає тонким шаром льоду, який зрізується ножем 2, що укріплений на вертикальній осі 3. Отриманий лід разом із водою падає в піддон 4, звідки надходить у виробництво або для виготовлення брикетів. Вертикальні льодогенератори Л-250 мають продуктивність 250 кг/год.

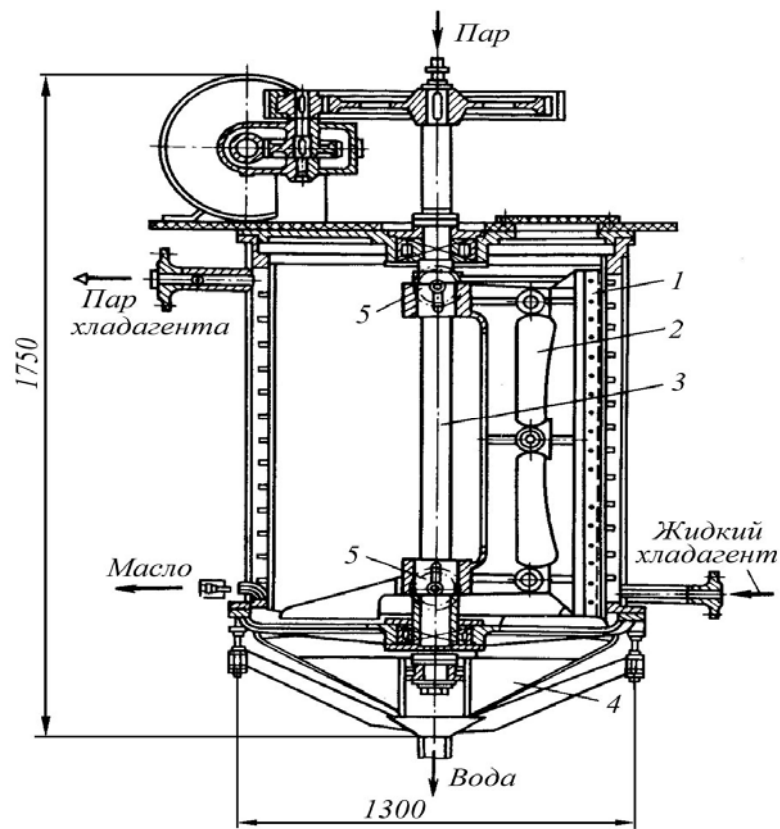


Рис. П.45 Вертикальний льодогенератор

Льодогенератор ЛТ-50 (рис. П.46) складається з двох блоків: приготування льоду і машинного відділення. Всі вузли льодогенератора змонтовані в металевому корпусі, виконаному з листової сталі і встановленому на регульованих опорах.

Відділення приготування льоду знаходиться зверху над машинним відділенням, складається з теплоізованого бункера для зберігання льоду, а над ним розташована ванна 13, в яку надходить вода для приготування льоду. У лі-

вій частині ванни встановлений насос 3, частина якого занурена у ванну з водою. Над ванною розміщена зрошувальна трубка 2 з форсунками 12, з'єднана з нагнітальним патрубком насоса гумовою трубкою. Для запобігання попаданню в бункер води, що виходить з форсунок зрошувальної трубки у вигляді фонтанчиків, передбачена захисна шторка. Над зрошувальною трубкою встановлено випарник 9, який являє собою прямокутну пластмасову ванну, в яку вставлені мідні пальці, з'єднані між собою послідовно, мідними кулачками. Всередині кожного пальця є вертикальна перегородка. Під випарником встановлена похила решітка 10, по якій лід скочується в бункер. Корпус відділення приготування льоду теплоізолюваний.

