

**Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет**



**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ГАЛУЗІ**

Методичні вказівки до практичних занять  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
освітньої програми «Харчові технології»  
галузі знань 18 Виробництво та технології  
спеціальності 181 Харчові технології  
денної та заочної форм навчання

**ЛУЦЬК 2021**

УДК 664(07)  
Т38

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій Луцького НТУ \_\_\_\_\_ директор бібліотеки.  
(підпис)

Рекомендовано до видання вченою радою факультету митної справи, матеріалів та технологій Луцького НТУ, протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року.  
Голова вченої ради факультету \_\_\_\_\_ В. Ткачук

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ, протокол № \_ від «\_» \_\_\_\_\_ 2021 року.  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ С. Голячук

Укладач: \_\_\_\_\_ В. Сай, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Ю. Гунько, доцент кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ С. Голячук, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Технологічне обладнання галузі [Текст]: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Харчові технології» галузі знань 18 Виробництво та технології спеціальності 181 Харчові технології денної та заочної форм навчання / уклад. В. Сай. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – 158 с.

Т38

Методичне видання складено відповідно до робочої програми курсу «Технологічне обладнання галузі», містить методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технологічне обладнання галузі» і рекомендовану літературу.

## ПЕРЕДМОВА

Харчова промисловість – важлива частина народного господарства країни, яка включає більше сорока різноманітних галузей і нараховує більш як четверту частину всіх промислових підприємств України. Призначенням харчової промисловості є забезпечення виробництва продуктів харчування в необхідній кількості і необхідної якості за допомогою сучасних методів технологічної переробки рослинної і тваринної сировини. Фабричне виробництво продуктів харчування забезпечує економію затрат праці в сфері громадського харчування у домашньому господарстві. Виробництво харчових продуктів переводиться на потокові форми організації виробництва на базі сучасного технологічного обладнання, в яких режими роботи і параметри технологічних процесів контролюються і регулюються автоматичними пристроями й електронно-обчислювальними системами. Однак збільшення виробництва продуктів харчування повинно досягатися не лише за рахунок будівництва нових підприємств, але і за рахунок підвищення ефективності виробництва і зростання продуктивності праці. У зв'язку з цим основним напрямком прискорення науково-технічного прогресу в харчовій промисловості є створення, впровадження і подальше вдосконалення автоматів для виробництва різноманітних продуктів харчування. Тому перед інженерами і техніками підприємств харчової промисловості стоїть ще багато завдань, які потрібно вирішити: необхідно і в подальшому розробляти нові засоби механізації й автоматизації ряду технологічних процесів, транспортних і завантажувально-розвантажувальних операцій, створювати високопродуктивні машини, забезпечувати надійну і безперебійну роботу технологічного обладнання.

В даних методичних вказівках висвітлені питання будови і принципу роботи машин для підготовки сировини і напівфабрикатів.

Мета даних методичних вказівок – допомогти студентам оволодіти знаннями з будови, принципу роботи і розрахунку описаних машин.

# ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

## БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ЛЕГКИХ ТА ВАЖКИХ ДОМІШОК

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями, роботою застосуванням і розрахунком механізмів для видалення легких та важких домішок.

### Обладнання для очищення коренів від домішок

Початкове відділення і видалення легких та важких домішок від коренеплодів відбувається під час переміщення сировини гідротранспортером. Для цього на транспортери встановлюються соломовловлювачі. Для видалення легких домішок використовують грабельно-ланцюгові соломовловлювачі неперервної дії. Робочі органи соломовловлювача – це набірні граблі, що складаються із 9-12 пластин фігурної форми із зубами (рис. 1). Граблі переміщуються назустріч руху суміші в гідротранспортері, захоплюють легкі домішки і забирають їх наверх. У верхньому положенні вони перекидаються на ролик 2 з гумовими амортизаторами, при цьому легкі домішки струшуються з пластин в приймальник 1.

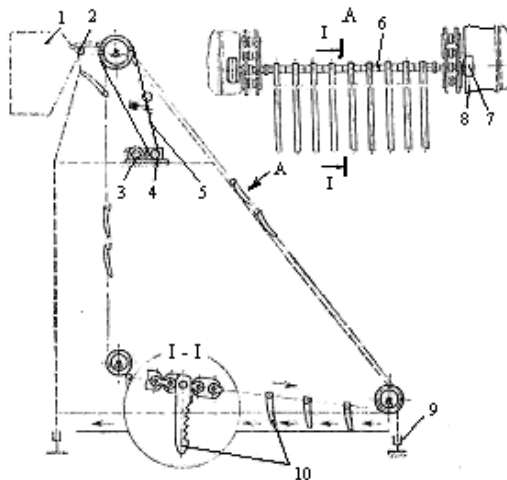


Рисунок 1 – Схема грабельно-ланцюгового соломовловлювача:

1 – приймальник; 2 – ролик; 3 – електродвигун; 4 – редуктор; 5 – ланцюгова передача; 6 – осі встановлення пластин; 7 – ролики; 8 – направляючі; 9 – регулювальні гвинти; 10 – пластини

Несучим органом, що переміщає граблі, є дволанцюговий транспортний контур у формі трикутника або прямокутника, який приводиться в рух від електродвигуна 3 через редуктор 4 і ланцюгову передачу 5.

Привідні зірочки розміщені у верхній частині контуру. Пластини шарнірно встановлені на осях 6, які рівномірно розподілені між двома гілками контуру. Для кріплення контуру ланцюги мають спеціальні кронштейни. На кінцях осей встановлені ролики 7 які переміщуються по направляючих 8.

Ефективність соломовловлювача залежить від висоти занурення граблів у потік води. Для регулювання висоти занурення в конструкції каркасу передбачені гвинти 9. Видалення домішок відбувається при перекиданні грабелів у верхній зоні контуру.

Для підвищення ефективності роботи соломовловлювача необхідно зменшити швидкість потоку до 0,2 – 0,3 м/с і коливання рівня суміші. Для цього жолоб гідротранспортера в місці встановлення соломовловлювачів повинен бути розширений не менше чим на 100 мм, а для підйому легких домішок перед соломовловлювачем потрібно передбачити встановлення гідропідйомника, через перфороване дно якого подається вода і стиснуте повітря.

Для попереднього вловлення важких домішок при переміщенні сировини по гідротранспортеру встановлюються піскокаменевловлювачі, які відрізняються як принципом дії (циліндричні, ротаційні, елеваторні, вібраційні) так і конструкцією (ковшеві, кишенькові).

Типовим обладнанням для вловлення важких домішок є ротаційний коловий каменевловлювач (рис. 2).

Важкі домішки не є однорідними, тому процес їх видалення вирішується в два етапи. Перший – розділення важких домішок на фракції, другий – видалення домішок.

В ротаційних ковшових каменевловлювачах неперервної дії розділення важких домішок на фракції здійснюється під час переміщення суміші, а їх видалення – в напрямку, протилежному течії суміші в гідротранспортері. Головним робочим органом розділення є перфорований циліндричний барабан 3, на зовнішній і внутрішній поверхні якого приварені шнеки. Проходячи через барабан, дрібні частинки домішок, осідаючи, просіюються через перфоровану поверхню і збираються на дні конуса: при обертанні барабана зовнішнім шнеком 4 транспортуються в кільцевий приймальник 2. Домішки, розмір яких перевищує розмір отворів у перфорованому барабані, транспортуються внутрішнім шнеком 5 в приймальник 2. Таке поєднання перфорованого барабана з внутрішніми і зовнішніми гвинтовими поверхнями дозволяє одночасно здійснювати 2 стадії процесу.

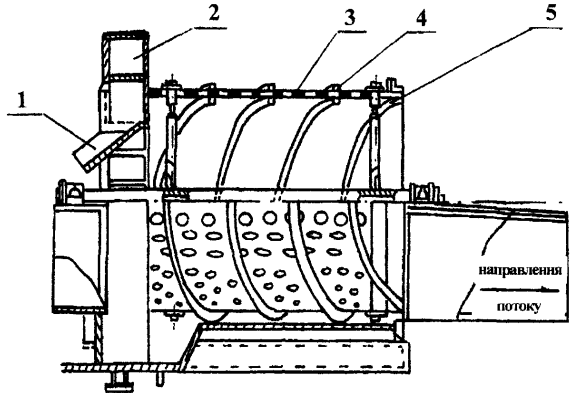


Рисунок 2 – Ротаційний коловий каменевловлювач: 1 – відвідний лоток; 2 – кільцевий приймальник; 3 – циліндричний барабан; 4 – зовнішній шнек; 5 – внутрішній шнек

Циліндричний приймальник має два ковші у вигляді напівкілець, які зовнішніми отворами сполучаються із збірником приймальника, а внутрішнім – із порожниною барабана. Приймальник прикріплений до барабана й обертається разом з ним. Ковші по черзі захоплюють пісок із дна збірника, а з порожнини барабана до внутрішнього отвору ковша направляються камені. При цьому натиск води, спрямований із ковша, пропускає важчі камені і перешкоджає потраплянню в ківш коренеплодів. Зібрані домішки у верхньому положенні ковша потрапляють у відвідний лоток 1. Найбільші за розмірами домішки не доходять до барабана, внаслідок зменшення швидкості течії суміші в кільцевому приймальнику і ковшами разом з піском передаються у відвідний лоток.

## Методика розрахунку грабельного соломовловлювача

### 1. Визначення розмірів лотка гідротранспортера.

Виходячи з формули потужності заводу, визначимо поперечний переріз потоку по лотку гідротранспортера:

$$Q = \frac{6.45K \cdot \gamma \cdot f^{4/3}}{n}, \text{ м/добу}, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт зменшення швидкості;  
 $\gamma$  – об'ємна маса продуктової суміші;  $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $f$  – площа поперечного перерізу потоку,  $\text{м}^2$ ;  
 $n$  – коефіцієнт жорсткості лотка.

Звідки поперечний переріз потоку

$$f = \left( \frac{Q \cdot n}{6.45 K \cdot \gamma} \right)^{3/4}, \text{ м}^2, \quad (2)$$

Оптимальним є прямокутний профіль лотка гідротранспортера з закругленими кутами. І враховуючи те, що по дну сила тертя забрудненої суміші більша ніж по боках, приймаємо, що висота потоку  $h$  дорівнює  $0,8 - 0,75$  його ширини  $b$ , тому:

$$f = b \cdot h = 0.8b^2, \text{ м}. \quad (3)$$

Звідки ширина транспортера буде:

$$b = \sqrt{\frac{f}{0.8}}, \text{ м}. \quad (4)$$

Округлюємо цю величину до найближчих стандартних розмірів і визначаємо глибину потоку:

$$h = \frac{f}{b}, \text{ м}. \quad (5)$$

## **2. Визначення швидкості потоку буряководної суміші.**

Для визначення швидкості використовуємо формулу Шезі:

$$V_n = c \cdot \sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с}, \quad (6)$$

де  $c$  – швидкісний коефіцієнт;

$R$  – гідравлічний радіус, м;

$i$  – гідравлічний нахил гідротранспортера.

Гідравлічний радіус – це відношення площі потоку до змоченого периметра

$$R = \frac{b \cdot h}{2h + b}, \text{ м}. \quad (7)$$

Швидкісний коефіцієнт визначається за формулою Павловського:

$$c = \frac{\sqrt[n]{R}}{n}, \quad (8)$$

де  $n$  – коефіцієнт жорсткості лотка.

## **3. Розрахунок тягового ланцюга.**

Визначаємо потужність, що передається на тягові ланцюги:

$$N_{мл} = N_{ел} \cdot K_n, \text{ кВт}, \quad (9)$$

де  $N_{ел}$  – потужність електродвигуна, кВт

$K_n$  – ККД приводу

$$K_n = K_{mp} \cdot K_l \cdot K_m, \quad (10)$$

де  $K_{mp}$  – ККД мото-редуктора,  $K_{mp}=0,98$ ;

$K_l$  – ККД ланцюгової передачі приводу,  $K_l=0,97$ ;

$K_m$  – ККД ланцюгової передачі тягового ланцюга,  $K_m=0,97$ .

На вловлювачі два тягових ланцюги. Тобто один ланцюг передає половину потужності

$$N_{mnl} = 0,5N_{ml}, \text{ кВт}. \quad (11)$$

Міжосьова відстань для тягового ланцюга:

$$a = 38 \cdot t, \text{ мм}, \quad (12)$$

де  $t$  – крок ланцюга, мм.

Довжина замкнутого ланцюга

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a}, \text{ м}, \quad (13)$$

де  $D_1$  – діаметр ролика (приймаємо  $D_1 = D_2$ ), м;

$D_2$  – діаметр зірочки, м;

$$D_2 = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z}}, \text{ мм}, \quad (14)$$

де  $t$  – крок ланцюга, мм;

$z$  – число зубів зірочки.

Загальне зусилля, яке діє на ведучу частину ланцюга:

$$P_3 = P + P_f + P_{zp}, \text{ Н}, \quad (15)$$

де  $P$  – корисне колове зусилля, Н;

$P_f$  – навантаження від самого ланцюга, Н;

$P_{zp}$  – натяг ланцюга від граблів, Н.

Корисне колове зусилля

$$P = \frac{10^3 N_{mnl}}{V_l}, \text{ Н}, \quad (16)$$

де  $N_{mnl}$  – потужність, що передається одним ланцюгом, кВт.

$V_l$  – швидкість ланцюга, м/с.

Навантаження від самого ланцюга

$$P_f = 9,81 K_f q a, \text{ Н}, \quad (17)$$

де  $K_f$  – коефіцієнт провисання тягових ланцюгів,  $K_f = 6$ ;

$q$  – вага погонного метра ланцюга,  $q = 5,78$  кг.

На ланцюгу розміщено  $n_2 = 10$  рядів грабелів вагою  $G=70$ кг. Ця вага розділяється на два ланцюги. Натяг ланцюга від граблів

$$P_{zp} = \frac{9,81 \cdot n_2 \cdot G}{2}, \text{ Н}. \quad (18)$$

Запас міцності ланцюга:

$$S = \frac{Q_{роз}}{P_3}, \quad (19)$$

де  $Q_{роз}$  – руйнуюче навантаження на ланцюг,  $Q_{роз} = 125$  кН.

## Методика розрахунку ротаційного каменевловлювача

### 1. Розрахунок частоти обертання барабана за величиною швидкості висхідного потоку.

Секундна витрата рідини для висхідного потоку:

$$q_p = F_{вік} \cdot v_{вік} = F_{кан} \cdot v, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

де  $F_{вік}$  – площа вікна кишені,  $\text{м}^2$ ;

$v_{вік}$  – швидкість висхідного потоку в перерізі вікна кишені,  $v_{вік} = 0,28 - 0,32$  м/с;

$F_{кан}$  – площа перерізу каналу ковша,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – колова швидкість середньої лінії каналу ковша, м/с.

Площа вікна кишені

$$F_{вік} = B_1 \cdot l_1, \quad \text{м}^2, \quad (2)$$

де  $B_1$  – ширина основного ковша, м;

$l_1$  – довжина внутрішнього вікна нормального ковша, м.

Площа перерізу каналу ковша

$$F_{кан} = \frac{(D_3 - D_2) + 2 \cdot \delta}{2} \cdot B_1, \quad \text{м}^2, \quad (3)$$

де  $D_3$  – зовнішній діаметр головки, м;

$D_2$  – внутрішній діаметр викидної головки, м;

$\delta$  – товщина стінок головки (для циліндричних поверхонь  $\delta = 6$  мм, для кілець  $\delta = 10$  мм), м;

$B_1$  – ширина основного ковша, м.

Зовнішній діаметр головки

$$D_3 = D_2 + 0,51, \quad \text{м}. \quad (4)$$

Внутрішній діаметр викидної головки, м;

$$D_2 = D_1 + 0,16, \quad \text{м}, \quad (5)$$

де  $D_1$  – внутрішній діаметр барабана, м.

Колова швидкість середньої лінії каналу ковша:

$$v = \frac{\pi \cdot D_{сер} \cdot n}{60}, \quad \text{м/с}, \quad (6)$$

де  $n$  – число обертів барабана, об/хв.;

$D_{сер}$  – середній діаметр каналу ковша, м.

$$D_{сер} = D_2 + \frac{(D_3 - D_2)}{2} + \delta, \text{ м.} \quad (7)$$

Можна записати

$$F_{вік} \cdot v_{вік} = F_{кан} \cdot \frac{\pi \cdot D_{сер} \cdot n}{60}, \quad (8)$$

Звідки

$$n = \frac{60 \cdot F_{вік} \cdot v_{вік}}{\pi \cdot D_{сер} \cdot F_{кан}}, \text{ об/хв.} \quad (9)$$

Знаючи швидкість обертання барабана можна визначити швидкість висхідного потоку в вікні для дрібних домішок, що має решітку.

$$v_{впр} = \frac{\pi \cdot D_{сер} \cdot n \cdot F_{кан}}{60 \cdot F_{вік.p}}, \text{ м/с,} \quad (10)$$

де

$$F_{вік.p} = B_1 \cdot l_2 - F_{прут}, \text{ м}^2, \quad (11)$$

де  $l_2$  – довжина вікна з решіткою, м;

$F_{прут}$  – площа прутків решітки,  $\text{м}^2$ .

## **2. Розрахунок величини середньої швидкості руху буряководної суміші в барабані каменевловлювача.**

Об'єм буряководної суміші, що проходить гідротранспортером за 1 с

$$q_6 = \frac{Q_3(K+1)}{24 \cdot 60 \cdot 60}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (12)$$

де  $Q_3$  – потужність заводу, т/добу;

$K$  - кратність води до маси буряка,  $K = 7$ .

Площа поперечного перерізу потоку в гідротранспортері при швидкості руху  $v_c$ , м/с:

$$F_{ном} = \frac{q_6}{v_c}, \text{ м}^2, \quad (13)$$

де  $v_c$  – швидкість потоку в гідротранспортері, м/с.

Висота буряководної суміші в прямокутному гідротранспортері може бути визначена за формулою:

$$h = \frac{F_{ном}}{B_2} = \frac{q_6}{v_c \cdot B_2}, \text{ м,} \quad (14)$$

де  $B_2$  – ширина лотка гідротранспортера, м.

Середня швидкість руху суміші в барабані каменевловлювача

$$v_6 = \frac{q_6}{F}, \text{ м/с,} \quad (15)$$

де  $F$  – площа сегменту поперечного перерізу потоку буряків у барабані каменевловлювача,  $\text{м}^2$ .

$$F = \frac{R^2}{2} \left( \frac{\alpha}{180} \cdot \pi - \sin \alpha \right), \text{ м}^2, \quad (16)$$

де  $R$  – внутрішній радіус барабана, м;

$\alpha$  – кут, град.

$$\alpha = \arccos \frac{R^2 - 2h_0(2R - h_0)}{R^2}, \text{ град}, \quad (17)$$

де  $h_0$  – висота буряководної суміші в барабані каменевловлювача, м.

Із спостережень у процесі експлуатації приймають

$$h_0 = h - (0,05 \dots 0,07), \text{ м}. \quad (18)$$

### 3. Розрахунок споживчої потужності каменевловлювача.

Потужність, яка необхідна для обертання барабана:

$$N = \frac{M \cdot \omega}{1000}, \text{ кВт}, \quad (19)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана,  $\text{с}^{-1}$ ;

$M$  – обертальний момент, необхідний для обертання барабана, Н/м:

$$M = G \cdot c \cdot k, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (20)$$

де  $G$  – вага буряків у барабані, Н;

$c$  – відстань від центра маси буряків до вертикальної осі барабана, м;

$k$  – коефіцієнт неврахованих факторів,  $k = 1, 2$ .

При обертанні барабана, з урахуванням кута відкосу мокрого буряка, що дорівнює приблизно  $35^\circ$ .

$$c = a \cdot \sin 35^\circ, \text{ м}, \quad (21)$$

де  $a$  – відстань від поздовжньої осі барабана до центра маси буряків, м

$$a = \frac{b^3}{12F}, \text{ м}, \quad (22)$$

де  $F$  – площа сегмента поперечного перерізу маси буряків у барабані,  $\text{м}^2$ ;

$b$  – хорда сегмента поперечного перерізу маси буряків у барабані, м

$$b = R \sqrt{2 - 2 \cos \alpha}, \text{ м}, \quad (23)$$

де  $R$  – внутрішній радіус барабана, м;

$\alpha$  – кут, град.

Вага буряків у барабані

$$G = F \cdot L \cdot \rho \cdot g, \text{ Н}, \quad (24)$$

де  $L$  – повна довжина барабана, м;

$\rho$  – середня насипна маса буряків,  $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Потужність електродвигуна визначається за формулою

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta_l \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{нас}}}, \text{ кВт}, \quad (25)$$

де  $\eta_l$  – ККД ланцюгової передачі,  $\eta_l = 0,98$ ;

$\eta_m$  – ККД муфти,  $\eta_m = 0,99$ ;

$\eta_{\text{ред}}$  – ККД редуктора,  $\eta_{\text{ред}} = 0,97$ ;

$\eta_{\text{нас}}$  – ККД клинопасової передачі,  $\eta_{\text{нас}} = 0,95$ .

#### **4. Визначення максимально можливої кількості вивантажених домішок.**

Максимальна кількість вивантажених домішок за добу:

$$Q_o = m_k \cdot V_k \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot n \cdot 24 \cdot 60, \text{ т/добу}, \quad (26)$$

де  $m_k$  – кількість ковшів,  $m_k = 4$ ;

$V_k$  – максимальний об'єм домішок у ковші,  $\text{м}^3$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення ковшів,  $\varphi = 0,8$ ;

$\gamma$  – середня насипна питома маса домішок,  $\gamma = 1,7 \text{ т/м}^3$ ;

$n$  – число обертів барабана, об/хв.

Максимальний об'єм важких домішок у ковші при куті дійсного нахилу  $45^\circ$  і ширині ковша  $B_1$ :

$$V_k = (D_3 - D_2)^2 \cdot B_1 \cdot 0,5, \text{ м}^3, \quad (27)$$

де  $D_3$  – зовнішній діаметр викидної головки, м;

$D_2$  – внутрішній діаметр викидної головки, м.

#### **Завдання до звіту**

1. Описати і замалювати схеми обладнання для очищення коренеплодів від домішок.
2. Виконати розрахунок грабельно-ланцюгового соломовловлювача.
3. Виконати розрахунок ротаційного каменевловлювача.

#### **Контрольні запитання**

1. Який принцип роботи грабельно-ланцюгового соломовловлювача?
2. Від чого залежить ефективність роботи соломовловлювача?
3. Яка будова ротаційного колового каменевловлювача?
4. Який принцип роботи ротаційного колового каменевловлювача?

Таблиця 1

## Варіанти завдань для розрахунку грабельно-ланцюгового соломовловлювача.

№ варіанта	Потужність заводу $Q$ , т/добу.	Нахил лотка гідро-транспортера $i$	Коефіцієнт зменшення швидкості, $K$ .	Жорсткість лотка, $n$ .	Швидкість руху ланцюга $V$ , м/с	Число зубів зірочки, $z$ .	Крок ланцюга $t$ , мм.	Потужність ел. двигуна, $N_{ел}$ , кВт.
1	6000	0,008	0,85	0,20	0,12	40	100	2,5
2	5500	0,010	0,80	0,19	0,14	46	80	2,5
3	5000	0,012	0,90	0,17	0,12	44	80	2,5
4	6000	0,015	0,85	0,18	0,10	48	100	2,5
5	5500	0,012	0,75	0,20	0,12	36	125	2,8
6	5000	0,010	0,70	0,10	0,14	34	125	2,6
7	4500	0,015	0,75	0,19	0,16	40	100	2,5
8	4000	0,018	0,80	0,18	0,17	35	125	2,0
9	3500	0,015	0,85	0,17	0,20	46	80	1,8
10	3000	0,012	0,90	0,14	0,18	46	80	2,0
11	2500	0,018	0,90	0,15	0,15	40	100	2,0
12	2000	0,015	0,85	0,16	0,12	38	100	2,5
13	1500	0,008	0,80	0,20	0,14	46	80	2,0
14	1000	0,015	0,80	0,25	0,17	44	80	2,0
15	1300	0,018	0,75	0,20	0,18	48	75	1,8
16	1500	0,020	0,70	0,18	0,20	46	80	1,6
17	2000	0,015	0,75	0,19	0,22	40	100	2,0
18	2500	0,018	0,80	0,18	0,18	50	75	2,3
19	3000	0,012	0,85	0,17	0,17	42	80	2,5
20	3500	0,014	0,70	0,20	0,15	38	85	2,4
21	4000	0,008	0,70	0,25	0,10	36	90	2,5
22	4200	0,010	0,75	0,22	0,12	38	100	2,8
23	4500	0,008	0,80	0,16	0,14	34	125	2,9
24	5000	0,015	0,85	0,18	0,15	40	100	2,5
25	6000	0,012	0,80	0,20	0,16	38	100	2,5
26	5500	0,018	0,75	0,25	0,10	46	80	2,4
27	4000	0,020	0,70	0,17	0,14	38	90	2,6
28	3500	0,008	0,85	0,14	0,18	50	75	2,0
29	4500	0,015	0,90	0,12	0,15	44	80	1,8
30	5000	0,010	0,75	0,22	0,16	40	100	2,4

Таблиця 2

## Варіанти завдань для розрахунку ротаційного каменевловача.

№ варіанта	Потужність заводу $Q_3$ , т/добу.	Внутрішній діаметр барабана $D_1$ , мм.	Ширина основного ковша. $B_1$ , мм.	Довжина внутрішнього вікна нормального ковша. $L_1$ , мм.	Довжина вікна з решіткою, $l_2$ , мм.	Повна довжина барабана, $L$ , мм.	Ширина лотка гідро-транспортера, $B_2$ , мм.	Площа прутків в решітці, $F_{пр}$ , м <sup>2</sup> .	Швидкість потоку в гідро-транспортері, $v_c$ , м/с.
1	6000	2300	400	330	650	3630	800	0,024	1,8
2	5500	2300	390	320	640	3600	800	0,023	1,7
3	5000	2200	390	320	640	3550	750	0,023	1,8
4	6000	2300	400	340	600	3500	800	0,024	1,7
5	5500	2300	390	400	680	3650	750	0,023	1,8
6	5000	2200	380	450	650	3700	750	0,022	1,6
7	4500	2100	370	430	600	3680	700	0,021	1,5
8	4000	2100	370	420	580	3650	700	0,021	1,6
9	3500	2000	360	400	550	3630	650	0,020	1,7
10	3000	2000	350	350	650	3500	600	0,020	1,5
11	2500	1900	350	380	600	3450	600	0,020	1,4
12	2000	1900	340	350	620	3400	550	0,021	1,2
13	1500	1800	310	350	610	3350	500	0,021	1,3
14	1000	1600	300	320	550	3200	450	0,022	1,2
15	1300	1600	310	340	500	3250	450	0,020	1,3
16	1500	1800	320	350	520	3270	450	0,021	1,4
17	2000	1800	330	350	530	3300	500	0,022	1,3
18	2500	1900	340	360	540	3330	550	0,022	1,5
19	3000	2000	350	320	580	3350	600	0,023	1,4
20	3500	2000	370	330	600	3600	600	0,023	1,6
21	4000	2100	370	350	620	3400	700	0,024	1,5
22	4200	2100	380	330	330	3430	700	0,018	1,4
23	4500	2200	390	320	340	3450	750	0,018	1,6
24	5000	2200	400	330	350	3500	800	0,019	1,7
25	6000	2300	380	320	650	3600	800	0,023	1,8
26	5700	2100	370	350	580	3570	750	0,023	1,2
27	5300	1900	360	340	510	3550	600	0,022	1,4
28	4700	1800	350	330	520	3530	750	0,022	1,3
29	4300	1700	360	320	530	3450	550	0,021	1,1
30	3700	1600	340	330	500	3350	500	0,021	1,6

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК МИЙНИХ МАШИН

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями, роботою, застосуванням і розрахунком мийних машин.

#### Обладнання для миття рослинної сировини.

Для миття м'яких плодів і ягід застосовують машини з м'яким режимом миття. До цих машин належать: вентиляторна машина типу КМВ; елеваторна машина КУВ-1, шнекова мийна машина та ін.

Вентиляторна машина типу КМВ (рис. 1) складається з ванни, в якій рухається транспортер 1, що подає в душовий пристрій миючий продукт. Під верхньою гілкою транспортера розміщено барботер 2, куди вентилятором нагнітається повітря. Для інтенсифікації режиму тертя над верхньою віткою транспортера встановлюють комплект щіток 3. Крім того машину обладнано насосом 4 для підвищення тиску в душових пристроях.

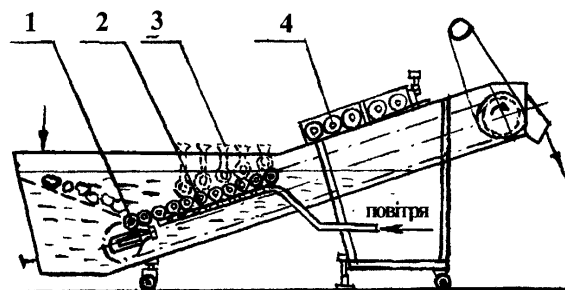


Рисунок 1 – Вентиляторна машина типу КМВ: 1 – транспортер; 2 – барботер; 3 – щітки; 4 – насос

Робоче полотно транспортера складається з двох ланцюгів, між якими натягнена сітка. Натяжний пристрій розміщений за межами ванни, а вал із зірочками – нижче рівня води. При роботі необхідно стежити за рівномірним натягом стрічки транспортера. Щоб уникати скочування сировини по нахиленій частині транспортера, до стрічки прикріплені невеликі металічні планки. Забруднення, що накопичується на дні ванни, видаляється через засувку в її нижній частині.

Перевагою вентиляторної миючої машини є хороше відмивання від надмірного механічного впливу на плоди.

Машина КУВ-1 (рис. 2) елеваторного типу працює таким чином. Сировина надходить у ванну 1 на решітку 3, звідки потрапляє на роликоче

полотно, яке переміщає її до вихідного лотка 11. В процесі переміщення сировина мисться у ванні і споліскується з душового пристрою 6. Для рівномірного розподілу сировини на конвеєрі є засувка 4.

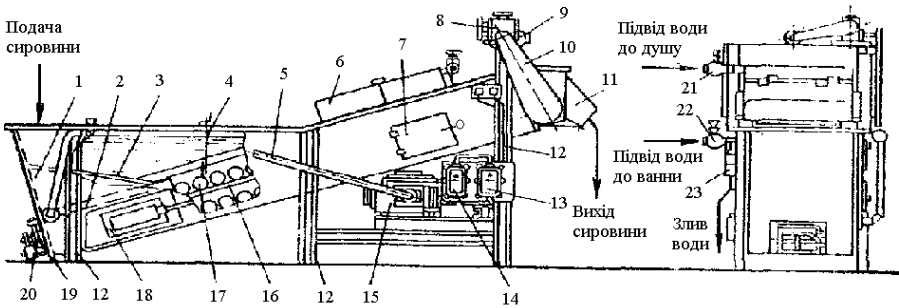


Рисунок 2 – Елеваторна машина КУВ-1: 1-ванна; 2 – барботер; 3 – решітка; 4 – заслінка; 5 – трубопровід; 6 – душовий пристрій; 7, 19 – люки; 8 – редуктор; 9 – електродвигун; 10 – ланцюгова передача; 11 – вихідний лоток; 12 – стійки; 13, 14 – пускові пристрої; 15 – повітряний компресор; 16 – направляючі; 17 – роликоне полотно; 18 – натяжний пристрій; 20, 23 – вентилі для зливання води; 21, 22 – вентилі для підводу води

Для миття крупи використовують шнекову мийну машину (рис. 3).

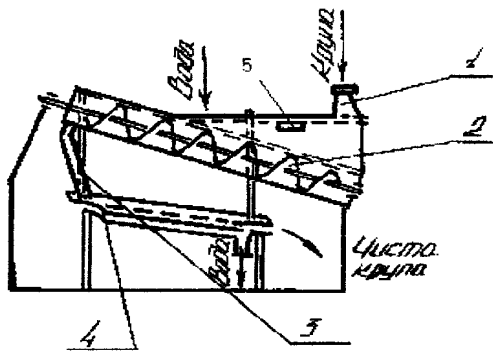


Рисунок 3 – Шнекова мийна машина: 1 – приймальний пристрій; 2 – шнек; 3 – патрубок; 4 – вібрисито; 5 – зливний отвір

Забруднена крупа надходить у приймальний пристрій 1, який заповнений до верхнього зливного отвору 5. В ньому крупа осідає на дно корпусу і транспортується шнеком 2, який закінчується патрубком. При

цьому легкі домішки спливають на поверхню води і виводяться через зливний отвір 5. Крупа транспортується до патрубка 3, по якому скидається на вібросито 4. Останні витки шнека мають дрібні отвори, через які вода стікає вниз по жолобу транспортера в приймальник. На віброситі 4 відбиваються залишки води. Таке конструктивне виконання пов'язане з особливістю оброблюваного продукту, тому що при митті круп і бобових вода, змочуючи їх, сприяє тим самим підвищенню їх вологості. А підвищення вологості окремих видів круп унаслідок миття, призводить до неможливості їх подальшої технологічної обробки.

### **Обладнання для миття сировини з жорстким режимом миття**

Для миття коренеплодів часто застосовують кулачкові мийні машини. Вони бувають із низьким або високим рівнем води, а також комбінованими. В мийках першого типу рівень води розташовується нижче вала, що обертається в кориті із насадженими на нього кулачками, тому плоди перебувають у тісному контакті один за одним. У мийних машинах другого типу рівень води сягає верхніх країв кулачків, плоди вільно розміщуються у воді. Комбіновані машини складаються з відділень з низьким та високим рівнями.

Прикладом комбінованої мийної машини є бурякомийка СМК-3М (рис. 4). вона має мийне відділення I – місткістю  $19,6 \text{ м}^3$  з низьким рівнем води, та мийне відділення III – місткістю  $24 \text{ м}^3$  з високим рівнем води.

Обидва відділення представляють собою відкриту зверху напівциліндричну місткість. У відділенні з низьким рівнем води на валу 3 за гвинтовою лінією встановлені 12 пар кулачків 4. Кулачки забезпечують інтенсивне перемішування та тертя між собою коренів для відмивання основної кількості бруду, а також пересування буряків до перевантажувальних ковшів 10. Рівень води в цьому відділенні нижчий від рівня верхніх кінців кулачків на 350 мм. Чиста вода поступає через патрубки 32 і 35. Брудна вода із цього відділення через отвір у корпусі відводиться у кишеньку для брудної води та відводиться з мийки. Бруд через решітчасте днище попадає у пісковловлювачі 33 і 38, а камені осідають в каменевловлювачі 36. Під час відкривання за допомогою гідроциліндрів відкидних днищ вловлювачів домішки видаляються із мийки.

Буряки кулачками 4 спрямовуються до торцевої стінки відділення I та через спеціальний отвір у ній потрапляють у перекидне відділення II. Для регулювання кількості буряків, що надходять у перекидне відділення встановлено шибєр, який піднімається або опускається за допомогою ручної лебідки 9. У відділенні II обертається вал із встановленими на ньому перевантажувальними ковшами 10, які захоплюють буряки без води, та по жолобу 11 переміщують їх у відділення III з високим рівнем води.

У відділенні III на валу 13 за гвинтовою лінією розміщено 13 пар кулачків 14. Вода до цього відділення надходить через отвір у стінці корпусу з кишені 12, в яку вона подається через патрубок 26.

Рівень води у відділенні III на 315 мм вищий від рівня верхніх кінців кулачків. Бруд, який відділився, проходить через сітчасте днище в два пісковловлювачі 27 та 24, а каміння попадає в каменевловлювач 25. Для вловлювання бруду, що плаває, у відділенні III встановлено впоперек шнек 18. Щоб корені не потрапляли в шнек, перед ним розміщують барабан 15, зібраний зі сталевих прутків.

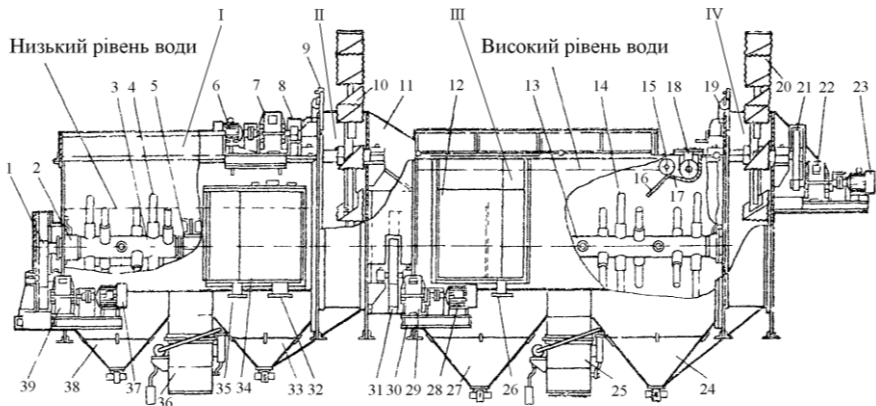


Рисунок 4 – Комбінована бурякомийна машина СМК-3М: I – мийне відділення із низьким рівнем води; II – перекидне відділення; III – мийне відділення з високим рівнем води; IV – викидне відділення; 1, 8, 21, 31 – зубчаті передачі; 2 – кінцевий підшипник; 3 – вал; 4, 14 – кулачки; 5 – проміжний підшипник; 9, 19 – ручні лебідки; 10 – перевантажувальні ковші; 11 – жолоб; 12 – кишеня; 13 – вал; 15 – прутковий барабан; 16 – направляючий лоток 17 – жолоб; 18 – шнек; 20 – вивантажувальні ковші; 30 – рама; 26, 32, 35 – патрубки для подачі чистої води; 24, 27, 33, 38 – пісковловлювачі 34 – кишеня; 25, 36 – каменевловлювачі; 6, 23, 28, 37 – електродвигуни; 7, 22, 29, 39 – редуктори;

Відмиті буряки пересуваються кулачками до торцевої стінки відділення III, та через спеціальний отвір з шибером потрапляють у відділення IV. В цьому відділенні обертається вал із вивантажувальними ковшами 20. Ці ковші захоплюють корені без води та по жолобу викидають їх із бурякомийки.

Обслуговування бурякомийок полягає в регулюванні кількості буряків та води, що поступають, систематичній очистці піско- і каменевловлювачів, водозливного жолоба, грабельного конвеєра та решіток.

## Методика розрахунку елеваторних мийних машин

Продуктивність  $Q$  уніфікованих елеваторних мийних машин визначається продуктивністю робочого транспортера:

$$Q = b \cdot h_c \cdot \varphi_c \cdot \rho_c \cdot v, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

де  $b$  – ширина робочої частини транспортера ( $b = 0,6 \dots 0,9 \text{ м}$ );

$h_c$  – висота шару сировини, м (табл.1);

$\varphi_c$  – коефіцієнт використання транспортера ( $\varphi_c = 0,6 \dots 0,7$ );

$\rho_c$  – насипна густина сировини,  $\text{кг/м}^3$  (табл.1);

$v$  – швидкість транспортера, м/с.

Час відмокання сировини  $\tau$  визначається корисним об'ємом ванни  $V_6$ ,  $\text{м}^3$ :

$$\tau = \frac{V_6 \cdot \rho_c}{Q}, \text{ сек}. \quad (2)$$

Корисний об'єм ванни  $V_6$  визначається площею дзеркала води у ванні  $F_3$ ,  $\text{м}^2$ . При звичайній призматичній формі ванни:

$$V_6 = \frac{F_3 \cdot H_m}{2}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

де  $H_m$  – глибина найбільш зануреної частини і несучої частини транспортера ( $H_m = 0,5 - 0,7 \text{ м}$ ).

Таблиця 1

**Насипна густина плодів і овочів**

Сировина	Висота шару сировини $h_c$ , м.	Насипна густина $\rho_c$ , $\text{кг/м}^3$ .
Кабачки	0,14	450 – 500
Перець	0,08	200 – 300
Баклажани	0,16	330 – 430
Помідори	0,06	580 – 630
Цибуля	0,05	490 – 520
Яблука	0,07	430 – 579
Груші	0,06	450 – 610
Сливи	0,03	530 – 680
Морква	0,05	560 – 590

Площа дзеркала у ванні машини  $F_3$ ,  $\text{м}^2$ :

$$F_3 = A \cdot B, \text{ м}^2, \quad (4)$$

де  $A$  – довжина дзеркала води у ванні машини, м;

$B$  – відстань між боковими стінками ванни, м ( $B = b + 0,1$ ).

Кількість повітря і необхідний напір, під яким воно повинне подаватися у барботер, визначається розмірами дзеркала води у ванні і глибиною занурення отворів виходу повітря із барботера. Практикою експлуатації мийних машин встановлена наступна норма:  $1,5\text{ м}^3$  повітря за хвилину на  $1\text{ м}^2$  площі дзеркала води, тобто:

$$W_n = \frac{1,5 \cdot F_3}{60}, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Нагнітач повітря для мийної машини вибирають за витратами повітря  $W_n$  і необхідному тиску  $P_n$ . Оскільки довжину повітропроводу до барботера і швидкість повітря в повітропроводі можна не враховувати, то тоді  $P_n$ , Па:

$$P_n = \frac{\rho_n \cdot v_n^2}{2} (1 + \sum \xi) + \rho_e \cdot h_3 \cdot g, \text{ Па}, \quad (6)$$

де  $\rho_n$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_n = 0,00129 \text{ кг/м}^3$ );

$v_n$  – швидкість повітря в повітропроводі, м/с ( $v_n$  рекомендується не більше  $10 \text{ м/с}$ ,  $v_n = 7 - 9 \text{ м/с}$ );

$\sum \xi$  – сумарний коефіцієнт місцевого опору (в розрахунку  $\sum \xi = 0,30 - 0,45$ );

$\rho_e$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$ );

$h_3$  – глибина занурення в воду отворів барботера, м ( $h_3 = H_m + 0,1$ );

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Потужність двигуна для приводу нагнітача повітря

$$N_n = \frac{W_n \cdot P_n}{1000 \cdot \eta_n}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

де  $W_n$  – витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P_n$  – необхідний тиск, Па;

$\eta_n$  – ККД нагнітача ( $\eta_n = 0,6 - 0,8$ ).

Потужність, необхідну для приводу відцентрового насоса, який подає рідину до струминних пристроїв  $N_p$ , визначають за формулою, аналогічною формулі (7):

$$N_p = \frac{W_p \cdot P_p}{1000 \cdot \eta_n}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

де  $W_p$  – витрати рідини,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P_p$  – тиск рідини біля насоса, Па;

$\eta_n$  – ККД насоса ( $\eta_n = 0,70 - 0,85$ ).

Витрати рідини  $W_p$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$W_p = \mu \frac{\pi d^2}{4} n \sqrt{\frac{2P_y}{\rho_p}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (9)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати (для циліндричної насадки  $\mu = 0,82$ ; для конічної, що сходиться  $\mu = 0,48$ ; вид насадки вибирають самостійно);

$d$  – діаметр отворів барботера, м (вибирають рівним 0,75; 1,25; 1,50 мм в залежності від виду перероблюваної сировини, менше значення вибирають для дрібних плодів і овочів);

$n$  – число однакових отворів барботера (в розрахунку приймаємо  $n=50 - 60$ );

$P_y$  – напір рідини біля вихідних отворів, Па, в розрахунку приймають  $P_y = 0,2 - 0,3$  МПа;

$\rho_p$  – густина миючої рідини, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_p = 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

$$P_p = P_y + P_n, \text{ Па}, \quad (10)$$

де  $P_n$  – втрати напору від місцевих і шляхових опорів, Па.

Втрати напору:

$$P_n = \frac{\rho_p \cdot v_p^2}{2} \left[ 1 + \sum \left( \xi + \lambda_p \frac{l_m}{d_m} \right) \right], \text{ Па}, \quad (11)$$

де  $v_p$  – швидкість рідини в трубопроводі, м/с (рекомендується не більше 2 м/с);

$\xi$  – коефіцієнт місцевого опору (вибирається за довідником, в розрахунку приймається  $\xi=0,85$ );

$\lambda_p$  – коефіцієнт опору тертя по довжині трубопроводу;

$l_m$  – довжина трубопроводу, м;

$d_m$  – діаметр трубопроводу, м.

Коефіцієнт опору тертя по довжині трубопроводу визначається за такими формулами:

$$\text{для} \quad \text{Re} \leq 100000 \quad \lambda_p = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}; \quad (12)$$

$$\text{для} \quad \text{Re} \geq 100000 \quad \lambda_p = \left( \frac{0.555}{\text{Re}} \right)^2; \quad (13)$$

де  $\text{Re}$  – число Рейнольдса.

$$\text{Re} = v_p \cdot d_m \cdot \rho_p / \mu_p, \quad (14)$$

де  $\mu_p$  – кінематична в'язкість миючої рідини ( $\mu_p = 1,01 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с).

Потужність  $N_{mp}$ , для приводу основного транспортера:

$$N_{mp} = \frac{P_m \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

де  $P_m$  – зусилля для приводу транспортера, Н;

$v$  – швидкість транспортера, м/с;

$\eta$  – ККД передаточних механізмів ( $\eta = 0,61 - 0,78$ ).

Тягове зусилля визначають методом обходу по контуру з урахуванням максимального завантаження. Орієнтовно тягове зусилля  $P_m$ , Н·м, можна визначити за формулою:

$$P_m = (0.125q_0L_n + 50 + 0.125qL)g, H \cdot m, \quad (16)$$

де  $q_0$  – маса корисного навантаження на 1 м транспортера, кг ( $q_0 = 8 - 12$  кг);

$q$  – маса 1 м транспортера без навантаження, кг ( $q = 4, 4 \dots 5, 1$  кг);

$L_n$  – довжина навантаженої частини транспортера, м ( $L_n = 0,65 L$ );

$L$  – довжина транспортера, м;

$g$  –  $9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння.

### Методика розрахунку барабанних мийних машин

Найменше число обертів, за якого сировина, що міститься в барабані, починає обертатися разом з барабаном не відриваючись від його стінок, називається критичним числом обертів барабана мийної машини  $n_{кр}$ , об/хв. Для гладенького барабана:

$$n_{кр} = \frac{42,3}{\sqrt{D_б}}, \text{ об/хв}, \quad (1)$$

де  $D_б$  – діаметр барабана, м.

Робоче число обертів барабана мийної машини повинно бути меншим критичного і визначається за формулою:

$$n_p = \varphi_б \cdot n_{кр}, \text{ об/хв}, \quad (2)$$

де  $\varphi_б$  – експериментальний коефіцієнт ( $\varphi_б = 0,20 - 0,26$ )

Продуктивність  $Q$  барабанної мийної машини можна визначити за формулою:

$$Q = f \cdot v_n \cdot \varphi' \cdot \rho_c, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

де  $f$  – площа поверхні барабана, м<sup>2</sup>;

$v_n$  – швидкість руху сировини вздовж барабана, м/с;

$\varphi'$  – коефіцієнт наповнення барабана або використання його перерізу ( $\varphi' = 0,02 - 0,07$ );

$\rho_c$  – насипна маса сировини (з таблиці 1).

Площа поверхні барабана:

$$f = \pi \cdot D_б \cdot L_б, \text{ м}^2, \quad (4)$$

де  $L_б$  – довжина барабана, м.

Швидкість руху сировини вздовж барабана:

$$v_n = k \cdot D_б \cdot \text{tg} \beta \cdot n_p / 60, \text{ м/с}, \quad (5)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує переміщення сировини вздовж і піднімання її на висоту ( $k = 1,5 - 2,0$ );

$\beta$  – кут нахилу барабана,  $\beta = 2 - 3^\circ$ .

Потужність двигуна барабаних мийних машин безперервної дії визначається за формулою

$$N = \frac{4 \cdot Q \cdot L_6 \cdot g}{1000 \cdot \text{tg } \beta}, \quad \text{кВт}, \quad (6)$$

де  $Q$  – продуктивність барабана, кг/с;  
 $L_6$  – довжина барабана, м.

### Завдання до звіту

1. Описати обладнання для миття рослинної сировини.
2. Замалювати схеми вентиляторної машини типу КМВ та шнекової мийної машини.
3. Виконати розрахунок елеваторної мийної машини.
4. Виконати розрахунок барабанної мийної машини.