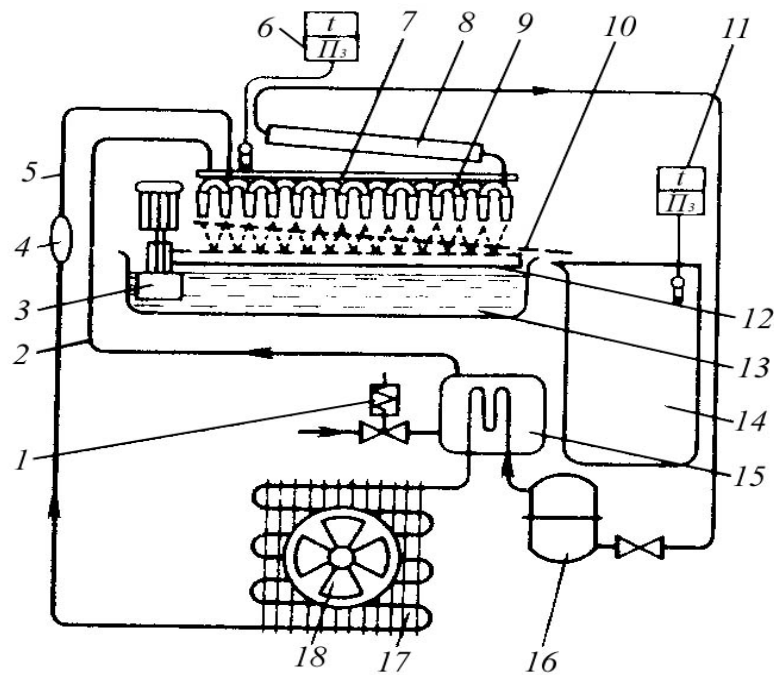


Рис. П.46 Принципова схема льодогенератора горизонтального типу

У машинному відділенні розміщені холодильний агрегат, що складається з компресора 16, конденсатора 17, вентилятора 18, теплообмінника 15, фільтра-осушувача 4 і електрошита.

При роботі льодогенератора холодоагент R 22 дроселює в капілярній трубці 5 і надходить в пальці випарника. Насос подає до зрошувального колектора воду, яка виходить через його форсунки та омиває зовнішню поверхню пальців випарника. Частина води шарами намерзає на пальцях, решта стікає у ванну і знову подається насосом у зрошувальну трубку. Під час роботи холодильної машини гаряча пара холодоагенту, стиснена компресорами підігріває воду в теплообміннику. Рідкий холодоагент відділяється у віддільнику 8. При охолодженні випарника до температури $-6 \dots -12^\circ \text{C}$ реле температури 6 вмикає реле часу, яке через 13 хв. вмикає холодильний агрегат і водяний насос. Електромагнітний клапан 1 включається і, вода що нагрівається в теплообміннику витісняється у ванну випарника 7 холодною водою з водопровідної мережі. Пальці випарника підігріваються, циліндрики льоду сходять з пальців, падають на по-

хилу решітку і зісковзують у бункер 14, в якому встановлено реле температури 11.

Вода з ванни випарника стікає через калібрований отвір у ванну насоса. Щоб уникнути переповнення ванни водою, в ній встановлений переливний патрубков. Через дві хвилини після початку відтанення реле часу відключає електромагнітний вентиль, включає холодильний агрегат і водяний насос. У режимі «Промивання» працює тільки водяний насос, який прокачує воду (або миючий розчин) через зрошувальну трубку для видалення часток мінеральних солей з поверхні пальців випарника, форсунок зрошувальної трубки, лопаток і корпусу насоса.

Установки кріогенного заморожування

Кріогенне заморожування харчових продуктів рідким азотом протікає швидко і при дуже низьких температурах. Існує кілька способів заморожування харчових продуктів за допомогою рідкого азоту: при безпосередньому контакті з газоподібним азотом; зануренням у азот; зрошенням рідким азотом. За звичайних умов азот - інертний газ без запаху і смаку, який при контакті з харчовими продуктами шкідливого впливу на них не надає. Отримують азот шляхом зрідження повітря з подальшим його поділом на азот і кисень в ректифікаційних колонах, використовуючи різниці температур кипіння при атмосферному тиску: азоту -196°C , а кисню -183°C .