### Контрольні запитання

1. Які є машини за способом миття?
2. Який принцип роботи шнекової мийної машини?
3. Який принцип роботи елеваторної машини КУВ-1?
4. Який принцип роботи бурякомийки СМК-3М?

Таблиця 2

### Варіанти завдань для розрахунку елеваторної мийної машини.

№ варіанта.	Швидкість транспортера $v$ , м/с.	Довжина дзеркала води $A$ , м.	Діаметр трубопроводу $d_m$ , м.	Вид сировини	Довжина трубопроводу $L_m$ , м.	Довжина транспортера $L$ , м.
1	0,157	1,84	0,30	Яблука	10,5	3,1
2	0,161	1,82	0,28	Груші	11,0	3,9
3	0,165	1,80	0,40	Сливи	11,5	3,3
4	0,169	1,81	0,38	Морква	12,0	3,7
5	0,173	1,83	0,36	Кабачки	8,3	3,5
6	0,139	1,85	0,34	Перець	8,8	3,5
7	0,143	1,87	0,32	Баклажани	9,3	3,6
8	0,147	1,89	0,30	Помідори	9,7	3,8
9	0,151	1,91	0,28	Цибуля	10,3	3,4
10	0,155	1,93	0,40	Сливи	11,5	3,3
11	0,159	1,78	0,38	Груші	11,2	3,2

Продовження таблиці 2.

№ варіанта.	Швидкість транспортера $v$ , м/с.	Довжина дзеркала води $A$ , м.	Діаметр трубопроводу $d_m$ , м.	Вид сировини	Довжина трубопроводу $L_m$ , м.	Довжина транспортера $L$ , м.
12	0,163	1,76	0,36	Сливи	11,6	3,1
13	0,167	1,74	0,34	Морква	11,9	3,9
14	0,171	1,72	0,32	Перець	8,0	3,3
15	0,182	1,70	0,30	Баклажани	8,5	3,7
16	0,180	1,71	0,28	Помідори	9,0	3,5
17	0,178	1,73	0,42	Цибуля	9,6	3,7
18	0,176	1,75	0,44	Яблука	10,0	3,9
19	0,174	1,77	0,46	Груші	10,5	4,2
20	0,170	1,79	0,48	Сливи	11,0	4,4
21	0,172	1,75	0,30	Морква	9,8	4,1
22	0,181	1,78	0,28	Кабачки	9,6	3,8
23	0,145	1,88	0,34	Перець	10,8	3,2
24	0,162	1,85	0,38	Баклажани	11,0	3,9
25	0,160	1,77	0,44	Помідори	8,3	4,2
26	0,157	1,72	0,32	Цибуля	8,9	3,5
27	0,180	1,83	0,36	Яблука	9,0	4,1
28	0,168	1,74	0,30	Груші	10,5	3,6
29	0,175	1,81	0,42	Сливи	8,7	3,3
30	0,166	1,79	0,36	Морква	8,5	4,2

Таблиця 3

Варіанти завдань для розрахунку барабанної мийної машини.

№ варіанта	Діаметр барабана, $D_b$ , м.	Довжина барабана, $L_b$ , м.	Вид сировини
1	0,80	1,80	Кабачки
2	0,82	1,90	Перець
3	0,84	2,00	Баклажани
4	0,86	2,10	Помідори
5	0,88	2,20	Цибуля
6	0,90	2,30	Морква
7	0,92	2,40	Яблука
8	0,94	2,50	Груші
9	0,96	1,85	Сливи
10	0,91	1,95	Кабачки

Продовження таблиці 3.

№ варіанта	Діаметр барабана, $D_b$ , м.	Довжина барабана, $L_b$ , м.	Вид сировини
11	0,97	2,05	Перець
12	0,95	2,15	Баклажани
13	0,93	2,25	Помідори
14	0,95	2,35	Цибуля
15	0,97	2,45	Морква
16	0,99	2,55	Яблука
17	0,93	2,20	Груші
18	0,95	2,30	Сливи
19	0,97	2,40	Кабачки
20	0,94	2,50	Перець
21	0,81	1,85	Баклажани
22	0,83	1,95	Помідори
23	0,85	2,05	Цибуля
24	0,87	2,15	Морква
25	0,89	2,25	Яблука
26	0,83	1,95	Груші
27	0,85	2,10	Сливи
28	0,98	2,50	Кабачки
29	0,90	2,20	Перець
30	0,96	2,15	Баклажани

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА №3** **БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ** **ПРОСІЮВАННЯ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями, роботою, застосуванням і розрахунком машин для сепарування сипких харчових продуктів.

#### **Обладнання для просіювання сипких харчових продуктів**

Просіювання сипкої сировини є основною операцією підготовки її до переробки. При цьому від сировини відділяються феромагнітні та інші домішки.

В просіювачах сировина рухається по поверхні сита. Дрібні частинки, які проходять через отвори сита, називається проходом, а крупні частинки, які залишаються на поверхні сита і сходять з нього, називаються сходом.

Для просіювання застосовують машини з плоскими і барабанними ситами. Машини з плоскими ситами мають зворотно-поступальний, круговий

або вібраційний рух сит. Машини з барабанними ситами бувають з нерухомими ситами і ситами, що обертаються, циліндричної або призматичної форми.

Під час очищення горіхів, насіння какао бобів процес просіювання комбінується з повітряною сепарацією, яка дозволяє розділяти однакові за розмірами, але різними за аеродинамічними властивостями частинки.

Просіювачі обладнані плоскими або барабанними ситами, які здійснюють зворотно-поступальний, обертовий або вібраційний рух.

Просіювач А1-ХКМ (рис. 1) – це машина з плоским ситом, яке здійснює круговий рух. Він складається із ситової шафи 7, приводу і вібратора, змонтованих на рамі 1.

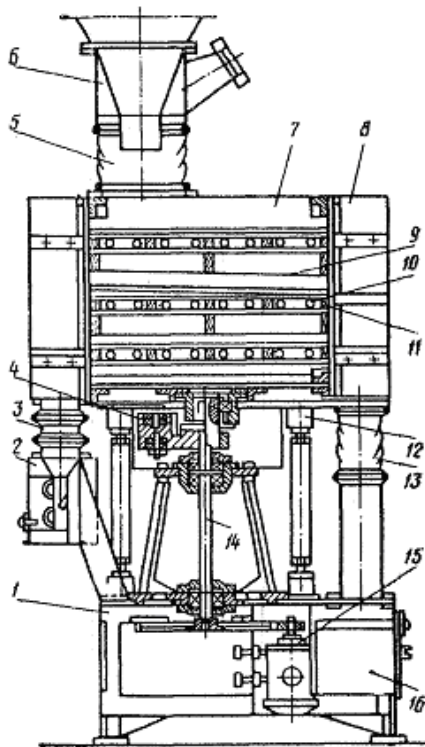


Рисунок 1 – Просіювач А1-ХКМ: 1 – рама; 2 – магнітний вловлювач; 3, 5, 13 – тканинні рукави; 4 – балансир; 6 – приймальний патрубок; 7 – ситова шафа; 8 – дверцята; 9 – піддон; 10 – гумова кулька; 11 – ситові рамки; 12 –

пружні опори; 14 – кривошипний вал; 15 – електродвигун; 16 – ящик для відходів

Ситова шафа приводиться в рух від електродвигуна 15 через клинопасову передачу. Під час обертання кривошипного вала 14 шафа 7, яка опирається на пружні опори 12, здійснює кругові коливання в горизонтальній площині. Кривошипний вал встановлений в корпусі на підшипниках. Вал роз'ємний, складається із двох частин, які з'єднані між собою балансиrom 4. Корпус підшипника прикріплюється болтами до днища шафи. Балансир закритий огороженням, заблокованим з приводом машини.

У шафі на направляючих кутниках встановлені три ситові рамки з піддонами 9. Ситова рамка розділена перегородкою на вісім секцій, в кожній із яких є по дві гумові кульки 10 для очищення сит. До шафи з торців за допомогою шарнірних замків прикріплені дверцята 8 з перепускними каналами і патрубками для відведення просіяної сировини і відходів. Приймальний патрубок 6 з'єднаний із шафою тканинним рукавом 5. Він має також штуцер для приєднання просіювача до аспіраційної системи.

Продукт, який необхідно просіяти, із бункера або жолоба через прийомний патрубок і рукав надходить у шафу 7, де послідовно просіюється на трьох ситових рамках. Просіяне борошно із шафи через рукав 3 надходить у магнітний вловлювач 2 для очищення від феромагнітних домішок. Вловлювач представляє собою прямокутний корпус, всередині якого на магнітотримачах закріплені два ряди постійних магнітів. Магнітотримач з магнітами можна виймати із корпусу для періодичного очищення. Із вловлювача роторним (гвинтовим) живильником, шнеком або самостійно продукт направляється на виробництво.

Для збирання відходів призначений ящик 16. Він з'єднаний тканинним рукавом 13 з випускним патрубком шафи. Відходи з ситових рам і ящика періодично видаляються вручну.

Пірамідальний бурат (рис. 2) виконаний у вигляді ситового шести- або п'ятигранного барабана, який закріплений спицями на горизонтальному валу 6 в підшипниках кочення 3. Гранями барабану являються з'ємні рамки, на які натягнуті плоскі сита. Рамки встановлені і закріплені на каркасі барабана 8 за допомогою спиць 10. Вал 6 і відповідний шнек 13 приводяться в рух від електродвигуна через черв'ячний редуктор, ланцюгові передачі, зірочки 1 і 2. Барабан і всі елементи бурата змонтовані в металічному корпусі 9.

Продукт всередину барабана 8 подається від вхідного бункера 4 коротким шнеком 5, який обертається з частотою 40 – 60 об/хв. Просіяна сировина ділиться на два потоки щитком 11 і стікає, проходячи через магніти 12, які очищують її від металомагнітних домішок. Очищений продукт надходить у відповідний шнек 13 і через випускний отвір 14 направляється у виробничий цех. Схід (домішки) переміщуються вздовж барабана завдяки нахилу сит і через канал 7 направляється в збірник.

Магніти розміщені в коробках, які за допомогою шарнірів можна повертати на кут  $90^\circ$  для очищення. Магніти очищують не менше трьох разів за зміну.

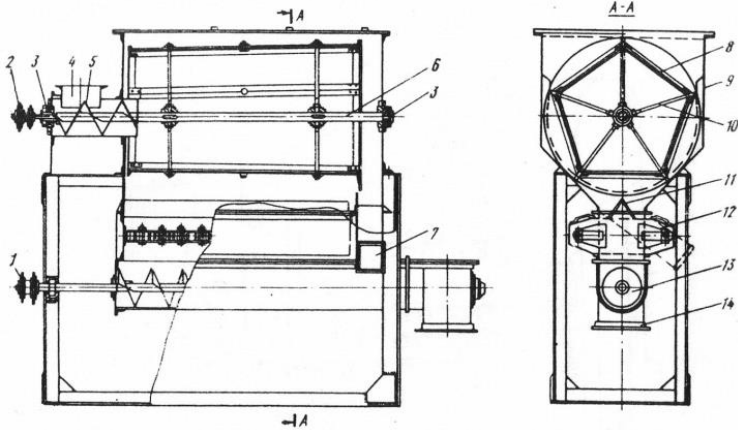


Рисунок 2 – Пірамідальний бурат: 1, 2 – зірочки; 3 – підшипники; 4 – бункер; 5 – короткий шнек; 6 – вал; 7 – канал для домішок; 8 – барабан; 9 – корпус; 10 – спиці; 11 – щиток; 12 – магніти; 13 – відвідний шнек; 14 – вивантажувальний отвір

Відцентрове сито (рис. 3) являє собою нерухомий ситовий барабан 2, всередині якого обертається вал 4 з частотою 820 об/хв. На валу закріплені планки 3 для відкидання продукту на внутрішню поверхню ситового барабана.

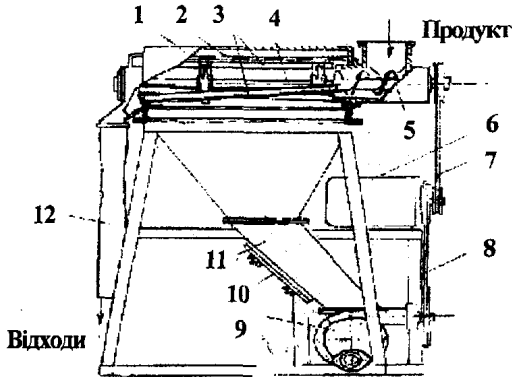


Рисунок 3 – Відцентрове сито: 1 – корпус; 2 – ситовий барабан; 3 – планки; 4 – вал; 5 – шнек; 6 – електродвигун; 7, 8 – пасові передачі; 9 – шлюзовий живильник; 10 – магніти; 11 – жолоб; 12 – збірник

Сировина всередину барабана подається шнеком 5, який розміщений паралельно з валом. Шнек і барабан розміщені в металевому корпусі 1.

Просіяний продукт надходить у жолоб корпусу сита, частинки, які не пройшли через нього, надходять у збірник 12. Просіяна сировина при стіканні по стінці жолоба проходить магнітну очистку за допомогою постійних магнітів 10, вмонтованих в стінку. До нижньої частинки жолоба прикріплений роторний шлюзовий живильник 9, який подає продукт в продуктивний провід пневматичної установки певної лінії.

Для просіювання борошна використовують просіювачі борошна типу МПМ-800 (рис. 4). Просіювач МПМ-800 складається із приводу, шнекового живильника, платформи, завантажувального бункера та просіювального механізму, який включає циліндричний корпус з розвантажувальним лотком та сито з нерухомими лопатями.

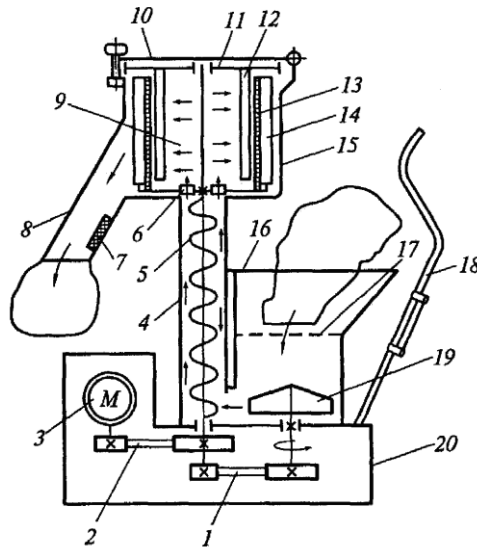


Рисунок 4 – Просіювач МПМ-800 з обертовим ситом: 1, 2 – клинопові передачі; 3 – електродвигун; 4 – труба; 5 – шнек; 6 – отвір; 7 – магнітний уловлювач; 8 – розвантажувальний лоток; 9 – просіювальна головка; 10 – кришка; 11 – хрестовина; 12 – ножі для розпушування; 13 – циліндричне сито; 14 – скребки; 15 – робоча камера; 16 – завантажувальний бункер; 17 – запобіжна решітка; 18 – перекидач; 19 – крильчатка; 20 – платформа

Всередині платформи 20 розміщений передаточний пристрій, який складається з двох клиноповіх передач 1 і 2. Поруч із електродвигуном 3

на платформі закріплена порожниста стійка (труба) 4, в середині якої обертається шнек 5 і подає продукт в просіювальну головку 9 крізь отвір 6. Просіювальна головка складається з робочої камери 15, обертового циліндричного сита 13 із скребками 14, яке закріплене на верхній консолі шнекового живильника, хрестовини 11 з ножами для розпушування 12. Хрестовина закрита кришкою 10, що фіксується відкидними гвинтом і гайкою. На рівні днища робочої камери встановлено розвантажувальний лоток 8 з магнітним уловлювачем 7.

На платформі поруч з порожнистою стійкою знаходиться завантажувальний бункер 16. Він має запобіжну решітку 17 і ручний піднімально-перекидний пристрій 18 для завантаження бункера борошном. На дні бункера розташована крильчатка 19. Машина комплектується просіювальним барабаном з ситами № 1,4 і 1,6.

При вмиканні електродвигуна за допомогою клинопасових передач рух передається шнековому живильнику, циліндричному сити і крильчатці бункера, яка подає борошно до порожнистої стійки, а далі шнеком в середину просіювальної головки. Частинки продукту, обертаючись із ситом, відкидаються до його стінок за рахунок відцентрової сили, проходять крізь отвори сита і потрапляють до нерухомої робочої камери, де скребками скидається в розвантажувальний лоток.

Грудочки борошна та інші органічні включення розбиваються ножами для розпушування в процесі роботи. Це може бути причиною потрапляння домішок в просіяне борошно, що вважається недоліком просіювачів з обертовим ситом.

### Методика розрахунку пірамідального бурата

Залежно від необхідної продуктивності  $Q$  приведений радіус барабана бурата визначають за формулою:

$$R = \frac{1}{h} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{\rho \cdot n_b \cdot \operatorname{tg} \alpha}\right)^2}, \text{ м}, \quad (1)$$

де  $h$  – найбільша товщина шару борошна в барабані,  $h = 0,05$  м;

$\rho$  – густина матеріалу,  $\text{кг/м}^3$ ;

$Q$  – продуктивність просіювача,  $\text{кг/с}$ ;

$n_b$  – частота обертання барабана,  $\text{об/с}$ ;

$\alpha$  – кут нахилу осі барабана до горизонту, град.

За знайденим приведеним радіусом перевіряють частоту обертання барабана:

$$n_b < n_{\text{кр}} = \frac{15}{\sqrt{R}}, \text{ об/с}. \quad (2)$$

Визначають загальну площу ситової поверхні барабана бурата:

$$F_c = \frac{Q}{Q_0}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

де  $Q_0$  – питома продуктивність бурата,  $Q_0 = 0,33 - 0,56 \text{ кг/м}^2\text{с}$ .

Визначають площу ситової поверхні одної рамки

$$F = \frac{F_c}{z}, \text{ м}^2, \quad (4)$$

де  $z$  – число граней ситового барабана,  $z = 5 - 6$  граней.

Рахуючи, що приведений радіус барабана  $R$  є середньою лінією пірамідальної грані ситового барабана, визначаємо довжину ситового барабана

$$L = \frac{F}{R}, \text{ м}. \quad (5)$$

Знаючи, площу ситової рамки і її довжину, визначають ширину рамки

$$B = \frac{F}{L}, \text{ м}. \quad (6)$$

Задаємося конструктивно розмірами шнека в таких межах: діаметр гвинта  $D = 0,15 - 0,20 \text{ м}$ ; крок гвинта  $t = D$ ; діаметр вала шнека  $d = (0,2 - 0,3)D$ .

Частоту обертання розподільчого шнека визначаємо за формулою:

$$n_{\text{шн}} = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2) \cdot \rho \cdot \psi}, \text{ об/с}, \quad (7)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт заповнення шнека,  $\psi = 0,5 \dots 0,6$ .

Потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

де  $N_1$  – потужність, необхідна на подолання сил тертя у підшипниках вала, кВт;

$N_2$  – потужність, яка затрачається на піднімання борошна в барабані, кВт;

$N_3$  – потужність, необхідна для обертання розподільчого шнека, кВт;

$\eta$  – ККД привода,  $\eta = 0,90 - 0,92$ .

Складові величин, які входять у формулу (8) визначають наступним чином:

$$N_1 = \frac{(G_{\bar{\sigma}} + G_M) \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot n_{\bar{\sigma}}}{1000}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

де  $G_{\bar{\sigma}}$  – вага барабана бурата, Н;

$G_M$  – вага борошна в барабані, Н;

$f$  – коефіцієнт тертя в підшипниках,  $f = 0,15 - 0,20$ ;

$d$  – діаметр вала шийки,  $d = 0,03 - 0,04 \text{ м}$ ;

$n_{\bar{\sigma}}$  – частота обертання барабана, об/с.

$$N_2 = \frac{2,4 \cdot G_M \cdot R \cdot n_6}{1000}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

де  $R$  – радіус барабана бурата, м;

$$N_3 = \frac{g \cdot Q \cdot L_{ш} \cdot W}{1000}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

де  $Q$  – продуктивність барабана, кг/с;

$L_{ш}$  – довжина шнека,  $L_{ш} = 0,5 - 0,6$  м;

$W$  – коефіцієнт опору руху,  $W = 4 - 5$ .

### Методика розрахунку просіювача борошна з вертикальними циліндричними ситами.

Зовнішній діаметр гвинта визначається за формулою

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,6Q}{n \cdot \rho \cdot \psi \cdot k}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де  $Q$  – продуктивність просіювача, кг/с;

$n$  – частота обертання шнека, об/с;

$\rho$  – насипна маса матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коефіцієнт продуктивності, який враховує умови завантаження і степінь заповнення шнека, а також властивості продукту і його обертання кругом осі гвинта,  $\psi = 0,2 - 0,3$ ;

$k$  – геометричний коефіцієнт, що враховує частину січення, яка зайнята гвинтом і валом,  $k = 0,65 - 0,75$ .

Згідно з розрахованим діаметром конструктивно задаються такими розмірами: крок гвинта  $t = (0,7 - 0,8)D$ ; висота завантажувального отвору кожуха  $h = (1 - 1,5)t$ ; діаметр вала гвинта  $d = (0,2 - 0,3)D$ ; радіальний зазор між гвинтом і кожухом  $\delta = 2 - 3$  мм.

Перевіряють частоту обертання шнека на критичне значення за формулою

$$n_{кр} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \text{tg}(\lambda + \varphi)}{f \cdot R}}, \text{ об/с}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – кут підйому гвинтової поверхні, град;

$\varphi$  – кут тертя спокою вантажу по гвинту ( $\text{tg} \varphi = f$ ), град;

$f$  – коефіцієнт матеріалу по кожуху;

$R$  – внутрішній радіус кожуха, м;

$$R = \frac{D}{2} + \delta, \text{ м}. \quad (3)$$

Кут підйому гвинтової поверхні визначається із формули

$$\text{tg} \lambda = \frac{t}{\pi \cdot D}. \quad (4)$$

Площа ситової поверхні

$$F_c = \frac{Q}{Q_o}, m^2, \quad (5)$$

де  $Q_o$  – питома продуктивність просіювача,  $Q_o = 2,8 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Діаметр циліндричного сита визначається за формулою

$$D_c = D + 2\delta, m. \quad (6)$$

Висоту циліндричного сита розраховуємо за формулою

$$h_c = \frac{F_c}{\pi \cdot D_c}, m. \quad (7)$$

Потужність електродвигуна визначається за формулою

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

де  $N_1$  – потужність, необхідна для піднімання борошна, кВт;

$N_2$  – потужність, необхідна для обертання живильних лопатей, кВт;

$\eta$  – ККД привода,  $\eta = 0,92$ .

$$N_1 = \frac{g \cdot Q \cdot h \cdot k_1 \cdot (W + 1)}{1000}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

де  $Q$  – продуктивність просіювача, кг/с;

$h$  – висота підйому продукту, м;

$k_1$  – коефіцієнт, який враховує втрати на тертя гвинта в підшипниках,  $k_1 = 1,15 - 1,20$ ;

$W$  – коефіцієнт опору руху,  $W = 10$ .

$$N_2 = z \cdot \frac{k_2 \cdot \omega^3 \cdot h}{408} \cdot (R_l^4 - r^4), \text{ кВт}, \quad (10)$$

де  $z$  – число лопатей,  $z = 2$ ;

$k_2$  – коефіцієнт опору (для борошна  $k_2 = 5000$ );

$\omega$  – кутова швидкість лопатей,  $\text{с}^{-1}$ ;

$h$  – висота лопаті,  $h = 0,03 \text{ м}$ ;

$R_l$  – зовнішній радіус лопаті,  $R_l = 0,3 \text{ м}$ ;

$r$  – радіус вала лопаті,  $r = 0,03 \text{ м}$ .

### Завдання для звіту

1. Описати принцип роботи просіювачів А1-ХКМ, ПБ-1,5, МПМ-800.
2. Замалювати схеми вище перерахованих просіювачів.
3. Виконати розрахунок пірамідального бурата.
4. Виконати розрахунок просіювача борошна з вертикальними циліндричними ситами.

### Контрольні запитання

1. Які машини застосовують для просіювання сировини?
2. Як працює просіювач А1-ХКМ?
3. Який принцип роботи пірамідального бурата?
4. Який принцип роботи відцентрового сита?
5. Як працює просіювач МПМ-800?

Таблиця 1.

#### Варіанти завдань для розрахунку пірамідального бурата.

№ варіанта	Продуктивність просіювача $Q$ , т/год.	Густина матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> .	Частота обертання барабана $n_6$ , об/с.	Кут нахилу осі барабана $\alpha$ , град.	Вага барабана $G_6$ , Н.	Вага борошна $G_{ш}$ , Н.
1	1,5	600	3,7	4	400	80
2	1,6	590	3,8	5	420	82
3	1,7	580	3,9	6	440	84
4	1,8	570	4,0	4	460	86
5	1,9	560	4,1	5	480	88
6	2,0	550	4,2	6	500	90
7	2,1	540	4,3	4	520	81
8	2,2	530	4,4	5	540	83
9	2,3	520	4,5	6	560	85
10	2,4	510	4,6	4	580	87
11	2,5	500	4,7	5	600	89
12	2,6	515	4,8	6	580	80
13	2,7	525	4,9	4	560	82
14	2,8	535	5,0	5	540	84
15	2,9	545	5,1	6	520	86
16	3,0	555	5,2	4	560	88
17	1,55	565	5,3	5	420	90
18	1,65	575	5,4	6	440	81
19	1,75	585	5,5	4	460	83
20	1,85	595	5,6	5	450	85
21	1,95	500	5,7	6	470	87
22	2,05	510	5,8	4	490	89
23	2,15	520	5,9	5	510	82
24	2,25	530	6,0	6	530	84
25	2,35	540	6,1	4	550	86
26	2,45	550	6,2	5	570	88
27	2,55	560	6,3	6	600	90
28	2,65	570	4,8	4	580	85
29	2,75	580	5,2	5	540	83
30	2,85	590	4,3	6	590	87

Таблиця 2.

**Варіанти завдань для розрахунку просіювача борошна з вертикальними циліндричними ситами.**

№ варіанга	Продуктивність просіювача $Q$ , т/год.	Частота обертання шнека $n$ , об/с.	Насипна маса матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> .	Коефіцієнт тертя матеріалу $f$ .	Висота підйому продукту $h$ , м.	Кутова швидкість лопатей $\omega$ , с <sup>-1</sup>
1	1,25	2,5	500	0,89	1,1	5,23
2	1,27	3,0	510	0,92	1,2	6,30
3	1,30	2,6	520	0,90	1,3	6,10
4	1,32	3,1	530	0,91	1,4	6,05
5	1,35	2,7	540	0,92	1,5	6,00
6	1,37	3,2	550	0,91	1,2	5,90
7	1,40	2,8	560	0,90	1,3	5,80
8	1,42	3,3	600	0,89	1,2	5,70
9	1,45	2,9	590	0,88	1,1	5,60
10	1,47	3,4	580	0,88	1,2	5,50
11	1,5	2,5	570	0,89	1,3	5,40
12	1,26	3,5	560	0,90	1,4	5,30
13	1,28	2,6	550	0,91	1,5	5,45
14	1,33	3,4	540	0,92	1,5	5,35
15	1,36	2,7	530	0,91	1,4	5,45
16	1,38	3,3	520	0,92	1,3	5,55
17	1,43	2,8	510	0,90	1,2	5,65
18	1,46	3,2	470	0,89	1,1	6,25
19	1,48	2,9	480	0,88	1,1	6,15
20	1,29	3,1	490	0,89	1,2	5,95
21	1,31	3,0	500	0,88	1,3	5,85
22	1,39	3,5	550	0,90	1,4	5,75
23	1,41	2,9	540	0,91	1,5	5,97
24	1,34	3,1	530	0,92	1,5	5,63
25	1,44	2,8	520	0,92	1,4	5,86
26	1,35	3,2	510	0,91	1,3	5,72
27	1,38	2,7	560	0,90	1,2	6,17
28	1,43	3,3	570	0,89	1,1	5,48
29	1,46	3,0	580	0,88	1,2	5,34
30	1,48	3,2	590	0,90	1,3	5,69

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

### БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями, принципом роботи, застосуванням робочих органів обладнання для подрібнення харчових продуктів і розрахунком машин для подрібнення харчових продуктів.

Подрібненням називають процес поділу на частини, який здійснюється шляхом механічної дії. Розрізняють два види подрібнення: подрібнення, при якому подрібнені частинки не мають форми, і різання, коли одночасно зі зменшенням розміру частинкам надається певна форма.

Процес подрібнення широко використовується в борошномельному, цукромельному, консервному, крохмало-паточному, пивному, виноробному, та інших виробництвах. Переробка матеріалів в подрібненому вигляді дозволяє, наприклад, значно прискорити екстрагування речовин і теплову обробку матеріалів, а отже провести ці процеси з незначними втратами речовин і меншою витратою теплоти.

#### Робочі органи дробарок

Дробарки можуть бути з наступними робочими органами: конусними, валковими, дисковими, штифтовими, молотковими. А також використовують кулькові та стержневі млини та шоккові дробарки.

Конусні дробарки (рис. 1) роздавлюють матеріал між зовнішнім нерухомим конусом 2 і внутрішнім рухомим 1, який обертається з ексцентриситетом. Вони застосовують для грубо дисперсного подрібнення. В харчовій промисловості застосовуються мало.

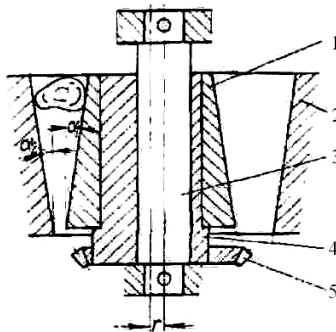


Рисунок 1 – Схема конусної дробарки: 1 – рухомий конус; 2 – нерухомий конус; 3 – вісь; 4 – ексцентриковий вал; 5 – шестерня

Валкові дробарки (рис. 2) є досить поширеними в харчовій промисловості. Вони застосовуються в основному для подрібнення зерна та солоду.

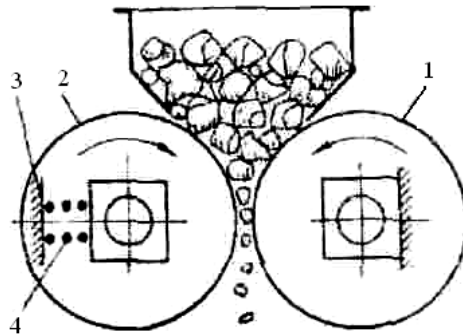


Рисунок 2 – Схема роботи валкової дробарки: 1 – валок з нерухожими підшипниками; 2 – валок з рухомими підшипниками; 3 – корпус дробарки; 4 – пружини

Подрібнення здійснюється за рахунок роздавлювання сировини між валками. Як правило один з валків знаходиться в рухомих підшипниках з пружинами, що дозволяє регулювати зазор між валками і відводити тверді предмети, що випадково потрапили між валки.

Залежно від ступеня подрібнення і фізико-механічних властивостей матеріалу в харчовій промисловості застосовуються дво- або багатовалкові дробарки (рис. 3).

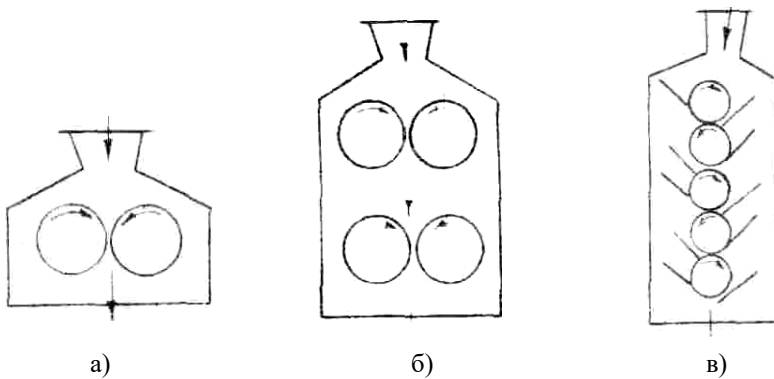


Рисунок 3 – Схеми валкових дробарок: а – двовалкова; б – чотиривалкова; в – п'ятивалкова

В дискових дробарках (рис. 4) подрібнюють зерно, сухарі, какао, бобові, горіхи, солод, вижимки тощо. Процес подрібнення здійснюється між робочими поверхнями двох дисків 1 і 2.

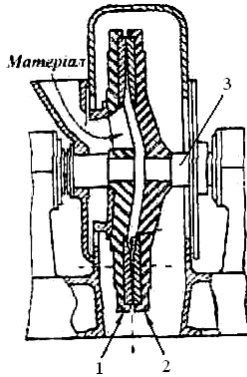


Рисунок 4 – Схема дискової дробарки: 1, 2 – диски; 3 – горизонтальний вал

Диск 2 обертається на горизонтальному валу, а диск 1 нерухомий. На робочих поверхнях дисків концентричними колами розташовані невеликі зубці трапецієподібної форми.

Штифтові дробарки (рис. 5) застосовують для тонкого подрібнення сипких харчових продуктів.

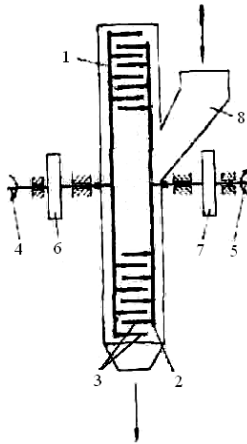


Рисунок 5 – Схема штифтової дробарки: 1,2 – диски, що обертаються; 3 – пальці; 4, 5 – вали; 6, 7 – шківні; 8 – завантажувальний бункер

Процес подрібнення матеріалу здійснюється за рахунок ударної дії пальців 3, закріплених на дисках 1 та 2. Причому окрім схеми з двома дисками, які обертаються (дезінтегратори), досить поширеною є також конструкція з одним нерухомим диском і одним диском, який обертається (дисембратори).

Молоткові дробарки (рис. 6) застосовуються в тому випадку, коли необхідно отримати відносно мілко подрібнений і однорідний продукт без подальшого застосування сортувальних машин. Вони ефективні для руйнування крихких продуктів (зерно, кістка, лід, сіль, цукор) і менш ефективні для продуктів з великим вмістом жирів. Продукт в молоткових дробарках подрібнюється від ударів молотків по частинках продукту, а також від ударів частинок в кожух дробарки і в результаті стирання частинок.

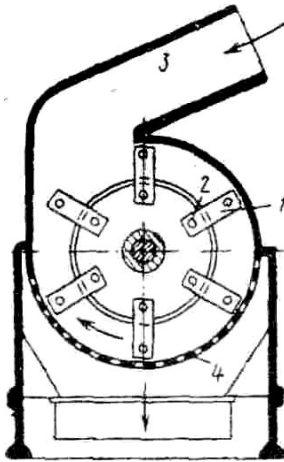


Рисунок 6 – Схема молоткової дробарки: 1 – молоток; 2 – стержень; 3 – живильник; 4 – сито

Робочими органами молоткової дробарки є молотки 1 із хромонікелевої сталі, які вільно підвішені на стержнях 2 дисків ротора, що змонтовані на валу. Матеріал також вдаряється об рифлену робочу поверхню кожуха і стирається на поверхні сита. Ступінь подрібнення матеріалу залежить від величини отворів сит.

Кульові та стержневі млини застосовуються в основному в борошномельній промисловості.

Під час обертання корпуса млина, кулі піднімаються на деяку висоту і притискаються до корпуса відцентровою силою (рис. 7). Під час падіння куль матеріал, що знаходиться між кулями, подрібнюється.

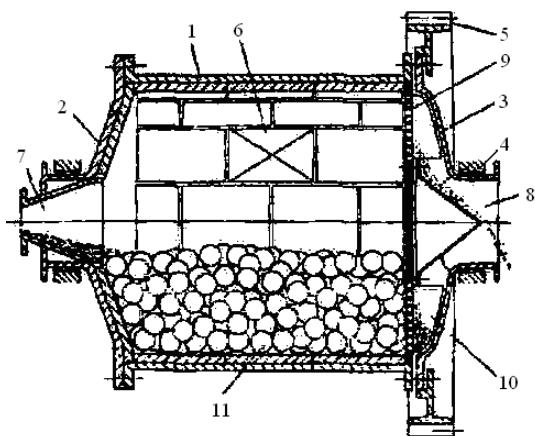


Рисунок 7 – Схема кульового млина: 1 – корпус; 2, 3 – торцеві кришки; 4 – підшипник; 5 – зубчастий вінець; 6 – плити; 7 – завантажувальна цапфа; 8 – розвантажувальна цапфа; 9 – діафрагма; 10 – ліфтери; 11 – кулі

Кулі виготовляються із сталі, діабазу, фарфору та інших матеріалів. Стальні кулі мають діаметр 35 – 175 мм. Корпус млина заповнюють кулями на 30 – 35 % об'єму. Розміри частинок до подрібнення повинні бути не більшими ніж 50 – 60 мм.

Поряд з кулями застосовують також циліндричні стержні. Розміщують їх паралельно до осі корпусу.

У щоківій дробарці (рис. 8) матеріал подрібнюється шляхом роздавлювання в комбінації з розколюванням між нерухомою і рухомою щоками 2. Привід здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу і маховик 6.

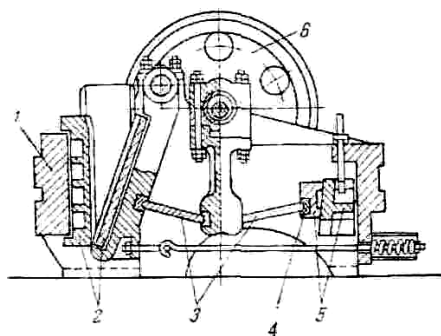


Рисунок 8 – Схема щоківій дробарки: 1 – корпус; 2 – змінні захисні плити, змонтовані на щоках; 3 – розпірні плити; 4 – втулка; 5 – клиновий регулятор; 6 – маховик

Подрібнююче зусилля передається через розпірні плити 3, тому втулки 4, в які входять кінці плит, робляться змінними із більш твердого матеріалу. Призначенням задньої розпірної плити є запобігання неполадкам через проникнення в робочий простір предметів з твердістю і ламається під час потрапляння в дробарку випадкових металевих предметів.

Ширина завантажувальної щілини регулюється за допомогою клинового регулятора 5.

### **Робочі органи ріжучих машин**

Машини для різання можна класифікувати:

а) за конструкцією і формою ріжучого інструменту (рис. 9) (ножі: дисковий або круглий, плоский, серповидний або шаблевидний, горшкоподібний або конусоподібний, гвинтовий або спіралевидний; дріт або струна);

б) за формою ріжучої поверхні (леза) ріжучого інструменту (рис. 10) (зубчаста, хвилеподібна, гладка, одностороння, двохстороння);

в) за видом різання (тиском, стругання, вільне падіння, вільне різання);

г) за положення ріжучого інструменту (нерухомий, поступальний, обертовий або коливальний рухи).

Ріжуче обладнання може функціонувати як окрема машина, наприклад, процес подрібнення в м'ясній і овочепереробній промисловості, так і в якості складової частини комплексу машин і автоматів.

Круглі та дискові ножі (рис. 9, а, б) використовують головним чином для різання пластичних і м'яких матеріалів (м'ясо, риба, тісто). Лезо при цьому гладке або з плавними зубцями. Для твердого або крихкого матеріалу такі ножі теж застосовуються, якщо лезо має гострі зубці. Радіус диска ножа повинен бути в 2,5 – 3 рази більший товщини матеріалу, що розрізається.

Плоскі ножі (рис. 9, в) широко застосовують в харчовій промисловості. Їх леза можуть бути гладкими або зубчастими. Товщина ножа повинна бути якомога менша, бо із збільшенням товщини відбувається зростання опору під час різання, особливо при двосторонній фіксації матеріалу. На силу різання впливає також кут заточування леза ножа, оптимальні значення якого знаходяться в межах 12 – 20°.

Стрічкові ножі (рис. 9, г) застосовують для різання хліба та інших виробів із борошна в гарячому стані. Завдяки малій ширині цих ножів сила тертя і кількість налиплого матеріалу менша, ніж у дискових ножів. Леза стрічкових ножів в основному зубчасті. Швидкість безкінечного контуру стрічкового ножа може дорівнювати від 5 до 10м/с, оптимальна товщина стрічкових ножів 1мм.

Шаблевидні (рис. 9, д) ножі використовуються перш за все для поперечного різання джгутоподібних матеріалів і для подрібнення риби, м'яса, овочів під час переробки. Їх ріжучий контур виконаний у вигляді

архімедової, або логарифмічної спіралі. Товщина ножів 2 – 5 мм, і кут нахилу леза в межах 8 – 12°.

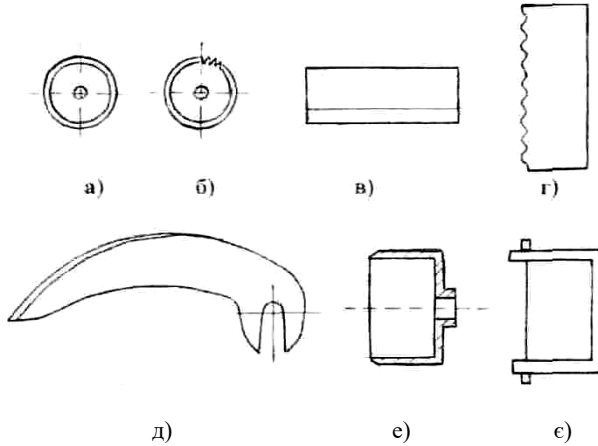


Рисунок 9 – Основні форми ножів: а) гладкий дисковий; б) зубчастий дисковий; в) гладкий плоский; г) зубчастий стрічковий; д) шаблеподібний; е) горшкоподібний; е) ріжуча струна

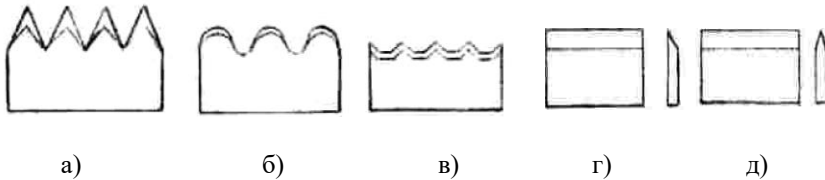


Рисунок 10 – Основні форми лез ріжучого інструменту: а) гостре зубчасте; б, в) дугоподібне зубчасте; г) гладке односторонньої заточки; д) гладке двосторонньої заточки

Ріжучий дріт (струна) (рис. 9, е) – є ефективним органом розділення, який за якістю різання відповідає ножам з тупим лезом. Він може бути використаний для різання матеріалів в'язко-пластичної гомогенної структури (масло, маргарин) або крихких, таких як вафлі. Діаметр ріжучого дроту від 0,2 мм до 2 мм.

Під час вибору оптимального ріжучого органу велике значення має також матеріал ножа. Він повинен відповідати вимогам харчової гігієни, бути стійким до спрацювання і мати незначний коефіцієнт тертя.

## Методика розрахунку шокової дробарки

Умова захвату сировини забезпечується, якщо кут захвату дорівнює або менший подвійного кута тертя, то

$$\alpha \leq 2\varphi, \text{ град}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут захвату, град;

$\varphi$  – кут тертя, град.

Кут тертя

$$\varphi = \arctg f, \text{ град}, \quad (2)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя.

На практиці для шокових дробарок пропонується приймати кут обхвату

$$\alpha \approx 1,4\varphi, \text{ град}. \quad (3)$$

Кількість коливань рухомої шоки відповідає частоті обертання ексцентрикового вала і пропонується для розрахунку використовувати рівняння:

- при довжині розвантажувальної щілини до 1 м:

$$n = 0,85 \sqrt{\frac{\text{tg} \alpha}{\Delta b}}, \quad \text{с}^{-1}, \quad (4)$$

- при довжині розвантажувальної щілини більше 1 м:

$$n = \frac{0,85}{L^{2/3}} \sqrt{\frac{\text{tg} \alpha}{\Delta b}}, \quad \text{с}^{-1}, \quad (5)$$

де  $\Delta b$  – хід шоки в розвантажувальній щілині, м;

$L$  – довжина розвантажувальної щілини, м.

У зв'язку з нестабільністю фізико-механічних властивостей матеріалів, невизначеністю форми шматків та їх взаємодії з робочими органами дробарки, хід стискання вибирається з запасом:

- для дробарок з простим коливанням рухомої шоки:

$$\Delta b = 8 + 0,26b, \quad \text{мм}; \quad (6)$$

- для дробарок з складним коливанням:

$$\Delta b = 7 + 0,1b, \quad \text{мм}, \quad (7)$$

де  $b$  – ширина розвантажувальної щілини, мм.

Об'ємна продуктивність дробарок розраховується за формулою:

$$Q_o = n \cdot L \frac{(2b + \Delta b) \cdot \Delta b}{2 \text{tg} \alpha}, \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (8)$$

де  $n$  – кількість коливань шоки за секунду,  $\text{с}^{-1}$ ;

$L$  – довжина розвантажувальної щілини, м;

$b$  – ширина розвантажувальної щілини, м;

$\Delta b$  – хід шоки в розвантажувальній щілині, м.

Масова продуктивність дробарки:

$$Q_M = G_o \cdot \rho \cdot \psi, \quad \text{кг/с}, \quad (9)$$

де  $\rho$  – густина подрібнюваного матеріалу,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\psi$  – коефіцієнт розпушення матеріалу.

Потужність електродвигуна для приводу дробарки вираховується за формулою:

$$N_e = \frac{A \cdot n}{1000 \cdot \eta}, \quad \text{кВт}, \quad (10)$$

де  $A$  – робота, що затрачається на подрібнення матеріалу, Дж;  
 $n$  – кількість коливань щоки за секунду,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\eta$  – коефіцієнт корисної дії дробарки,  $\eta = 0,6 - 0,7$ .  
 Для практичних розрахунків потужність електродвигуна пропонується розраховувати за емпіричною формулою:

$$N_e = 39n \cdot F^{1,25}, \quad \text{кВт}, \quad (11)$$

де  $F$  – площа завантажувальної щілини,  $\text{м}^2$ .

$$F = B \cdot L, \quad \text{м}^2, \quad (12)$$

де  $B$  – ширина завантажувальної щілини, м;  
 $L$  – довжина завантажувальної щілини, м.

Тоді робота, яка затрачається на подрібнення матеріалу, визначається за формулою:

$$A = \frac{1000 N_e \cdot \eta}{n}, \quad \text{Дж}. \quad (13)$$

Максимальне зусилля, що виникає при подрібненні

$$P_{\max} = \frac{2A}{\Delta b}, \quad \text{Н}, \quad (14)$$

де  $\Delta b'$  – хід рухомої щоки в точці прикладення сили, м.

Зусилля  $P_{\max}$  є фіксованим по довжині рухомої щоки і встановлюється:

- для дробарок простого коливання

$$\Delta b' = \frac{\Delta b}{3} \cos \alpha, \quad \text{м}, \quad (15)$$

- для дробарок складного коливання

$$\Delta b' = \frac{\Delta b + 2e}{2} \cos \alpha, \quad \text{м}, \quad (16)$$

де  $e$  – ексцентриситет вала дробарки складного коливання.

Зусилля, що стискує розпірну плиту, визначається за формулою:

$$P_p = \frac{P_{\max} \cdot l_1}{\sin \beta \cdot l}, \quad \text{Н}, \quad (17)$$

де  $\beta$  – кут між рухомою щокою і розпірною плитою (для дробарок простого коливання  $\beta = 80^\circ$ ; для дробарок складного коливання  $\beta = 50 - 65^\circ$ );

$l_1$  – плече дії сили  $P_{\max}$  відносно осі підвісу рухомої шоки, м;  
 $l$  – відстань від осі підвісу рухомої шоки до розпірної плити, м.