Температура замерзання азоту становить -210°C , питома теплота пароутворення 200 кДж / кг , щільність рідини $0,81 \text{ кг / л}$, щільність газу $1,251 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності газу $0,026 \text{ Вт}\cdot\text{теплопровідності рідини } 0,207 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, газу $- 0,29 \text{ Вт / (кг}\cdot\text{теплоємність рідини } 0,573 \text{ Вт/кг}$. Для усунення розтріскування при заморожуванні в рідкому азоті продукт попередньо охолоджують парами азоту.

Установка для заморожування продуктів рідким азотом (рис. П.47) складається з конвеєра завантаження 1, вантажного конвеєра 2, розміщених в ізолюваній камері 4 з вентилятором 3, а також колектора 5 з форсунками для

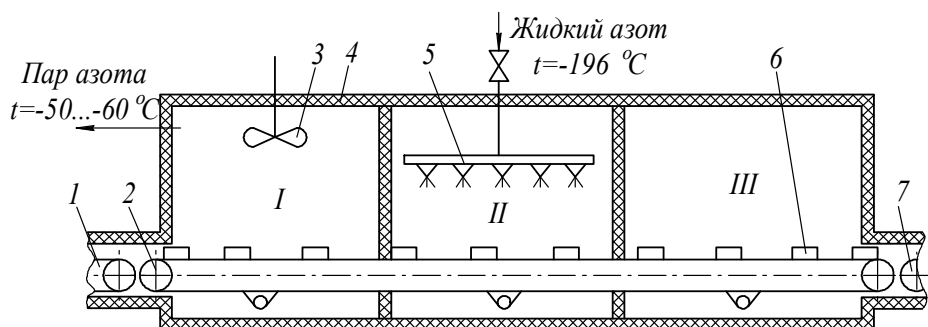


Рис. П.47 Принципова схема установки для заморожування продуктів рідким азотом

розпилення рідкого азоту й конвеєра вивантаження 7. Пари азоту із середньої зони II за допомогою вентилятора 3 направляються в зону I попереднього охо-

лодження, де продукт 6 охолоджується до -1°C . Потім продукт надходить у зону заморожування II, а звідти в зону вирівнювання температур III за обсягом продукту до середньої кінцевої температури. Азот виходить з установки з температурою $-50 \dots -60^{\circ}\text{C}$. У такій установці відсутнє машинне охолодження, вона проста в обслуговуванні, в ній не потрібне постійне джерело енергії, а також відсутня система відтавання.

Установка для заморожування пельменів рідким азотом представлена на рис. П.48.