Між значеннями  $l_1$  і  $l$  існує залежність:

- для дробарок простого коливання

$$l_1 = \frac{l}{3}, \quad \text{м}; \quad (18)$$

- для дробарок складного коливання

$$l_1 = \frac{l}{2}, \quad \text{м}. \quad (19)$$

Зусилля, що розтягує шатун дробарки простого коливання розраховується з умови, що кут між розпірною плитою і шатуном складає  $\gamma = 80^\circ$ .

$$P_{ш} = 2P_p \cdot \cos\gamma, \quad \text{Н}. \quad (20)$$

Шокова дробарка має два маховики для акумуляції енергії  $E$ , що накопичується в період холостого ходу рухомої шоки. Враховуючи, що енергія накопичується лише одним маховиком, можна записати:

$$E = \frac{A}{2} = I \cdot \omega^2 \cdot \delta, \quad \text{Дж}, \quad (21)$$

де  $I$  – момент інерції маховика при умові, що вся його маса віднесена до обода,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega$  – середня кутова швидкість маховика,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\delta$  – ступінь нерівномірності обертання маховика,  $\delta = 0,01 - 0,03$ .

Середня кутова швидкість

$$\omega = 2\pi n, \quad \text{с}^{-1}, \quad (22)$$

де  $n$  – частота обертання ексцентрикового вала,  $\text{об/с}$ .

Момент інерції маховика

$$I = m \cdot \frac{R^2 + r^2}{2}, \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2, \quad (23)$$

де  $m$  – маса маховика,  $\text{кг}$ ;

$R$  – зовнішній радіус обода маховика,  $\text{м}$ ;

$r$  – внутрішній радіус обода маховика,  $\text{м}$ .

У практичних розрахунках, при малій товщині ободу маховика порівняно з його радіусом, приймається  $R=r$ , тоді момент інерції маховика визначається за формулою:

$$I = mR^2, \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2. \quad (24)$$

Колове зусилля на маховику

$$P_k = \frac{10^3 \cdot N_e}{v}, \quad \text{Н}, \quad (25)$$

де  $v$  – колова швидкість ободу маховика,  $v = \omega \cdot R$ ,  $\text{м/с}$ .

## Методика розрахунку відцентрової бурякорізки

У процесі створення та експлуатації бурякорізок виконують проектні та перевірочні розрахунки їх продуктивності, витрат енергії, ведуть вибір раціональних режимів роботи з метою одержання якісної бурякової стружки. У загальному вигляді формула для визначення продуктивності бурякорізок має вигляд:

$$Q = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot L \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot K_K \cdot K_E}{1000}, \text{ м/добу}, \quad (1)$$

де  $L$  – загальна довжина ріжучих країв ножів, м;  
 $h$  – товщина стружки, м;  
 $v$  – швидкість різання, м/с;  
 $\rho$  – маса стружки в одиниці об'єму, кг/м<sup>3</sup>;  
 $K_K$  – конструктивний параметр;  
 $K_E$  – експлуатаційний коефіцієнт.

Кількість ножів визначають за формулою:

$$m_n = \frac{L}{L_1}, \text{ шт}, \quad (2)$$

де  $L_1$  – стандартна довжина одного ножа,  $L_1=0,165$ м.

Внутрішній діаметр барабана:

$$D = \frac{L_3}{\pi}, \text{ м}, \quad (3)$$

де  $L_3$  – необхідна довжина кола для розміщення всіх рам, м:

$$L_3 = (a + b) \cdot m_p, \text{ м}, \quad (4)$$

де  $a$  – ширина рам,  $a=0,155$ м;

$b$  – ширина проміжків між рамами,  $b=0,1$ м;

$m_p$  – загальна кількість рам у бурякорізці.

$$m_p = \frac{m_n}{m_{np}} + m_2, \text{ шт}, \quad (5)$$

де  $m_{np}$  – кількість ножів в одній рамі,  $m_{np}=2$ ;

$m_2$  – кількість глухих рам.

Для того, щоб в аварійних випадках вивантажувати буряки та домішки, одна із рам повинна бути заглушена, тобто  $m_2=1$ .

Висоту барабана  $H$  для встановлення ножових рам і заглушок визначають, враховуючи особливості конструкції ножових рам і заглушок та способи регулювання їх положення і фіксації.

$$H = 2L_p + C, \text{ мм}, \quad (6)$$

де  $L_p$  – довжина ножової рами,  $L_p=392$  мм;

$C$  – припуск на зміну положення ножової рами,  $C=10$  мм.

Конструктивний коефіцієнт для бурякорізки відцентрового типу, що має трьохлопатовий завиток з трьома контрножами визначається за формулою

$$K_K = \frac{\pi \cdot D - \sum \delta}{\pi \cdot D}, \quad (7)$$

де  $\sum \delta$  – сумарна довжина дуг, які займають в цьому випадку три ребра товщиною  $\delta$  разом з контрножками ( $\delta=40\text{мм}$ ).

Експлуатаційний коефіцієнт визначають так

$$K_e = \frac{24 - \sum T_{\text{зупн}}}{24}, \quad (8)$$

де  $\sum T_{\text{зупн}}$  – сумарна тривалість зупинок для можливого вивантаження сторонніх предметів, щозмінного огляду технічного стану, виконання незначних ремонтно-запобіжних операцій та змащування окремих деталей і вузлів.

Важливим елементом бурякорізки є її привід. Він повинен мати достатню потужність, щоб забезпечити плавну зміну частоти обертання лопатевого завитка для досягнення потрібної продуктивності і якості стружки при тривалій надійній роботі.

Загальна потужність без врахування сил тертя у механізмах приводу:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad \text{кВт}, \quad (9)$$

де  $N_1$  – потужність, яка необхідна для розгону буряків, кВт;

$N_2$  – потужність, яка необхідна для різання буряків, кВт;

$N_3$  – потужність на подолання сил тертя буряків по корпусу та рамах, кВт;

$N_4$  – потужність для подолання сил тертя між шарами буряків, кВт.

Потужність, яка необхідна для розгону буряків:

$$N_1 = \frac{(G_b + G_3) \cdot v^2}{2g \cdot 102}, \quad \text{кВт}, \quad (10)$$

де  $G_b$  – маса рухомих буряків, що знаходяться над завитком, кг;

$G_3$  – маса завитка, кг;

$v$  – швидкість різання, м/с.

Маса рухомих буряків, що знаходяться над завитком:

$$G_b = V_b \cdot \rho_b, \quad \text{кг}, \quad (11)$$

де  $V_b$  – рухомий об'єм буряків над завитком, м<sup>3</sup>;

$\rho_b$  – об'ємна маса рухомих буряків,  $\rho_b = 550 \text{ кг/м}^3$ .

Потужність приводу для різання буряків

$$N_2 = \frac{M_1 \cdot n}{974}, \quad \text{кВт}, \quad (12)$$

де  $M_1$  – момент при різанні буряків відносно осі обертання, Н·м;

$n$  – число обертання завитка за хвилину, об/хв:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad \text{об/хв}. \quad (13)$$

Момент різання відносно осі обертання:

$$M_I = F \cdot R, \quad H \cdot m, \quad (14)$$

де  $F$  – сумарна величина зусиль різання, Н.

$R$  – радіус різання, для відцентрових бурякорізок  $R = D/2$ .

Сумарна величина зусилля для різання:

$$F = f \cdot 2L_I \cdot m \cdot \eta_{\text{відн}} \cdot K_K, \quad H, \quad (15)$$

де  $f$  – питома зусилля різання,  $f = 135 - 160$  Н/м;

$L_I$  – довжина ножа, м;

$m$  – кількість ножових рам;

$K_K$  – конструктивний коефіцієнт;

$\eta_{\text{відн}}$  – коефіцієнт, який враховує повітряні проміжки в шарі буряків, для умов знаходження буряків у бурякорізці  $\eta_{\text{відн}} = 0,55 - 0,6$ .

Потужність на подолання сил тертя буряків по корпусу та рамах:

$$N_3 = 9,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{g} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot v^3 \cdot R \cdot L_I \cdot K_K, \quad \text{кВт}, \quad (16)$$

де  $\rho_{\text{б}}$  – об'ємна маса рухомих буряків,  $\rho_{\text{б}} = 550$  кг/м<sup>3</sup>.

Потужність для подолання сил тертя між шарами буряків залежить від конструкції завантажувального бункера. Для відцентрових бурякорізок з конічним бункером, який має прохідний отвір 0,7х0,8 м, потрібна потужність додатково залежить від продуктивності бурякорізки і для  $Q=2 - 3$  тис.тонн/год. становить:

$$N \approx 6 \text{ кВт}. \quad (17)$$

Приріст потужності на подолання сил від механічного тертя складає приблизно 3 – 3,5 % від сумарної потужності.

### Завдання для звіту

1. Описати робочі органи дробарок.
2. Замалювати схеми дробарок.
3. Описати конструкцію ріжучих інструментів.
4. Замалювати основні форми ножів.
5. Виконати розрахунок шокової дробарки.
6. Виконати розрахунок відцентрової бурякорізки.

### Контрольні питання

1. Розказати суть процесу подрібнення.
2. Які є види подрібнення?
3. Які ви знаєте робочі органи дробарок?
4. Які є основні форми ножів, і для чого вони призначені?

Таблиця 1.

## Варіанти завдань для розрахунку шокової дробарки.

№ варіанта	Коефіцієнт тертя $f$ .	Довжина зав-тажувального отвору $L$ , мм.	Ширина зав-тажувального отвору $B$ , мм.	Ширина зав-тажувальної щілини $b$ , мм.	Густина подрібнюючого матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> .	Коефіцієнт розпушення матеріалу $\psi$ .	Маса маховика $m$ , кг.
1	0,90	1200	900	180	1900	0,30	300
2	0,85	1100	850	170	1800	0,40	290
3	0,80	1000	800	150	1700	0,50	280
4	0,75	900	750	100	1600	0,45	270
5	0,70	800	700	80	1500	0,35	260
6	0,65	700	650	70	1400	0,30	250
7	0,60	60	550	60	1300	0,40	240
8	0,65	1300	850	50	1200	0,50	300
9	0,70	1100	900	160	1100	0,45	290
10	0,75	1000	850	140	1200	0,35	280
11	0,80	900	800	110	1300	0,30	270
12	0,85	800	750	90	1400	0,40	260
13	0,90	700	600	85	1450	0,50	250
14	0,85	600	500	75	1550	0,35	240
15	0,80	1200	800	160	1650	0,45	295
16	0,90	1300	850	165	1750	0,30	285
17	0,75	1100	900	130	1850	0,40	275
18	0,70	1000	950	120	1950	0,50	265
19	0,65	900	750	95	1050	0,35	255
20	0,60	800	600	85	1150	0,45	245
21	0,70	700	550	75	1250	0,30	250
22	0,65	600	550	65	1350	0,40	255
23	0,60	800	700	70	1100	0,50	260
24	0,70	700	650	65	1200	0,35	265
25	0,75	900	600	60	1300	0,45	270
26	0,80	1000	750	135	1400	0,30	275
27	0,85	1100	700	145	1500	0,40	280
28	0,90	1200	850	155	1600	0,50	285
29	0,70	1300	1000	155	1700	0,35	290
30	0,80	1200	950	125	1800	0,45	295

Таблиця 2.

## Варіанти завдань для розрахунку відцентрової бурякорізки.

№ варіанта	Продуктивність $Q$ , т/добу.	Товщина стружки $h$ , мм.	Швидкість різання $v$ , м/с.	Густина стружки $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> .	Конструктивний коефіцієнт $K_c$ .	Експлуатаційний коефіцієнт $K_e$ .	Рухомий об'єм буряків над завитком $V_b$ , м <sup>3</sup> .	Маса завитка $G_3$ , кг.
1	1000	4	5,5	570	0,98	0,89	1,1	405
2	1100	4	6,0	540	0,98	0,90	1,2	410
3	1200	4	6,5	545	0,98	0,91	1,3	415
4	1250	4	7,0	550	0,98	0,89	1,4	420
5	1300	4	7,5	555	0,97	0,90	1,5	430
6	1350	5	8,0	560	0,97	0,91	1,4	425
7	1400	5	5,0	565	0,97	0,89	1,3	435
8	1450	5	5,5	560	0,97	0,90	1,2	415
9	1500	5	6,0	570	0,96	0,91	1,1	410
10	1600	5	6,5	540	0,96	0,89	1,1	415
11	1700	6	7,0	545	0,96	0,90	1,2	420
12	1800	6	7,5	550	0,96	0,91	1,3	430
13	1900	6	8,0	560	0,95	0,89	1,4	435
14	2000	6	5,0	565	0,95	0,90	1,5	440
15	2100	6	5,5	570	0,95	0,91	1,5	445
16	2200	7	6,0	545	0,95	0,89	1,4	440
17	2300	7	6,5	550	0,96	0,90	1,3	430
18	2400	7	7,0	555	0,96	0,91	1,5	450
19	2350	7	7,5	560	0,96	0,89	1,2	415
20	2250	7	8,0	565	0,96	0,90	1,1	410
21	2150	6	5,0	570	0,97	0,91	1,1	405
22	2050	6	5,5	540	0,97	0,89	1,2	420
23	1950	6	6,0	550	0,97	0,90	1,3	425
24	1850	5	6,5	555	0,97	0,91	1,4	430
25	1750	5	7,0	560	0,98	0,89	1,5	425
26	1650	5	7,5	565	0,98	0,90	1,4	420
27	1550	4	8,0	570	0,98	0,91	1,3	415
28	1150	4	5,0	545	0,98	0,89	1,2	410
29	1050	4	5,5	570	0,95	0,90	1,1	405
30	1200	7	6,0	555	0,95	0,91	1,3	420

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ЦЕНТРИФУГ ТА РОЗРАХУНОК ЦЕНТРИФУГИ З ЦИЛІНДРИЧНО-КОНІЧНИМ РОТОРОМ

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями, роботою, застосуванням і розрахунком центрифуг.

#### Загальні відомості

Для розділення грубодисперсних харчових суспензій (уфеля на мелясу і цукор для цього промивання; відділення крохмало від сокової води і обезводнення крохмало; відділення мезги від виноградного сусла та ін.) використовуються центрифуги.

За величиною фактора розділення  $F_p$ , центрифуги умовно поділяють на три класи: тихохідні ( $F_p < 1000$ ), швидкісні ( $1000 \leq F_p \leq 5000$ ), високошвидкісні, або надцентрифуги ( $F_p > 5000$ ); за технологічним призначенням: фільтруючі, відстійні, комбіновані; за способом вивантаження осаду із ротора: ручні, гравітаційні, інерційні з пульсуючими поршнями, шнеками ножами і скребками; за характером розміщення вала, на якому закріплюється ротор: з вертикальним і горизонтальним розміщенням вала. Центрифуги з вертикальним валом в залежності від розміщення опори вала можуть бути підвісними, коли опора розміщена вище центра тяжіння ротора, а ротор закріплений внизу вала, і центрифуги, ротор яких розміщений на верхньому кінці вала. В харчовій промисловості переважно використовуються фільтруючі і відстійні центрифуги. При цьому частіше всього переробці підлягають системи, які складаються з двох компонентів: рідкого і твердого, чи двох рідких, які взаємно нерозчинні й мають різну густину.

#### Будова і принцип роботи відстійної центрифуги

До відстійної шнекової центрифуги неперервної дії відноситься центрифуга типу НОГШ (рис. 1). В ротор 1 центрифуги з допомогою живильного пристрою 4 безперервно підводиться суспензія, фугат безперервно відводиться через зливні вікна 13, розміщені в торцевій стінці ротора, а осад безперервно вивантажується шнеком 3.

Загальною конструктивною ознакою центрифуг цього типу є горизонтальне розміщення вала 11 перфорованого конічного або циліндричного ротора з співвісно розміщенням в середині нього шнеком. Ротор і шнек обертаються в одному напрямку, але з різною частотою, в результаті цього осадок переміщується вздовж осі ротора. Ротор встановлений на двох опорах і приводиться в рух від електродвигуна через

клинопасову передачу. Шнек приводиться в рух від ротора центрифуги через планетарний редуктор.

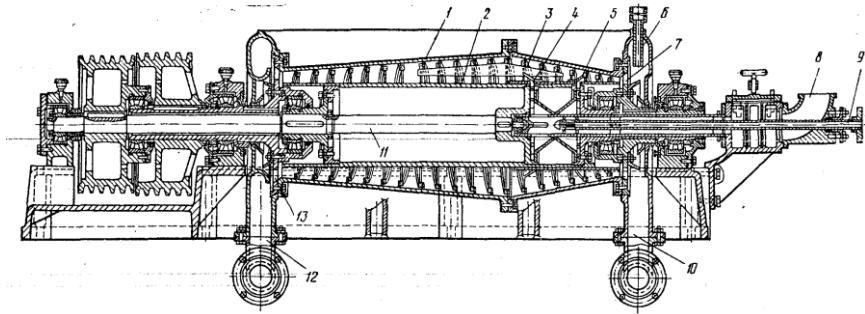


Рисунок 1 – Схема відстійної центрифуги типу НОГШ із шнековим вивантажуванням осаду: 1 – ротор; 2 – барабан; 3 – шнек; 4 – живильний пристрій; 5 – пристрій впуску промивної води; 6 – труба; 7 – вікно вивантаження; 8 – труба; 9 – живильна труба; 10 – приймальник осаду; 11 – горизонтальний вал; 12 – приймальник освітленої рідини; 13 – зливні вікна

Суспензія поступає у внутрішню порожнину шнека по живильній трубці 9, звідки через вікна обичайки шнека попадає в ротор. В результаті розділення під дією поля відцентрових сил на внутрішній поверхні ротора утворюється шар частин твердої фази, яка транспортується шнеком до вікон вивантаження 7, які розміщені в вузькій частині ротора. Осадок видаляється в приймальник 10. Освітлена рідина направляється до зливних вікон, переливається через зливний борт і викидається із ротора в приймальник 12.

Центрифуга обладнана пристроєм 5 для впуску промивної води, яка подається по трубах 6 і 8.

### **Будова і принцип роботи автоматичної центрифуги циклічної дії**

Автоматична центрифуга циклічної дії ФПН-1251Л-02 (рис. 2) складається із ротора 12 підвішеного на валу 6 в верхній опорі, п'яти швидкісного асинхронного електродвигуна 3, механізму зрізу 2, пристрою для промивання 1, підвісної головки 5, пульта керування 7, розподільчого диска 10, кожуха 11, станини 13, труби для підведення води, патрубку для відведення пари, яка утворилася парів, труби для підводу пари і пневмоциліндра заслінки лотка.

Працює центрифуга наступним чином. При досягненні частоти обертання ротора  $23 \text{ с}^{-1}$  відкривається шиберна заслінка утфелерозподільювача

і утфель по лотку поступає в ротор центрифуги. Після завантаження ротора до заданого об'єму датчик 9 завантаження утфеля дає команду на закриття шиберної заслінки. Потім електродвигун набирає максимальну частоту обертання  $150\text{с}^{-1}$ , при якій відбувається фуговка утфелю, яка регулюється реле часу.

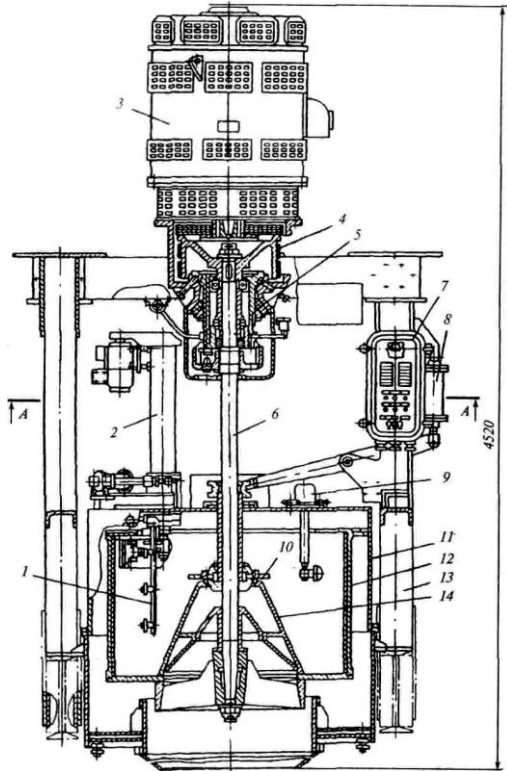


Рисунок 2 – Автоматична центрифуга ФПН-1251Л-02: 1 – промивний пристрій; 2 – механізм зрізу; 3 – електродвигун; 4 – механічне гальмо; 5 – підвісна головка; 6 – вертикальний вал; 7 – пульт керування; 8 – пневмоциліндр; 9 – датчик завантаження утфеля; 10 – розподільчий диск; 11 – кожух; 12 – ротор; 13 – станина; 14 – запірний конус

Після закінчення фуговки включається електромагнітний клапан, і вода поступає в пристрій для промивання цукру. Одночасно сегрегатор переключається на відведення білої меляси.

Після промивання і пропарювання цукру відбувається переключення електродвигуна на меншу швидкість, і центрифуга починає гальмуватися. При частоті обертання  $5\text{с}^{-1}$  вмикається механічне гальмо 4 і електродвигун вмикається, а потім перемикається на зворотне обертання ротора.

При досягненні ротором частоти обертання  $7 - 10\text{с}^{-1}$  піднімається запірний конус 14 і до шару цукру пневмоциліндром 8 підводиться ніж. По вертикалі ніж переміщується за допомогою електродвигуна. Після закінчення вивантаження механізм зрізу займає початкове положення, запірний конус опускається, сита промиваються водою і починається наступний цикл роботи.

### Будова і принцип роботи фільтруючої центрифуги

Прикладом фільтруючої центрифуги безперервної дії є конічна центрифуга з інерційним вивантаженням осаду (рис. 3). Перевагою центрифуг такого типу є відсутність вивантажувальних пристроїв, що контактують з осадом.

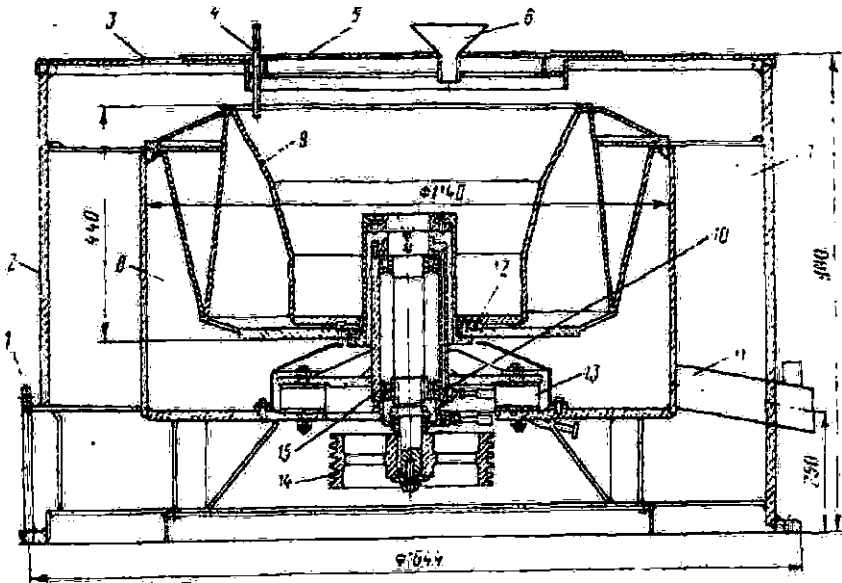


Рисунок 3 – Конічна інерційна центрифуга К-7500 безперервної дії: 1-стрічна кришка; 2 – кожух; 3 – верхня кришка; 4 – пристрій для підводу пари; 5 – запобіжна кришка; 6 – пристрій для підводу утфелю; 7 – кільцевий приймальник рідкої фази; 8 – кільцевий приймальник твердої фази; 9 – ротор; 10 – трубопровід системи змішування; 11 – труба для рідкої фази; 12 – ущільнення; 13 – амортизатор; 14 – шків; 15 – корпус підшипникової опори

Машини такого типу працюють за принципом безперервного переміщення продукту по поверхні фільтрувального конічного ротора, що обертається під дією дотичної складової відцентрової сили.

Відділення рідкої фази від твердої під дією поля відцентрових сил здійснюється в тонкому шарі матеріалу, що переміщається, товщина якого і досягає мінімального значення при сходженні з конічного ротора.

Для переміщення осаду по поверхні ротора під дією відцентрової сили необхідно, щоб кут нахилу твірної конічного ротора до вертикалі був більший, ніж кут тертя осаду по поверхні ротора. Щоб тверда фаза не накопичувалася, стінки нижньої частини ротора центрифуги проєктують під кутом 60° до горизонталі.

Машини такого типу прості за конструкцією, економічні та надійні в експлуатації. Однак їх широке застосування в промисловості стримується в певній мірі відсутністю надійних способів регулювання тривалості перебування матеріалу на фільтруючій поверхні конічного ротора.

Конічні центрифуги неперервної дії не потребують при їх встановленні спеціального фундаменту, так як працюють без вібрацій, що характерно для автоматизованих центрифуг періодичної дії.

### Методика розрахунку центрифуги з циліндрично-конічним ротором

Робочі об'єми барабанів складної форми визначають з урахуванням визначальних розмірів кожної із складових частин. Наприклад, об'єм циліндроконічних барабанів вираховують за рівнянням:

$$V_p = \frac{\pi(3(D_e^2 - d^2)H + (D_e^2 + D_e \cdot d - 2d^2)h)}{12}, \quad \text{м}^3, \quad (1)$$

де  $D_e$  – внутрішній діаметр ротора, м;

$d$  – діаметр борта ротора, м;

$H$  – висота циліндричної частини ротора, м;

$h$  – висота конічної частини ротора, м.

Продуктивність центрифуг визначають і за кількістю перероблених буряків, за кількістю суспензії (утфелю) і за кількістю осаду (жовтого чи білого цукру).

Годинна продуктивність центрифуги:

$$Q_z = \frac{q \cdot 60}{\tau}, \quad \text{кг/год}, \quad (2)$$

де  $q$  – маса одноразового завантаженого утфелю в центрифугу, кг;

$\tau$  – тривалість повного циклу, хв;

$$q = V_p \cdot \varphi \cdot \rho, \quad \text{кг}, \quad (3)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт використання об'єму ротора,  $\varphi = 0,95$ ;  
 $\rho$  – об'ємна маса утфелю,  $\text{кг/м}^3$ .

Добову продуктивність таких центрифуг за кількістю перероблених заводом буряків за добу визначають за формулою:

$$Q_o = \frac{24 \cdot 60 \cdot V_p \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho \cdot \varepsilon \cdot 100}{1000 \cdot P \cdot \tau}, \text{ м/добу}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – експлуатаційний коефіцієнт,  $\varepsilon = T/24 = 0,9 - 0,95$ ;  
 $n$  – кількість працюючих центрифуг;  
 $T$  – кількість годин роботи центрифуги на добу, год;  
 $P$  – кількість утфелю даної кристалізації до маси перероблюваних буряків, %;  
 $\tau$  – тривалість одного циклу роботи центрифуги, хв.

Орієнтовно  $P$  і  $\tau$  можна вибрати за таблицею 1.

Таблиця 1.

Продукт (суспензія)	$P$ , %	$\tau$ , хв	$\rho$ , $\text{кг/м}^3$
Утфель І пр.	31...33	3,5...4	1497
Утфель ІІ пр.	15...20	8	1501
Утфель ІІІ пр.	8...10	16	1505

Рівняння (4) застосовують при перевірочних і проектних розрахунках. Рівняння (4) у спрощеному вигляді записують так:

$$Q_o = \frac{1440 \cdot q \cdot n \cdot \varepsilon}{10 \cdot P \cdot \tau}, \text{ м/добу}, \quad (5)$$

При розрахунку кількості центрифуг для заданої продуктивності заводу отримане значення заокруглюють до цілого числа в сторону збільшення.

Кількість центрифуг, необхідних для забезпечення заданої добової продуктивності

$$m = n + 1. \quad (6)$$

Потужність на валі центрифуги розраховують за формулою

$$N = N_{\delta} + N_c + N_m + N_e, \text{ кВт}, \quad (7)$$

де  $N_{\delta}$  і  $N_c$  – потужності, необхідні для розгону барабана і суспензії відповідно, кВт;

$N_m$  і  $N_e$  – потужності для подолання сил тертя в підшипниках і сил тертя барабана в повітря, кВт.

У робочий період витрати енергії значно менші:

$$N_p = 1/4 N_c + 2/3 N_m + N_e, \text{ кВт}. \quad (8)$$

Потужність електродвигуна приймають із запасом 10 – 20%.

Кожна із складових рівнянь (7) і (8) визначається обчисленням роботи, потрібної для виконання певної стадії процесу.

Робота, що витрачається на надання барабанові потрібної швидкості:

$$A_{\delta} = \frac{m_{\delta} \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (9)$$

де  $m_{\delta}$  – маса обертових частин центрифуги, кг;

$R$  – внутрішній радіус ротора барабана, м;

$\omega$  – кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$ .

Тоді потужність, потрібна для розгону барабана:

$$N_{\delta} = \frac{A_{\delta}}{1000 \cdot \tau_1}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

де  $\tau_1$  – тривалість розгону,  $\tau_1 = 50$  с.

Робота, що затрачається на надання кінетичної енергії суспензії, яка

надходить на розділ:

$$A_c = \frac{m_c (R^2 + r_0^2) \cdot \omega^2}{4}, \text{ Дж}, \quad (11)$$

де  $m_c$  – маса завантаженої в барабан суспензії,  $m_c = q$ , кг;

$r_0$  – внутрішній радіус кільця суспензії, м;

$$r_0 = \frac{D_B}{2} - S, \text{ м}, \quad (12)$$

де  $S$  – товщина кінцевого шару утфелю, м.

$$S = R - \sqrt{R^2 - \frac{m_c}{\rho \cdot \pi \cdot H}}, \quad \text{м.} \quad (13)$$

Потужність, необхідна для надання кінетичної енергії суспензії:

$$N_c = \frac{A_c}{1000 \cdot \tau_1 \cdot \eta}, \quad \text{кВт}, \quad (14)$$

де  $\tau_1$  – тривалість розгону, с;

$\eta$  – коефіцієнт, який враховує витрати енергії на перемішування (або переміщення) суспензії в барабані, для цукрових утфелів  $\eta = 0,8$ .

Потужність для подолання тертя в підшипниках:

$$N_m = \frac{m \cdot \mu \cdot v}{1000}, \quad \text{кВт}, \quad (15)$$

де  $m = m_u + m_c$  – маса обертових частин центрифуги  $m_u$  та завантаженої суспензії  $m_c$ , кг;

$\mu$  – коефіцієнт тертя (приймають  $\mu = 0,3$ );

$v$  – колова швидкість поверхні шийки вала центрифуги, м/с.

$$v = \frac{\pi \cdot d_g \cdot n_b}{60}, \quad \text{м/с}, \quad (16)$$

де  $d_g$  – діаметр шийки вала, м;

$n_b$  – частота обертання вала барабана, об/хв.

Потужність для подолання тертя барабана в повітря:

$$N_e = 1.32 \cdot 10^{-9} \cdot H \cdot D_g^4 \cdot n_b^3, \quad \text{кВт}, \quad (17)$$

де  $D_g$  і  $H$  – діаметр і висота барабана, м;

$n_b$  – частота обертання барабана, об/хв.

### Завдання для звіту

1. Описати будову і принцип роботи центрифуги типу НОГШ.
2. Замалювати схему центрифуги типу НОГШ.
3. Описати принцип роботи автоматичної центрифуги ФПН-1251Л-02.
4. Описати принцип роботи конічної інерційної центрифуги К-7500.
5. Виконати розрахунок центрифуги з циліндрично-конічним ротором.

### Контрольні запитання

1. Для чого призначені центрифуги?
2. Як класифікують центрифуги?
3. Який принцип роботи центрифуги типу НОГШ?
4. Як працює центрифуга ФПН-1251Л-02?
5. Які недоліки в роботі центрифуги К-7500?

## Варіанти завдань для розрахунку центрифуги з циліндрично-конічним ротором

Таблиця 2.

№ варіанта	Внутрішній діаметр ротора $D_6$ , мм.	Діаметр борта ротора $d_6$ , мм.	Діаметр циліндричної частини барабана $H_1$ , мм.	Висота конічної частини ротора $h_1$ , мм.	Добова продуктивність цукрового заводу	Кількість обертів барабана $n_6$ , об/хв.	Маса барабана $m_6$ , кг.	Діаметр шийки вала $d_{6c}$ , мм.	Продукт (сусензія).
1	920	620	820	350	2500	1200	290	100	Утфель I пр
2	940	640	840	370	2750	1300	300	105	Утфель II пр
3	960	680	850	390	3000	1400	305	110	Утфель III пр
4	980	700	870	410	3250	1500	310	115	Утфель III пр
5	1000	700	880	430	3500	1200	315	120	Утфель II пр
6	1040	710	900	450	2500	1300	320	125	Утфель I пр
7	1060	720	920	470	2750	1400	325	105	Утфель I пр
8	1080	760	940	490	3000	1500	330	110	Утфель II пр
9	1100	780	950	500	3250	1200	335	115	Утфель III пр
10	1150	820	960	520	3500	1300	340	120	Утфель III пр
11	1200	870	970	530	3250	1400	345	125	Утфель II пр
12	1250	900	980	550	3000	1500	350	115	Утфель I пр
13	920	640	850	350	2750	1600	300	100	Утфель I пр
14	940	680	850	370	2500	1200	290	105	Утфель II пр
15	960	700	870	390	2500	1300	300	110	Утфель III пр
16	980	700	880	410	2750	1400	305	115	Утфель III пр
17	1000	710	900	430	3000	1500	310	120	Утфель II пр
18	1040	720	920	450	3250	1600	315	125	Утфель I пр
19	1060	760	940	470	3500	1500	320	100	Утфель I пр
20	1080	780	950	490	3500	1400	325	105	Утфель II пр
21	1100	820	960	500	3250	1300	330	110	Утфель III пр
22	1150	870	970	520	3000	1200	335	125	Утфель III пр
23	1200	900	980	530	2750	1300	340	130	Утфель II пр
24	1250	950	990	540	2500	1400	345	100	Утфель I пр
25	940	700	860	390	2500	1500	305	105	Утфель I пр
26	960	710	860	370	2750	1600	310	110	Утфель II пр
27	980	720	870	390	3000	1500	315	115	Утфель III пр
28	1000	760	880	410	3250	1400	320	120	Утфель III пр
29	1040	780	900	430	3500	1300	325	105	Утфель II пр
30	1060	820	920	450	3000	1400	330	115	Утфель I пр

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

### БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ПРЕСІВ ТА РОЗРАХУНОК ПРЕСА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

**Мета роботи:** ознайомитися з конструкціями пресів, вивчити їх принцип роботи та навчитися виконувати розрахунок основних параметрів преса для виготовлення макаронних виробів.

#### Загальні відомості

Пресування у харчовій промисловості використовується у різних технологічних процесах і з різною метою.

Однією з найпершої механізованої технології було пресове видавлювання рідкої фази з різноманітної сировини – соків фруктів та овочів, рослинних олій, жиру зі шкварок тощо.

Пресування також використовується для ущільнення чи підвищення компактності багатьох харчових напівфабрикатів та продуктів – брикетів та таблеток у харчоконцентратному виробництві, пресованого цукру-рафінаду, брикетного чаю.

За допомогою пресів відбувається формування різноманітних пластичних харчових продуктів – цукерок, порцій вершкового масла, ковбасних виробів, локшини тощо.

Пресування також використовується при екструзії – процесі, під час якого відбувається зміна фізико-механічних (чи реологічних) властивостей сировини, що переробляється у певні вироби. Екструзія використовується при виготовленні макаронних виробів, сухих сніданків а також при текстуванні (наданні характерної волокнистості) мас рослинного походження, з яких виготовляють штучне вегетаріанське м'ясо.

В багатьох випадках під час пресування відбуваються комплексні процеси – наприклад, у макаронному виробництві водночас відбуваються і екструзія і формування; в олійному – разом з видушуванням олії відбувається формування макухи; під час формування вершкового масла з нього відтискаються надлишки сироватки і т. ін.

Фізична природа пресу чого зусилля здебільшого буває механічною, але запроваджується також і гідравлічні, пневматичні преси, а також їхні комбінації – гідромеханічні, пневмомеханічні тощо.

Преси харчової промисловості можуть бути як періодично, так і безперервно діючими. До пресів безперервної дії відносяться механічні преси таких видів: шнекові, вальцові, ексцентрикові, ротаційні, штангові, кільцеві, стрічкові. До пресів періодичної дії відносяться гідравлічні, механо-гідравлічні і пневматичні. Найбільше розповсюдження в харчовій промисловості набули шнекові і вальцеві преси безперервної дії і пневматичні преси періодичної дії. Існують різні конструкції шнекових пресів

з горизонтальним або вертикальним розміщенням пресуючих шнеків: одношнекові, двошнекові і багатошнекові.

Класифікація пресів представлена на рис. 1.

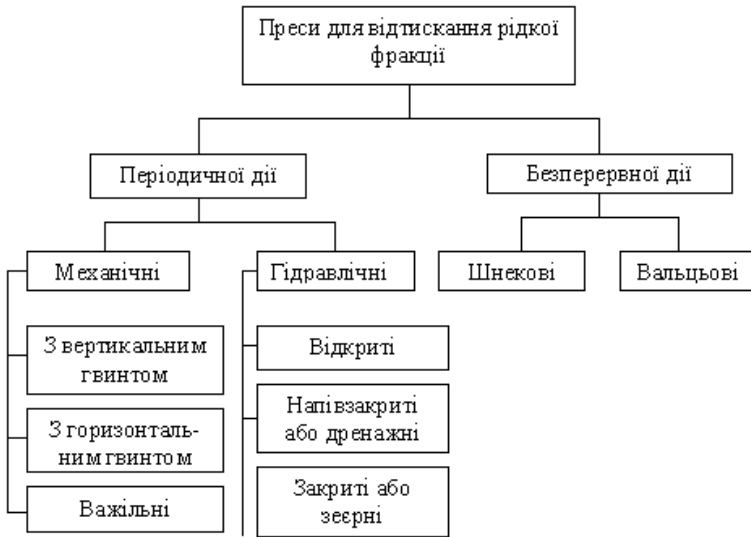


Рисунок 1 – Класифікація пресів, які використовуються у харчовій промисловості

### Будова і принцип дії пресів

Найбільш простими за конструктивним виконанням є гідравлічні преси відкритого типу. Робочий цикл містить завантаження пакетами та піднімання їх до притискання верхньою плитою машини, відведення основної маси рідини при порівняно невисокому тиску (до 5 МПа), підвищення тиску до певної величини та витримка продукції під цим вантажем (до 80 МПа), опускання рухомої плити та розвантаження пакетів. Повний цикл процесу відтискування олії становить 20 – 25 хв.

У напівзакритих пресах рідина видаляється через отвори у плитах спеціальної конструкції (рис 2). Гідравлічні машини мають зерний або щільний циліндр 4, куди закладаються пакети з продукцією 6, в процесі роботи установки рідина витікає через отвори у стінках зерного циліндра.

Однак використання гідравлічних пресів періодичної дії підвищує втрати часу та праці в середньому на 15 – 25% внаслідок вагомості частки допоміжних операцій у загальному балансі часу. Тому перспективнішим є застосування машин безперервної дії, зокрема вальцьових та шнекових пресів

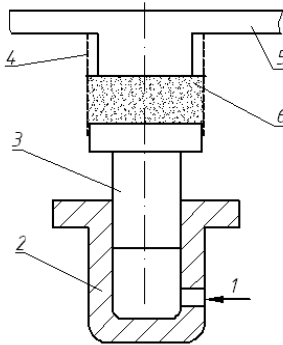


Рисунок 2 – Схема гідравлічного преса: 1 – подача рідини для робочого ходу плунжера; 2 – силовий циліндр; 3 – плунжер; 4 – зерний циліндр; 5 – плита; 6 – пакет з мезгою

Схему трьохвальцевого преса наведено на рис. 3. Основним робочим органом такого преса є вальці 2, які створюють необхідний тиск на мезгу 3 для видалення рідкої фракції.

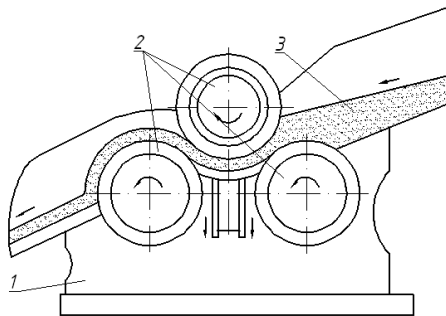


Рисунок 3 – Схема трьохвальцевого преса: 1 – станина; 2 – вальці; 3 – мезга

Найбільш поширені у харчовому виробництві шнекові преси.

Для відтиску соку із ягід винограду призначений прес ВПО-20А (рис. 4). Основою преса є зварена із фасонного прокату рама 1. На рамі змонтована основна корпусна деталь 13. Зверху до корпусної деталі кріпиться бункер 14 для приймання маси, а внизу – збірник 2 для соку першої фракції (сусла). До фланця основної корпусної деталі кріпиться основний зерний барабан 19 з бандажними кільцями жорсткості 18. Всередині барабана, на його осі, розміщені два шнеки – транспортуючий 3 і пресуючий 16. Шнеки посаджені на валу 26, причому пресуючий шнек з'єднаний з валом жорстко і обертовий момент передається йому шпонками 17, транспортуючий шнек

посаджений на валу вільно. Вал отримує обертання від електродвигуна 8 через клинопасову передачу 10, стандартний зубчастий редуктор 7 і зубчасту пару 5. Транспортуючий шнек отримує обертання від того ж приводу через ланцюгову передачу 12 з натяжною зірочкою 4. Основний вал встановлений в підшипниках 6 і 11, корпуси яких прикріплені до рами. В кінці основного зеєрного барабана розміщений запірний конус 20, яким регулюється площа кільцевого отвору для виходу вижимок і регулювання їх вологості. Переміщення конуса вздовж осі забезпечується гідроприводом, який складається із насоса 23 і двох циліндрів 22. Маслонасос закріплений на кронштейні 24, який кріпиться до рами. Між останнім витком пресую чою шнека і запірним конусом утворюється камера максимального тиску. Всередині цієї камери розміщений малий зеєрний барабан 27 з кришкою 21 для санітарної обробки і штуцером 25 для відведення соку. Під основним перфорованим барабаном розміщений збірник 28 для збирання соку другої і третьої фракцій.

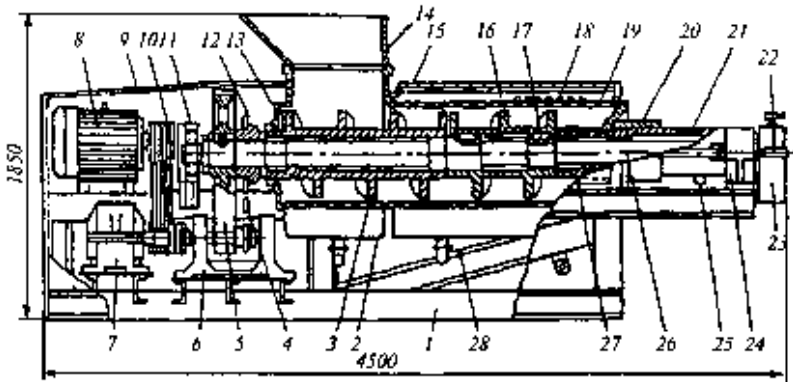


Рисунок 4 – Шнековий прес ВПО-20А: 1 – рама; 2 – збірник соку першої фракції; 3 – транспортуючий шнек; 4 – натяжна зірочка; 5 – зубчаста пара; 6, 11 – підшипники; 7 – редуктор; 8 – електродвигун; 9 – кожух привода; 10 – клинопасову передачу; 12 – ланцюгова передача; 13 – основна корпусна деталь; 14 – бункер; 15 – кожух; 16 – пресуючий шнек; 17 – шпонка; 18 – бандажне кільце жорсткості; 19 – основний зеєрний барабан 20 – запірний конус; 21 – кришка для санітарної обробки; 22 – гідроциліндри; 23 – насос; 24 – кронштейн; 25 – штуцер для відведення соку; 26 – гніздо конуса; 27 – малий зеєрний барабан; 28 – збірник соку другої і третьої фракції

Привід преса закритий кожухом 9, а основний перфорований барабан – кожухом 15.

Основний вал з пресуючим шнеком обертається з частотою 3,5 об/хв., а транспортуючий шнек – з частотою 7,5 об/хв. в протилежну сторону, чим забезпечується переміщення маси, яка пресується, і високий вихід соку.

Під час роботи преса відділені від гребенів виноградні ягоди, частково зруйновані в дробарках гребеневідділювачах, поступають в бункер преса. Тут маса (мезга) захоплюється транспортуючим шнеком і подається до пресуючого шнека. На ділянці транспортуючого шнека відбувається часткове відділення соку (сушла) від мезги, який збирається і є найбільш якісним, так як містить мінімальну кількість завислих частин.

Шнековий макаронний прес ЛПЛ-2М (рис. 5) складається із приводу 1, дозуючого пристрою 2, тістозмішувача 3, пресуючої головки 4, обдувального пристрою 5, системи трубопроводів і пресуючого корпусу 8, встановлених на загальній станині 7.

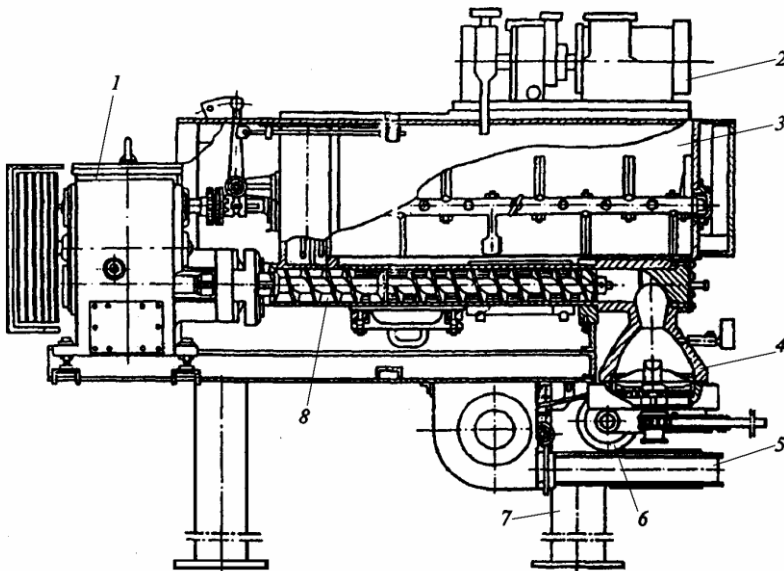


Рисунок 5 – Шнековий макаронний прес ЛПЛ-2М: 1 – привід; 2 – дозуючий пристрій; 3 – тістозмішувач; 4 – пресуюча головка; 5 – обдувальний пристрій; 6 – механізм різання; 7 – станина; 8 – пресуючий корпус

Прес комплектується механізмом різання 6, набором круглих матриць і вакуумною системою.

Матриця являється основним робочим органом преса і являє собою металічний диск (кругла матриця) або прямокутну пластину (тубусна матриця) з наскрізними отворами, профіль яких визначає форму виробів.

Шнековий макаронний прес працює наступним чином. Борошно самопливом безперервно із бункера поступає в дозатор, із якого обертовим шнеком подається в тістозмішувач. Одночасно підігріта вода до температури 40 – 50°C із дозатора трубою поступає в тістозмішувач. Залежно від вологості борошна витрата води складає 80 – 90 кг/год. Витрата води на охолодження пресуючого корпуса 110 кг/год. При нормальній роботі преса тісто повинне заповнювати 2/3 об'єму корита і мати невеликий нахил за напрямком до вихідного отвору.

Необхідний рівень заповнення корита тістом досягається регулюванням площини кінців лопаток до осі вала, які відкидають визначену частину грудочок тіста в напрямку від вихідного отвору до дозаторів. Відкидання тіста в зворотному напрямку в оптимальних розмірах необхідне для забезпечення нормальної циркуляції тіста, що подовжує час його перебування в кориті до 10 хв і сприяє набуханням клейковини та кращого замішування тіста лопатками і пальцями.

Замішана у виді грудочок і крупинок тістоподібна маса із корита змішувача через отвір в нижній частині поступає до пресуючого корпуса. Під час цього, регулюючи заслінкою розмір вихідного отвору, можна змінювати кількість тіста, яке подається в пресуючий корпус, і тим самим змінюється продуктивність преса.

В пресуючому корпусі тісто, переміщаючись, обтікає шайбу на шнеці і поступає в перепускний канал, де із нього через вакуум-канал видаляється повітря і пари води. Кінцевий тиск повітря в пресуючому корпусі складає 10 кПа. Із перепускного каналу тісто проходить через решітку в пресуючий корпус, захоплюється витками шнека, нагнітається в головку і потім продавлюється через формуючі отвори матриці тиском 6,5 – 7,0 МПа.