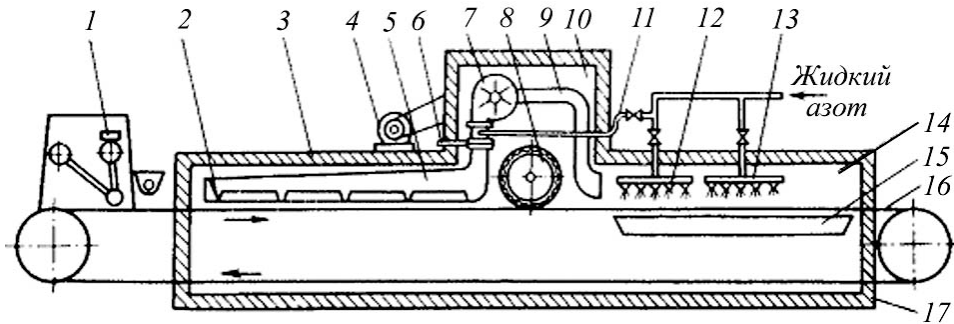


Рис. П.48 Принципова схема установки для заморожування пельменів рідким азотом

Штамування і заморожування пельменів здійснюється безпосередньо на металевій стрічці конвеєра з корозійностійкої сталі при температурі 196°C , над якою встановлено пельменний апарат 1. На рамі конвеєра встановлена ізотермічна морозильна камера 17 з подвійними стінками з поворотною заслінкою 2. У камері встановлено чотири температурні зони. У зоні попереднього охолодження 3 продукт охолоджується холодними парами газоподібного азоту. У зоні штампування 10 фарш подається під штамп, де утворюються пельмені. У зоні зрошення 12 пельмені заморожуються при зрошенні їх рідким азотом, що поступають з ємності під надлишковим тиском. У зоні вирівнювання температур 14 встановлюється однакова температура по всій масі продукту. У зоні попереднього охолодження розміщується нагнітальний повітропровід 5 прямокутного перерізу з щілинними насадками, зверненими до стрічки, і двома шибєрних заслінками 6, що дозволяють регулювати кількість подаваного газу, змінювати його швидкість і напрямок руху над продуктом. Для отримання та підбору необхідних температур у повітропровід врізаний трубопровід подачі рідкого азоту 11, який, випаровуючись, охолоджує повітряний потік до $-50 \dots -120^{\circ}\text{C}$. У зоні штампування встановлений штампувальний пельменний барабан 8 і вентилятор 7 з електродвигуном 4 для нагнітання за допомогою повітропроводу 9 парів азоту, що утворюються в зоні зрошення, в зону попереднього охолодження. У зоні зрошення встановлено три колектора 13, з десятьма форсунками на кожному, для розпилення рідкого азоту при температурі -196°C . Для збору не випареного рідкого азоту під стрічкою конвеєра встановлений піддон 15 з корозійностійкої сталі. При переповненні піддону азот насосом знову подається у форсунки, при цьому перекидається солєноїдний вентиль на трубопроводі подачі рідкого азоту з ємності. Зона вирівнювання температур спеціально не охоло-

джується, але через близьке розташування зони зрошення в ній досягається температура $-20 \dots -60 \text{ }^\circ \text{C}$. Час обробки пельменів у зонах: попереднього охолодження - 60 с, штампування - 10 с, зрошення - 90 с, вирівнювання температур - 30 с. Вирівнювання температур триває 3 ... 5 хв. Для зменшення довжини установки доцільно зону вирівнювання температур встановлювати під основною стрічкою конвеєра (під зоною зрошення).

Запитання для самоперевірки до розділу II

1. Способи теплопередачі. Основне рівняння теплопровідності.
2. Теплопередача через стінку. Коефіцієнт теплопередачі.
3. Класифікація теплообмінних апаратів.
4. Конструкція рекуперативних теплообмінних апаратів.
5. Кожухотрубний теплообмінний апарат.
6. Теплообмінники з лінзовими компенсаторами та плаваючою голівкою.
7. Роторний та спіральний теплообмінники.
8. Пластинчаті теплообмінні апарати.
9. Змішувальні теплообмінні апарати.
10. Обладнання для випарювання. Випарний апарат ВАПП-1250.
11. Багатокорпусне випарювання.
12. Конденсаційні барометричні установки.
13. Класифікація обладнання для випікання.
14. Піч з каналним обігрівом РЗ-ХПА. Конструкція, принцип дії.
15. Тупикові печі. Конструкція та принцип роботи.
16. Печі з електрообігрівом.
17. Основні теоретичні відомості охолодження та заморожування продуктів.
18. Класифікація холодильного обладнання.
19. Зрошувальний охолоджувач молока Г2-ООА-1. Принцип дії та будова.
20. Пластинчаті охолоджувальні установки.
21. Камери охолодження м'яса.
22. Камери заморожування м'яса.
23. Швидкоморозильний апарат для пельменей.
24. Вертикальний льодогенератор Л-250.
25. Льодогенератори горизонтального типу.
26. Установки криогенного заморожування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азрилевич М.Я. Оборудование сахарных заводов. – 3-е изд. – М.: Легкая и пищевая пр-ть, 1982. – 392 с.
2. Балашов В.Е. Оборудование предприятий по производству пива и безалкогольных напитков. — М.: Лег. и пищ, пром-сть, 1984. – 248 с.
3. Буров Л.Л., Медведев Г.М. Технологическое оборудование макаронных предприятий. — М.: Пищ. пром-сть, 1980. – 248 с.
4. Гальперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. – М.: Химия, 1981, – 812 с.
5. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник. — М.: Пищ. пром-сть, 1990. – 196 с.
6. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов . – 2-е изд., 1983, – 320 с.
7. Жбанков Б.В. Технологическое оборудование ликеро-водочного производства. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983.
8. Золотин Ю.П., Френклах М.Б., Пашутин Н.Г. Оборудование предприятий молочной промышленности. — М.: Агропроиздат, 1985. – 270 с.
9. Иванов А.И. Оборудование спиртового производства. — М.: Пищ. пром-сть, 1972. – 216 с.
10. Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1991 – 432 с.
11. Колесник Б.Г. и др. Справочник механика сахарного завода. Технологическое оборудование / Колесник Б.Г., Лысиков В.П., Парходько А.П. – М.: Легкая и пищевая пр-ть, 1987. – 264 с.
12. Конструирование и расчет машин химических производств. / Ю.Н. Гусев, Н.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985, – 408 с.
13. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебзаводов и пути его совершенствования. — М.: Легпищемаш, 1982. – 290 с.
14. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1: Учеб. для вузов/ С.Т.Антипов, И.Т.Кретов, А.Н. Остриков и др. Под ред. В.А.Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001, – 703 с.
15. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: Учеб. для вузов/ С.Т.Антипов, И.Т.Кретов, А.Н. Остриков и др. Под ред. В.А.Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001, – 680 с.
16. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности. Т. 1У-17 / С.А.Мачихин, В.Б.Акопян, С.Т.Антипов и др. Под ред. С.А.Мачихина 2003. – 736 с.
17. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та інші. За ред. В.Г. Мирончука. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
18. Оборудование для убой скота, птицы, производства колбасных изделий и птицепродуктов: Справочник /Под ред. В.М. Горбатова. — М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 473 с.