Макаронні вироби, які вийшли із матриці, проходять обдувальний пристрій. При цьому вони мають температуру, яка рівна температурі пресованого тіста і складає 45 – 50°C.

У пресовому відділенні температура значно менша від температури навколишнього повітря, в результаті для виробів, які виходять із матриці, створюється температурний перепад, величина якого залежить від різниці температур пресування і навколишнього середовища. Чим більша ця різниця, тим вище температурний перепад і, як наслідок, більш інтенсивне випаровування вологи з поверхні виробів. Цей процес проходить до тих пір, поки температура виробів і навколишнього середовища не зрівняються, після чого на поверхні виробів виникає захисна шкірочка, яка запобігає злипанню виробів у процесі подальшого розкладання і сушіння.

## Методика розрахунку макаронного преса

### 1. Розрахунок тістовимішувача.

Сумарна місткість місильних корит для заданої продуктивності преса:

$$V = \frac{Q_n \cdot \tau}{\rho_{m1} \cdot k}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

де  $Q_n$  – продуктивність преса по сирих виробках, кг/год;

$\tau$  – тривалість замішування, год;

$\rho_{m1}$  – щільність непересованого тіста,  $\rho_{m1} = 1250$  кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – коефіцієнт заповнення корита тістом,  $k = 0,5 \dots 0,75$ .

Продуктивність преса по сирих виробках

$$Q_n = \frac{Q'_n (100 - W_{вир})}{(100 - W_m)}, \text{ кг/год}, \quad (2)$$

де  $Q'_n$  – продуктивність преса по сухих виробках, кг/год;

$W_{вир}$  – вологість сухих виробів, %;

$W_m$  – вологість тіста, %.

Загальна довжина місильних корит:

$$L = \frac{V}{S_k}, \text{ м}, \quad (3)$$

де  $S_k$  – площа поперечного перерізу корита, м<sup>2</sup>.

$$S_k = \frac{\pi \cdot \varrho^2}{8} - \frac{\varrho^2}{2} + h \cdot \varrho, \text{ м}^2, \quad (4)$$

де  $\varrho$  – ширина корита,  $\varrho = 0,38 \dots 0,42$  м;

$h$  – висота корита,  $h = 0,40 \dots 0,54$  м.

Споживана потужність на вимішування тіста:

$$N_m = \frac{0,36V \cdot \rho_{m1} \cdot R_0 \cdot \omega \cdot g}{1000}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

де  $R_0$  – максимальний радіус місильного органа, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання місильного органа, с<sup>-1</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Максимальний радіус місильного органа

$$R_0 = \frac{\varrho}{2} - 0,004, \text{ м}. \quad (6)$$

### 2. Розрахунок пресуючої частини

Фактична продуктивність макаронного преса по сирих виробках повинна дорівнювати продуктивності тістовимішувача.

Фактична продуктивність нагнітаючого шнека:

$$Q_{ш} = 188,5 \cdot m \cdot \rho_{m2} \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \left( S - \frac{\varrho_2 + \varrho_1}{2 \cos \alpha} \right) n_{ш} \cdot K_u \cdot K_n \cdot K_c, \text{ кг/год}, \quad (7)$$

де  $m$  – число заходів шнека ( $m = 1$  для вермішелі,  $m = 3$  для макаронів та локшини);

$\rho_{m2}$  – щільність пресованого тіста (сирих виробів) після виходу з матриці,  $\text{кг/м}^3$ ;

$R_1, R_2$  – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси шнека, (рекомендується співвідношення радіусів  $R_2/R_1 = 1,8...3$ ), м;

$S$  – крок гвинтової лінії шнека ( $S = m \cdot S_0$ ,  $S_0$  – відстань між сусідніми витками, рекомендується співвідношення кроку і зовнішнього радіусів  $S/2R_2 = 0,7...1,0$ ), м;

$\nu_2$  та  $\nu_1$  – ширина гвинтової лопаті шнека в нормальному перерізі відповідно по зовнішньому та внутрішньому радіусах,  $\nu_1 = 0,005\text{м}$ ,  $\nu_2 = 0,025\text{м}$ ;

$\alpha$  – кут підйому гвинтової лопаті по середньому діаметру шнека, рад;

$n_u$  – частота обертання шнека, об/хв;

$K_n$  – коефіцієнт наповнення порожнини шнека тістом;

$K_n$  – коефіцієнт пресування тіста, що враховує ступінь зменшення його об'єму в шнековому каналі;

$K_c$  – коефіцієнт, що показує наявність зворотного потоку тіста в шнеку, тобто характеризує роботу шнека як транспортуючого елемента,  $K_c = 0,9...0,95$ .

Кут підйому гвинтової лінії

$$\alpha = \arctg\left(\frac{S}{2\pi \cdot R_{cp}}\right), \text{ рад}, \quad (8)$$

де  $R_{cp}$  – середній радіус шнека, м

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2}{2}, \text{ м}, \quad (9)$$

Величину коефіцієнта  $K_n$  можна орієнтовно знайти за формулою:

$$K_n = -0,314 \frac{S}{D_2} + 0,689, \quad (10)$$

де  $D_2$  – зовнішній діаметр шнека, м.

Коефіцієнт пресування тіста визначається за формулою:

$$K_n = \frac{\rho_n}{\rho_{m3}}, \quad (11)$$

де  $\rho_n$  – насипна щільність тіста,  $\rho_n = 719 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_{m3}$  – щільність пресованого тіста до виходу з матриці,  $\text{кг/м}^3$

$$\rho_{m3} = \left(13,16 - \frac{180,23}{W_m}\right) \cdot P + 1373, \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

де  $P$  – тиск пресування, МПа.

З формули (7) визначають зовнішній радіус шнека  $R_2$ . Для цього, виходячи з прийнятих співвідношень, виражають величини  $R_1, R_{cp}, \alpha, S$ , що входять в формулу для продуктивності шнека, через зовнішній радіус шнека  $R_2$ . Підставляють знайдені величини у формулу продуктивності (7). За

знайденою формулою будують графічну залежність  $Q_{ш}$  від  $R_2$  для можливих значень  $R_2$  (від 0,02 до 0,08). За графіком визначають  $R_2$  при  $Q_{ш} = Q_n$ . Потім, згідно прийнятих співвідношень визначають величини  $D_1, S, D_{ср}, \alpha$ .

Потужність приводу пресуючого шнека визначають за формулою:

$$N_{ш} = \frac{A_0 \cdot n_{ш}}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta}, \quad \text{кВт}, \quad (13)$$

де  $A_0$  – робота рушійної сили процесу за один оберт шнека, Дж;

$\eta$  – ККД передачі від вала двигуна до вала приводу шнека,  $\eta = 0,92 \dots 0,96$ .

Робота рушійної сили за один оберт шнека

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3, \quad \text{Дж}, \quad (14)$$

де  $A_1$  – робота, яка затрачається на подачу сировини, Дж;

$A_2$  – робота, яка затрачається на подолання сил тертя по внутрішній поверхні пресової камери, Дж

$A_3$  – робота, яка затрачається на тертя на витках шнека, Дж.

Робота, яка затрачається на подачу сировини

$$A_1 = p_1 \cdot S_1, \quad \text{Дж}, \quad (15)$$

де  $p_1$  – сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз шнека,

Н;

$S_1$  – величина дійсного переміщення тіста за один оберт шнека, м.

Сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз шнека

$$p_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot P \cdot 10^6, \quad \text{Н}. \quad (16)$$

Величина дійсного переміщення тіста за один оберт шнека

$$S_1 = \frac{Q_{ш}}{15 \cdot \rho_{m2} \cdot n_{ш} \cdot \pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}, \quad \text{м}. \quad (17)$$

Робота, яка затрачається на подолання сил тертя по внутрішній поверхні пресової камери

$$A_2 = p_2 \cdot f \cdot S_1, \quad \text{Дж}, \quad (18)$$

де  $p_2$  – сумарне навантаження від тиску на внутрішню поверхню шнекової камери, Н;

$f$  – приведений коефіцієнт загального опору просуванню тіста.

Сумарне навантаження від тиску на внутрішню поверхню шнекової камери

$$p_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot P \cdot 10^6 \cdot L_{ш}}{2} f \cdot S_1, \quad \text{Н}, \quad (19)$$

де  $L_{ш}$  – робоча довжина шнека,  $L_{ш} = 6 S$ , м;

Приведений коефіцієнт загального опору просуванню тіста

$$f = 0.029 \cdot P + 0.071, \quad (20)$$

Робота, яка затрачується на тертя на витках шнека

$$A_3 = f(p_3 + q \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \pi \cdot D_c, \text{ Дж}, \quad (21)$$

де  $D_c$  – середній діаметр витка шнека, м;

$p_3$  – сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз потоку тіста, Н;

$q$  – рушійна (обертаюча) сила, що діє на шнек, Н.

Сумарне навантаження від тиску на поперечний переріз потоку тіста

$$p_3 = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4} \cdot P \cdot 10^6, \text{ Н}. \quad (22)$$

Рушійна сила, що діє на шнек

$$q = \frac{1}{(1 - f \cdot \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \left( \frac{A_1 + A_2}{\pi \cdot D_c} + p_3 \cdot f \right), \text{ Н}. \quad (23)$$

### **1. Розрахунок матриці**

Технологічний розрахунок матриці полягає у визначенні її продуктивності та потрібного діаметра. Продуктивність матриці по сухих виробках,  $Q_m = Q'_n$ :

$$Q_m = 3600 \cdot v_n \cdot \rho_{m3} \cdot F_m \cdot \frac{100 - W_m}{100 - W_{вир}}, \text{ кг/год}, \quad (24)$$

де  $v_n$  – швидкість руху тіста по формуючих каналах, м/с;

$\rho_{m3}$  – щільність пресованого тіста до виходу з матриці, кг/м<sup>3</sup>;

$F_m$  – площа живого перерізу матриці, м<sup>2</sup>;

$W_m$  – вологість тіста, %;

$W_{вир}$  – вологість сухих виробів, %.

Площа живого перерізу матриці в залежності від виду виробів:

а) для трубчастих виробів (макарон):

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot n_0 \cdot (d_3^2 - d_6^2), \text{ м}^2, \quad (25)$$

де  $n_0$  – число формуючих отворів у матриці, шт.;

$d_3$  – зовнішній діаметр формуючого отвору, м;

$d_6$  – діаметр вкладиша, м.

б) для вермішелі:

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot n_0 \cdot d_3^2, \text{ м}^2, \quad (26)$$

де  $d_3$  – діаметр формуючого отвору, м.

в) для локшини:

$$F_m = n_0 \cdot l_n \cdot a, \text{ м}^2, \quad (27)$$

де  $l_n$  – довжина формуючої щілини, м;

$a$  – ширина формуючої щілини, м.

Площу матриці розраховують за формулою:

$$z = \frac{F}{k_f}, \quad \text{м}^2, \quad (28)$$

де  $k_f$  – коефіцієнт живого перерізу матриці.

Таблиця.1.

Величини, необхідні для розрахунку живого перерізу матриці.

Асортимент	$d_3$ , мм	$d_6$ , мм	$l_2$ , мм	$a$ , мм	$k_f$
Макарони:					
- звичайні 7×4,8	7	4,8	–	–	0,203
- «особливі» 5,5×4,0	5,5	4,0	–	–	0,187
- соломка 4×3,5	4	3,5	–	–	0,137
Локшина:					
- 5,0×1,0	–	–	5	1	0,02
- 4,0×1,0	–	–	4	1	0,079
Вермішель:					
- Ø 1,2	1,2	–	–	–	0,17
- Ø 4,5	1,5	–	–	–	0,15

Діаметр матриці

$$D_m = \sqrt{\frac{4z}{\pi}}, \quad \text{м}. \quad (29)$$

Швидкість випресовування тіста по формуючих каналах залежно від форми перерізу канала:

а) для трубчастих виробів (макаронів):

$$v_n = v_0 + \frac{1}{4\mu} (\Delta P + \rho_{m3} \cdot g) \cdot \left( \ln \frac{R_3}{R_6} \right)^{-1} \cdot \left[ (R_3^2 - R_6^2) \cdot \ln \frac{r}{R_6} - (r^2 - R_6^2) \cdot \left( \ln \frac{R_3}{R_6} \right) \right], \quad \text{м/с}, \quad (30)$$

де  $v_0$  – швидкість ковзання (приймається  $v_0 = 0$ );

$\mu$  – динамічна в'язкість макаронного тіста,  $\mu = 0,4 \cdot 10^4$  Па·с;

$\Delta P$  – перепад тисків по довжині формуючого каналу  $\Delta P = (4 \dots 6) \cdot 10^8$  Па/м;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$R_3$  і  $R_6$  – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси отвору трубки макаронів,

$m$  ( $R_3 = d_3/2$ ;  $R_6 = d_6/2$ );

$r$  – радіус від осі кільцевого каналу,

$$r = \frac{R_3 - R_6}{2} + R_6, \quad \text{м}. \quad (31)$$

б) для вермішелі:

$$v_n = v_0 + \frac{R^2}{4\mu} (\Delta P + \rho_{m3} \cdot g) \cdot \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right), \quad \text{м/с}, \quad (32)$$

де  $R$  – радіус перерізу формуючого отвору, м ( $R = d/2$ );

$r$  – радіус від осі каналу, м.

$$R = R/2, \quad \text{м}. \quad (33)$$

в) для локишини:

$$v_n = v_0 + \frac{1}{4\mu} (\Delta P + \rho_{m3} \cdot g) \cdot \left( \frac{l^2 - a^2}{2 \cdot 10} \right), \quad \text{м/с}, \quad (34)$$

де  $l$  і  $a$  – відповідно довжина і ширина формуючого каналу отвору, м.

### Завдання для звіту

1. Описати будову і принцип роботи пресів.
2. Замалювати схеми гідравлічного, трьохвальцевого, та шнекового ВПО-20А пресів.
3. Виконати розрахунок макаронного преса.

### Контрольні запитання

1. Для чого у харчовій промисловості використовується пресування?
  2. Які є види пресів?
  3. Яка будова гідравлічного преса?
  4. Яка будова пальцевого преса?
  5. Який принцип роботи шнекового преса ВПО-20А?
- Який принцип роботи макаронного преса ЛПІ-2М?

### Варіанти завдань для розрахунку макаронного преса

Таблиця 2.

№ варіанта	Вид виробів.	Продуктивність преса по сухих виробам	Вологість		Тривалість вимішування тіста $\tau$ , год.	Тиск пресування $P$ , МПа.	Щільність пресованого тіста $\rho_{пр2}$ , кг/м <sup>3</sup> .	Частота обертання	
			Тіста $W_m$ , %.	Сухих виробів $W_{вир}$ , %				Місильного органа $n_{м.}$ , об/хв.	Шнека $n_{ш.}$ , об/хв.
1	Макарони «Особливі»	250	28,1	12,8	0,28	6	1320	62	35
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Макарони звичайні	320	29,2	13,1	0,16	8	1320	80	42

Продовження таблиці 2.

№ варіанта	Вид виробів.	Продуктивність преса по сухих виробів $Q_{л, кг/год.}$	Вологість		Тривалість вимішування тіста	Тиск пресування $P, МПа.$	Щільність пресованого тіста $\rho_{т2}, кг/м^3.$	Частота обертання	
			Тіста $W_{т1}, \%$	Сухих виробів $W_{впр}, \%$				Місильного органа $n_{мг}, об/хв.$	Шнека $n_{ш}, об/хв.$
3	Макарони-соломка	450	31,5	12,2	0,32	5	1280	74	38
4	Вермішель $\varnothing 1,5$	380	28	11	0,20	7,5	1280	66	56
5	Вермішель $\varnothing 1,2$	260	29,8	12,5	0,28	8	1280	82	42
6	Локшина $4 \times 1$	180	30,7	13,3	0,18	7	1750	70	38
7	Вермішель $\varnothing 1,5$	270	28,5	11,7	0,30	6,5	1280	68	48
8	Макарони звичайні	200	32,4	13,3	0,26	9	1320	78	42
9	Макарони-соломка	380	33	12,6	0,30	7	1280	76	34
10	Локшина $5 \times 1$	500	31	13,7	0,18	8,5	1250	84	32
11	Вермішель $\varnothing 1,5$	220	29,6	12	0,32	6	1280	64	46
12	Макарони «Особливі»	300	28,2	13,4	0,30	9	1320	76	52
13	Вермішель $\varnothing 1,2$	340	31,5	10,4	0,24	10	1280	88	46
14	Макарони звичайні	230	32,9	13,5	0,26	8	1320	80	40
15	Вермішель $\varnothing 1,2$	200	30,7	11,1	0,32	6	1280	72	36
16	Макарони-соломка	400	28,4	12,9	0,32	10	1280	65	50
17	Макарони «Особливі»	350	31	12	0,18	9	1320	77	38
18	Локшина $4 \times 1$	180	32,1	12,8	0,28	7,5	1250	82	44
19	Макарони звичайні	275	29	12,7	0,20	8	1320	84	32
20	Вермішель $\varnothing 1,2$	325	30	13	0,30	6	1280	70	38
21	Локшина $5 \times 1$	260	28,7	11,9	0,24	6,5	1250	75	42

Продовження таблиці 2.

№ варіанта	Вид виробів.	Продуктивність преса по сухих виробів $Q_{л, кг/год.}$	Вологіст		Тривалість вимішування тіста	Тиск пресування $P, МПа.$	Щільність пресованого тіста $\rho_{т2}, кг/м^3.$	Частота обертання	
			Тіста $W_{т}, \%$	Сухих ви-робів $W_{вир}, \%$				Місильного органа $n_{м}, об/хв.$	Шнека $n_{ш}, об/хв.$
22	Макарони «Особливі»	280	29,4	12,8	0,32	9	1320	68	46
23	Макарони-соломка	325	31,3	11,4	0,26	7,3	1280	82	34
24	Вермішель $\varnothing 1,5$	350	31,7	12,6	0,18	6,8	1280	84	38
25	Макарони звичайні	390	29,8	11,9	0,22	8,4	1320	72	40
26	Локшина $4 \times 1$	225	29,2	12,2	0,30	7,8	1250	76	44
27	Макарони «Особливі»	240	32,4	12,9	0,25	6,8	1320	80	36
28	Вермішель $\varnothing 1,2$	365	28,9	11,1	0,28	7	1280	65	37
29	Макарони-соломка	295	30,5	11,5	0,31	8,5	1280	68	42

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 7

### БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ПОВЕРХНЕВИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

*Мета роботи:* ознайомитися з конструкціями, роботою, застосуванням і розрахунком поверхневих теплообмінних апаратів.

#### Теоретичні відомості

Теплообмінними апаратами, або теплообмінниками, називають пристрої, що призначені для передачі теплоти від більш нагрітого теплоносія (рідини або газу) до менш нагрітого, або між теплоносієм і твердим тілом (стілкою, насадкою). Теплообмінне обладнання класифікують за такими основними ознаками.

- за функціональною ознакою (за способом передачі теплоти): поверхневі та контактні теплообмінники;
- за призначенням: випарні, холодильники, конденсатори;
- за видом теплоносіїв залежно від агрегатного стану: рідинно-рідинні (при теплообміні між двома рідкими середовищами, паро-рідинні (при теплообміні між паром і рідиною: парові підігрівники, конденсатори), газо-рідинні (при теплообміні між газом і рідиною (холодильники для повітря), газо-газові (при теплообміні між газовими середовищами). паро-газові (при теплообміні між паром та газом);
- за конфігурацією поверхні теплообміну теплообмінники бувають кожухотрубні, спіральні, ребристі, пластинчасті, змієвикові і комбіновані;
- за тепловим режимом розрізняють теплообмінники: періодичної дії (у яких спостерігається нестационарний тепловий процес), безперервної дії (зі сталим у часі процесом).

Кожухотрубні теплообмінники відносяться до найбільш поширених поверхневих теплообмінників. Прикладом найпростішого, найбільш поширеного типу підігрівача служить одноходовий трубчастий теплообмінник.

Одноходовий трубчастий теплообмінник (рис. 1) являє собою пучок трубок 3 розміщених в циліндричному кожусі 1. Трубки 3 вальцьовані в трубні решітки 2, які обмежують камеру з обох боків. До трубних решіток кріпляться розподільчі камери 5 з патрубками 4 для подачі та відведення продукту, який протікає всередині трубок. Кожух 1 має патрубки 7 для підведення і відведення теплоносія, який нагріває чи охолоджує продукт. Одноходовий кожухотрубний апарат розташовують вертикально за допомогою опор 6.

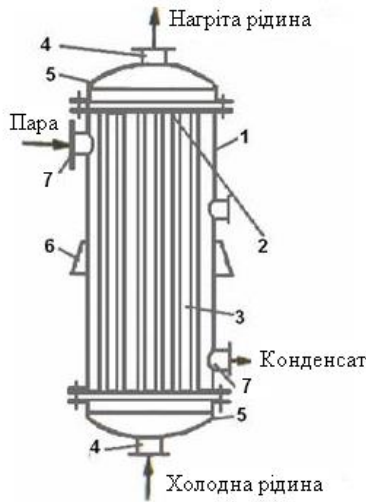


Рисунок 1 – Схема одноходового кожухотрубного теплообмінника: 1 – кожух; 2 – трубна решітка; 3 – трубки; 4 – патрубки для відведення та подачі продукту; 5 – розподільчі камери; 6 – опори; 7 – патрубки для підведення і відведення теплоносія

Трубки виготовляють з латуні, міді або сталі діаметром 10мм і більше (чим менший діаметр, тим більша поверхня теплообміну і більший коефіцієнт тепловіддачі).

Простір всередині трубок називається трубним, а простір обмежений внутрішнім діаметром кожуха та зовнішніми діаметрами трубок – міжтрубним. Для інтенсифікації процесу теплообміну в між трубному просторі встановлюються перегородки.

Теплообмінник має значні поверхні нагрівання і великий переріз всіх трубок. В зв'язку з цим швидкість руху рідини, яка підігрівається в трубках, мала, що зменшує коефіцієнт теплопередачі. Для збільшення швидкості руху рідини зменшують переріз потоку за допомогою встановлення перегородок в розподільчих камерах. Такі теплообмінники називають багатходовими. Рідина в них направляєється перегородками, розміщених в розподільчих камерах в частину трубок, а потім повертається, проходячи через теплообмінник декілька разів.

Кожухотрубні теплообмінники можуть розташовуватися за необхідності у вертикальній або горизонтальній площині.

Теплообмінники типу «труба в трубі» складаються з декількох послідовно з'єднаних трубних елементів, утворених двома концентрично розміщеними трубами (рис. 2). Один теплоносіє рухається по внутрішніх

трубах 1, а інший – по кільцевій щілині між внутрішніми 1 і зовнішніми 2 трубами. Внутрішні труби (зазвичай діаметром 57...108 мм) з'єднуються калачами 3, а зовнішні труби (мають діаметр 76...159 мм) – патрубками 4.

Завдяки невеликому поперечному січенню трубного і міжтрубного простору в таких теплообмінниках навіть при невеликих витратах досягаються досить високі швидкості рідини, які дорівнюють зазвичай 1...1,5 м/с. Це дозволяє отримувати більш високі коефіцієнти теплопередачі і досягати більш високі теплові навантаження на одиницю маси апарата, ніж у кожухотрубних теплообмінниках. Крім цього, зі збільшенням швидкості теплоносія зменшується можливість відкладання забруднень на поверхні теплообміну.

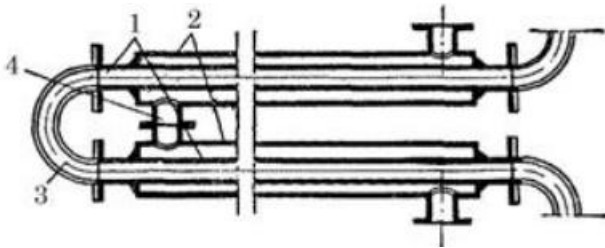


Рисунок 2 – Схема теплообмінника типу «труба в трубі»: 1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3 – калач; 4 – патрубок

Поряд із цим ці теплообмінники більш громіздкі, ніж кожухотрубчаті, і потребують більшої витрати металу на одиницю поверхні теплообміну, яка в апаратах такого типу утворюється тільки внутрішніми трубами.