19. Оборудование и материалы для мясоконсервного и вспомогательного производства: Справочник. / Под ред. В.М. Горбатова. — М.: Пищ. пром-сть, 1976. — 438 с.
20. Основные процессы и аппараты химической технологии / Пособ. по проектир.; Под ред. Ю.И. Дытнерского. — М.: Химия, 1983. — 272 с.
21. Пелеев АЛ. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: Учебник. — М.: Пищ. пром-сть, 1971. — 519 с.
22. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Под редакцией В.И. Стабникова — К.: «Вища школа» Головне видавництво, 1982, — 199 с.
23. Современные технологи и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч.1/ В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.: под ред. В.О. Штангеева. —К.: «Цукор України», 2003. — 352 с.
24. Современные технологи и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч.2/ В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.: под ред. В.О. Штангеева. —К.: «Цукор України», 2004. — 320 с.
25. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. — М.: Машиностроение, 1983. — 447 с.
26. Справочник по производству безалкогольных напитков /В.Е. Балашов, И.И. Балантер, С.М. Беленький и др., — М.: Пищ. пром-сть, 1979. — 368 с.
27. Сурков В Д., Липатов Н.П., Золотин Ю.П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. — М.: Пищ. пром-сть, 1983. — 432 с.
28. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв / За ред. О.Т. Лісовенка. — К.: Наук, думка, 2000. — 282 с.
29. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности / В.И. Попов, И.Т. Кретов, В.Н. Стабников, В.К.Предтеченский. — М.: Лег и пищ. пром-сть, 1983. — 404 с.
30. Технологическое оборудование хлебопекарных предприятий / Ю.П. Головань и др. — М.: Агропромиздат, 1988. — 382 с.
31. Устройство и эксплуатация оборудования предприятий пищевой промышленности./Под редакцией А.И. Даишева.: 2-е изд., переизд. дополн.: М.: Агпромиздат, 1988 — 399 с.
32. Массообменные процессы: Учебное пособие/Под ред. Г.И. Никалаева — Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. —238 с.
33. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности. Энциклопедия. Т. IV-17/Под ред. С.А. Мачихина, 2003. —736 с.
34. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд. испр. и доп. —М. Изд. МЭИ, 2005. —550 с.
35. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е перераб. М., «Энергия», 1972.