Теплообмінники типу «труба в трубі» можуть ефективно працювати при невеликих витратах теплоносіїв, а також при великих тисках. Якщо потрібна більша поверхня теплообміну, то ці апарати виконують з декількох паралельних секцій.

Змійовикові теплообмінники поділяють на зунурювальні і зрошувальні.

У занурювальному змієвиковому теплообміннику (рис. 3) крапельна рідина, газ або пара рухаються по спіральному змієвику 1, виконаному з труб діаметром 15...75 мм, який занурений в рідину, що знаходиться в корпусі 2 апарата. Внаслідок великого об'єму корпусу, в якому знаходиться змієвик, швидкість рідини в корпусі незначна, що обумовлює низькі значення коефіцієнта тепловіддачі зовні змієвика. Для його збільшення підвищують швидкість рідини в корпусі шляхом встановлення в ньому внутрішнього стакана 3, але при цьому значно зменшується коефіцієнт корисного використання об'єму корпусу апарата. Разом із тим в деяких випадках великий обсяг рідини, який заповнює корпус, має і позитивне значення,

оскільки забезпечує більш стійку роботу теплообмінника при коливаннях режиму. Труби змієвика кріпляться на конструкції 4.

У теплообмінниках цього типу змієвики часто виконують також із прямих труб, з'єднаних калачами. При великих витратах речовини, яка рухається у прямих трубах змієвика, її спочатку направляють у загальний колектор, з якого вона надходить в паралельні секції труб і видаляється також через загальний колектор. При такому паралельному включенні секцій знижується швидкість і зменшується довжина шляху потоку, що приводить до зниження гідравлічного опору апарата.

Тепловіддача в міжтрубному просторі занурювальних теплообмінників мало інтенсивна, оскільки тепло передається практично шляхом вільної конвекції. Тому теплообмінники такого типу працюють при низьких теплових навантаженнях. Не дивлячись на це занурювальні теплообмінники знаходять досить широке застосування внаслідок простоти будови, дешевизни, доступності для очищення і ремонту, а також зручності роботи при високих тисках і в хімічно активних середовищах. Вони застосовуються при поверхнях нагріву до  $10 \dots 15 \text{ м}^2$ .

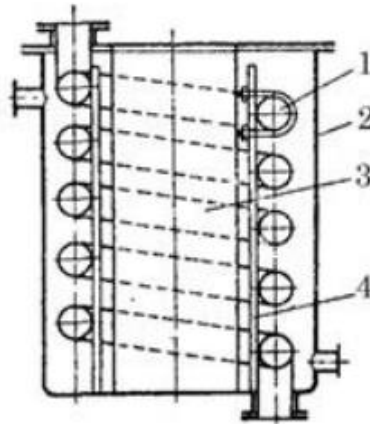


Рисунок 3 – Змієвиковий занурювальний теплообмінник: 1 – спіральний змієвик; 2 – корпус апарата; 3 – внутрішній стакан; 4 – конструкція для кріплення змієвика

Якщо в якості нагрівачого агента в занурювальному теплообміннику застосовується насичена водяна пара, то відношення довжини змієвика до його діаметра не повинно перевищувати певної межі; наприклад, при тисках пари  $2 \cdot 10^5 \dots 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  (2...5 ат) це відношення не повинно бути більше 200...275. В іншому випадку скупчення парового конденсату в нижній

частині змієвика викличе значне зниження інтенсивності теплообміну при значному збільшенні гідравлічного опору.

Зрошувальні теплообмінники теплообмінник (рис. 4) являє собою змієвики 1 з розміщеними одна над одною прямими трубами, які з'єднані між собою калачами 2. Труби зазвичай розміщені у вигляді паралельних вертикальних секцій (на рисунку показана тільки одна секція) з загальними колекторами для подачі і відведення охолоджуючого середовища. Зверху змієвики зрошуються водою, яка рівномірно розподіляється у вигляді крапель і струмин за допомогою жолоба 3 з зубчатими краями. Відпрацьована вода відводиться з піддону 4, встановленого під змієвиком.

Зрошувальні теплообмінники застосовуються головним чином в якості холодильників і конденсаторів, причому близько половини тепла відводиться під час випаровування охолоджуючої води. У результаті витрати води різко знижується в порівнянні з її витратою в холодильниках інших типів. Відносно мала витрата води – важлива перевага зрошувальних теплообмінників, які, крім цього, відрізняються також простотою конструкції і легкістю очищення зовнішньої поверхні труб.

Не дивлячись на те, що коефіцієнти теплопередачі в зрошувальних теплообмінниках, працюючих за принципом перехресного руху, трохи вищі, ніж у занурювальних, їх суттєвими недоліками є: громіздкість, нерівномірність змочування зовнішньої поверхні труб, нижні кінці яких при зменшенні витрати зрошувальної води дуже погано змочуються і практично не приймають участі в теплообміні. Крім того, до недоліків цих теплообмінників відносяться: корозія труб киснем повітря, наявність крапель води, які попадають в навколишнє середовище.

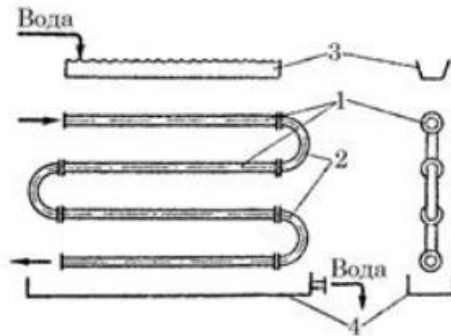


Рисунок 4 – Зрошувальний теплообмінник: 1 – секція прямих труб 2 – калачі 3 – розподільчий жолоб 4 – піддон

У зв'язку з випаровуванням води, яке збільшується при недостатньому зрошенні, теплообмінники цього типу частіше всього встановлюють на відкритому повітрі; їх огорожують дерев'яними решітками (жалюзьями), головним чином для того, щоб звести до мінімуму винесення крапель води.

Зрошувальні теплообмінники працюють при невеликих теплових навантаженнях і коефіцієнти теплопередачі в них невисокі. Їх часто виготовляють з хімічно стійких матеріалів.

У пластинчастому теплообміннику (рис. 5) поверхня теплообміну утворюється гофрованими паралельними пластинами 1, 2 за допомогою яких створюється система вузьких каналів шириною 3...6 мм із хвилястими стінками. Рідини, між якими відбувається теплообмін, рухаються в каналах між суміжними пластинами, обмиваючи протилежні бічні сторони кожної пластини. Пластина (рис. 6) має на передній поверхні три прокладки. Більша прокладка 1 обмежує канал для руху рідини I між пластинами, а також отвори 2 і 3 для входу рідини I у канал і виходу з нього; дві малі кільцеві прокладки 4 ущільнюють отвори 5 і 6, через які надходить і видаляється рідина II, що рухається протитечією.

На рис. 5 рух рідини I показано схематично пунктирною лінією, а рідини II – суцільною лінією. Рідина I надходить через штуцер 3, рухається по непарних каналах (раxуючи з права на ліво) і видаляється через штуцер 4. Рідина II подається через штуцер 5, рухається по парних каналах і видаляється через штуцер 6.

Пакет пластин затискається між нерухомою плитою 7 і рухомою плитою 8 за допомогою гвинтового затискача 9.

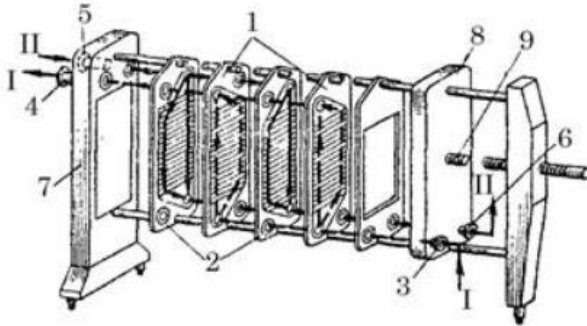


Рисунок 5 – Схема пластинчатого теплообмінника: 1 – парні пластины; 2 – непарні пластины; 3, 4 – штуцери для входу і виходу теплоносія I; 5, 6 – те ж для теплоносія II; 7 – нерухома головна плита; 8 – рухома головна плита; 9 – затискний головний пристрій

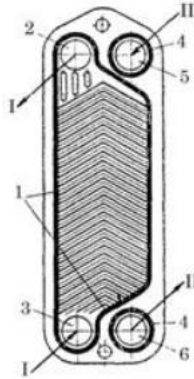


Рисунок 6 – Пластина пластинчатого теплообмінника: 1, 4 – прокладки; 2, 3 – отвори для рідини I; 5, 6 - отвори для рідини II

Внаслідок значних швидкостей, з якими рухаються рідини між пластинами, досягаються високі коефіцієнти теплопередачі, аж до  $3800 \text{ Вт/м}^2$  [ $3000 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град})$ ] і більше при малому гідравлічному опорі.

Пластинчаті теплообмінники легко розбираються і очищаються від забруднень. До їх недоліків відносяться: неможливість роботи при високих тисках і труднощі вибору еластичних хімічно стійких матеріалів для прокладок.

У спіральному теплообміннику (рис. 7) поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами 1 і 2, скрученими за спіраллю. Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки 3, а їх зовнішні кінці зварені один із одним. Із торців спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками 4 і 5. Таким чином, всередині апарата утворюються два ізольованих один від одного спіральних канали (шириною  $2 \dots 8 \text{ мм}$ ), по яких, зазвичай протитечією, рухаються теплоносії. Як показано на рис.9.7, теплоносій I надходить через нижній штуцер і видаляється через боковий штуцер у правій кришці теплообмінника, а теплоносій II входить у лівий боковий штуцер і видаляється через верхній штуцер.

Існують також конструкції спіральних теплообмінників перехресного руху теплоносіїв, які застосовуються головним чином для нагрівання і охолодження газів та конденсації пари.

Спіральні теплообмінники досить компактні, працюють при високих швидкостях теплоносіїв (для рідини  $1 \dots 2 \text{ м/с}$ ) і мають при рівних швидкостях середовищ менший гідравлічний опір, ніж трубні теплообмінники різних типів. Поряд із цим ці апарати складні у виготовленні і працюють при обмежених збиткових тисках, не перевищуючих  $10 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  (10 ат), оскільки

намотка спіралей ускладнюється зі збільшенням товщини листів; крім цього, виникають труднощі під час створення щільного з'єднання між спіралями і кришками.

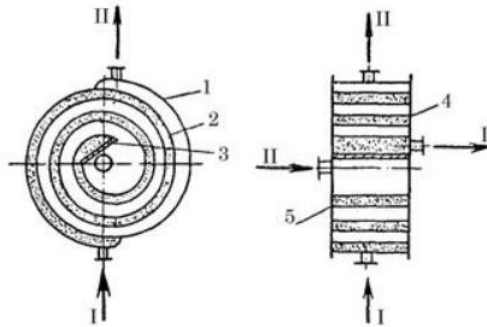


Рисунок 7 – Спіральний теплообмінник: 1, 2 – листи згорнуті в спіралі; 3 – перегородка; 4, 5 – кришки

В якості теплоносія найбільш широко використовується насичена чи злегка перегріта водяна пара. У змішувальних апаратах, пару, як правило, барботують у рідину (впускають під рівень рідини), при цьому конденсат пари змішується з продуктом, що не завжди припустимо. У поверхневих апаратах пара конденсується на поверхні нагрівання і конденсат віддаляється окремо від продукту за допомогою водовідвідників.

Обігрів гарячою водою і рідинами також має широке застосування і вигідне при вторинному використанні. У порівнянні з паром, рідинний підігрів менш інтенсивний. Однак регулювання процесу і транспорт рідини так само зручний, як і при паровому обігріві.

Загальним недоліком парового і водяного обігріву є швидкий ріст тиску з підвищенням температури. В умовах технологічної апаратури харчових виробництв при паровому і водяному обігріві найвищі температури обмежені 150...160°C, що відповідає тиску 0,5...0,7 МПа.

В окремих випадках (у консервній промисловості) застосовується масляний обігрів, що дозволяє при атмосферному тиску досягти температур до 200°C у печах, сушильних установах. Газовий обігрів має велику кількість недоліків: труднощі регулювання і транспортування теплоносія, малою інтенсивністю теплообміну, забрудненням поверхні апаратури (при використанні топкових газів) і ін. Однак у ряді випадків він є єдино можливим (наприклад, у повітряних сушарках).

У холодильній техніці використовуються ряд холодоагентів: повітря, вода, розсоли, аміак, вуглекислота, фреон та ін.

## Методика розрахунку кожухотрубного теплообмінника

Необхідно спроектувати і розрахувати трубчастий теплообмінник жорсткої конструкції, якщо відомо, що поверхня теплопередачі  $A = 25 \text{ м}^2$ , пропускна здатність апарата  $Q_V = 0,018 \text{ м}^3/\text{с}$ , швидкість руху середовища по трубах  $v = 0,5 \text{ м/с}$ , зовнішній, внутрішній і розрахункові діаметри становлять, відповідно, 38; 34 і 38 мм (за розрахунковий діаметр приймають внутрішній або зовнішній діаметр залежно від того, на якій стороні трубок коефіцієнт тепловіддачі менший; при приблизно рівних умовах за розрахунковий приймають середній діаметр трубок). Трубки і корпус виготовлені зі сталі Ст5. Тиск у трубному і міжтрубному просторах:  $p_{mp} = 0,2$  і  $p_{mmp} = 0,5 \text{ МПа}$ . Робоча температура трубок  $t_{mp} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , а корпусу  $t_k = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура навколишнього середовища  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для компоновання апарата спочатку необхідно вибрати необхідну довжину апарата і визначити число ходів (пучків).

1. Довжина пучка теплообмінника:

$$L_n = \frac{A}{4Q_V} \cdot \frac{d_{вн}^2}{d_p} \cdot v = \frac{25}{4 \cdot 0,018} \cdot \frac{(0,034)^2}{0,038} \cdot 0,5 = 5,28 \text{ м},$$

де  $d_{вн} = 0,034 \text{ м}$  – внутрішній діаметр трубок;

$d_p = 0,038 \text{ м}$  – розрахунковий діаметр трубок (зовнішній діаметр труби);

$A = 25 \text{ м}^2$  – поверхня теплопередачі.

2. Число ходів:

$$j = \frac{L_n}{L_{ан}} = \frac{5,28}{2,6} = 2,03,$$

де довжину апарата прийнято  $L_{ан} = 2,6 \text{ м}$ .

3. Живий переріз трубок одного пучка:

$$S = \frac{Q_V}{v} = \frac{0,018}{0,5} = 0,036 \text{ м}^2,$$

а однієї трубки:

$$S' = \frac{\pi d_{вн}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,034)^2}{4} = 0,00091 \text{ м}^2.$$

4. Число трубок в одному пучку:

$$n_1 = \frac{S}{S'} = \frac{0,036}{0,00091} = 39,6.$$

Прийнято  $n_1 = 40$ .

При числі ходів  $j = 2$ , загальне число трубок  $n = n_1 j = 40 \cdot 2 = 80$ .

За щільністю упаковки найбільш раціональним є розміщення труб по вершинах трикутників. Тому приймаємо цей спосіб комплектування трубної решітки.

5. Кількість труб, розміщених на діаметрі решітки:

$$z = 2 \sqrt{\frac{n-1}{3} + 0,25} = 2 \cdot \sqrt{\frac{80-1}{3} + 0,25} = 10,3.$$

Прийнято  $z = 11$ .

6. Кількість труб розміщених на стороні найбільшого шестикутника:

$$n = 3z_{c.ш.}(z_{c.ш.} - 1) + 1,$$

де  $n = 80$  – загальна кількість труб в апараті;

$z_{c.ш.}$  – кількість труб на стороні найбільшого шестикутника.

Звідси:

$$3z_{c.ш.}^2 - 3z_{c.ш.} + 1 - n = 0; \quad z_{c.ш.}^2 - z_{c.ш.} + \frac{1-n}{3} = 0,$$

або

$$z_{c.ш.}^2 - z_{c.ш.} + \frac{1-80}{3} = 0; \quad z_{c.ш.}^2 - z_{c.ш.} + \frac{79}{3} = 0;$$

$$z_{c.ш.} = 0,5 \pm \sqrt{0,25 + \frac{79}{3}} = 0,5 \pm 5,15; \quad z_{c.ш.} = 5,65.$$

Прийнято  $z_{c.ш.} = 6$ .

7. Крок встановлення труб [1, с. 19]:

$$t = 1,25d_3 = 1,25 \cdot 0,038 = 0,048 \text{ м} = 48 \text{ мм}.$$

Кріплення труб у решітці здійснимо розвальцюванням і при цьому повинна виконуватися умова  $t \geq d_j + 5 = 38 + 5 = 43$  мм. Отже,  $t = 48$  мм  $>$  43 мм.

8. Внутрішній діаметр теплообмінника:

$$D_{вн} = t(z_{\partial} - 1) + 4d_3 = 48(11 - 1) + 4 \cdot 38 = 632 \text{ мм},$$

де  $z_{\partial} = 2z_{с.ш.} - 1 = 2 \cdot 6 - 1 = 11$  – кількість труб на діагоналі найбільшого шестикутника.

Прийнято  $D_{вн} = 0,6$  м (при  $D_a \leq 1200$  мм нормалізованими рахуються діаметри через кожні 100 мм і через 200 мм після  $D_a > 1200$  мм).

9. Теоретична кількість трубок:

$$z_o = \frac{3}{4}(z_{\partial}^2 - 1) + 1 = \frac{3}{4} \cdot (11^2 - 1) + 1 = 91.$$

10. Внутрішній діаметр кожуха теплообмінника з врахуванням перегородки:

$$D_{вн} = 1,13t \sqrt{\frac{z_o}{\Psi} \sin \beta} = 1,13 \cdot 0,048 \sqrt{\frac{91}{0,7} \cdot 0,866} = 0,576 \text{ м},$$

де  $\Psi = 0,7$  – коефіцієнт заповнення трубної решітки ( $\Psi = 0,8 \dots 0,9$  – одноходові і  $\Psi = 0,6 \dots 0,8$  – багатоходові апарати) [2, с. 179];

$$\beta = \arcsin \frac{d_{36}}{2t} = \arcsin \frac{38}{2 \cdot 48} = \arcsin 0,396 = 66,65^{\circ}.$$

Отже, залишається  $D_{вн} = 0,6$  м.

11. Товщину стінки корпусу апарата знаходимо за формулою (1.2):

$$\delta_k = \frac{D_p}{2[\sigma]_p \Phi_0} + \delta_{кор} + \delta_{\partial} = \frac{600 \cdot 0,5}{2 \cdot 138 \cdot 0,7} + 3 + 0,45 = 5 \text{ мм},$$

де  $[\sigma]_p = 138$  МПа – допустимі напруження розтягу для Ст.5 [1, рис. 1.1, с. 4];

$\Phi_0 = \Phi_{з.ш} = 0,7$  – коефіцієнт ослаблення корпусу зварним швом;

$\delta_{кор} = 3$  мм – прийнята величина добавки на корозію.

Остаточню приймасмо  $\delta_k = 5$  мм.

12. Діаметр кола болтів:

$$D_{\partial} = (1,1 \dots 1,2) D_{вн}^{0,933} = (1,1 \dots 1,2) 0,6^{0,933} = 0,68 \dots 0,75 \text{ м}.$$

Прийнято  $D_6 = 700$  мм, а діаметр болтів – М20. Відповідно діаметр отворів під болти – 22 мм.

Прийнято  $b = 10$  мм (ширина плоскої гумової прокладки) і тоді середній діаметр прокладки:

$$D_{II} = D_{вн} + 2\delta_{\kappa} + b = 600 + 2 \cdot 5 + 10 = 620 \text{ мм.}$$

13. Товщина решітки в середній частині (за [1, рис. 6.2, с. 20] вибрано решітку типу III):

$$h = KD \sqrt{\frac{p}{\Phi_0 [\sigma]_{32}}} + \delta_{\kappa op} + \delta_{\partial} = 0,47 \cdot 0,62 \sqrt{\frac{0,5}{0,377 \cdot 130}} + 0,003 = 0,032 \text{ м,}$$

де  $D = D_n$ ,  $p = p_{mnp}$ , а  $[\sigma]_{32} = [\sigma]_p$  [3, с. 81];

$K = 0,47$  – коефіцієнт для решітки типу III [1, табл. 6.1, с. 221];

$$\Phi_0 = \frac{D - \Sigma d_o}{D} = \frac{D - zd_3}{D} = \frac{600 - 11 \cdot 38}{600} = 0,3777 \text{ – коефіцієнт ослаб-$$

лення решітки отворами.

Прийнято  $h = 32$  мм.

14. Розрахункове зусилля розтягу в болтах:

$$F_p = \frac{\pi D_{II}^2}{4} P_{mnp} + F_{II},$$

де  $F_{II} = \pi D_{II} b k P$  – розрахункова сила стиску прокладки;

$$F_{II} = 3,14 \cdot 620 \cdot 10 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 9734 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$F_p = \frac{3,14 \cdot 620^2}{4} \cdot 0,5 + 9734 = 160611 \text{ Н.}$$

15. Товщина трубної сталеві решітки зовні (для решіток типу III):

$$h_1 = K \sqrt{\frac{F_p}{[\sigma]_{32}}} + \delta_{\kappa op} + \delta_{\partial} = 0,27 \cdot \sqrt{\frac{160611}{130}} + 3 + 1 = 14 \text{ мм,}$$

де  $K = 0,27$ , при  $D_6 / D_{II} = 700 / 620 = 1,13$  [3, рис. IV.3, с. 79].

Конструктивно приймаємо  $h_1 = 26$  мм.

Товщина трубної сталюї решітки, виходячи з надійності розвальцьованих труб:

$$h = 0,005 + 0,125d_3 = 0,005 + 0,125 \cdot 0,038 = 0,00975 = 9,75 \text{ мм},$$

а прийнята товщина  $h = 32$  мм  $> 9,75$  мм, що забезпечує надійність кріплення труб розвальцьованням.

16. Площа поперечного перерізу корпусу:

$$A_k = \pi D_{\text{вн}} \delta_k = 3,14 \cdot 600 \cdot 5 = 9420 \text{ мм}^2,$$

а при пошкодженні корозією:

$$A_k = \pi D_{\text{вн}} (\delta_k - \delta_{\text{кор}}) = 3,14 \cdot 600 \cdot (5 - 3) = 5652 \text{ мм}^2.$$

17. Площа поперечного перерізу труб:

$$A_{\text{мп}} = 0,175(d_3^2 - d_{\text{вн}}^2)n\delta_{\text{мп}} = 0,175 \cdot (38^2 - 34^2) \cdot 80 \cdot 2 = 8064 \text{ мм}^2,$$

а при пошкодженні їх корозією (прийнято  $\delta_{\text{кор}}^{\text{мп}} = 1$  мм):

$$A_{\text{мп}} = 0,175(d_3^2 - d_{\text{вн}}^2)n(\delta_{\text{мп}} - 1) = 0,175 \cdot (38^2 - 34^2) \cdot 80 \cdot (2 - 1) = 4032 \text{ мм}^2.$$

18. Сила взаємодії між корпусом і трубами унаслідок температурних напружень:

$$F^t = \frac{[\alpha_k (t_k - 20^\circ) - \alpha_{\text{мп}} (t_{\text{мп}} - 20^\circ)]}{1/E_k A_k + 1/E_{\text{мп}} A_{\text{мп}}},$$

де  $\alpha_k = \alpha_{\text{мп}} = 11,4 \cdot 10^{-6}$  1/град [2, Д. 12, с. 193] – коефіцієнт лінійного розширення вуглецевої сталі;

$E_k = E_{\text{мп}} = 1,91 \cdot 10^5$  МПа [3, с. 77] – модуль пружності для вуглецевої сталі при температурі до 100 °С;

– для неушкоджених корозією труб і корпусу:

$$F^t = \frac{[11,4 \cdot (60 - 20) - 11,4 \cdot (100 - 20)] \cdot 10^{-6}}{1/1,91 \cdot 10^5 \cdot 9420 + 1/1,91 \cdot 10^5 \cdot 8064} = -37,7 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

– для пошкоджених корозією труб і корпусу:

$$F_t' = \frac{11,4 \cdot 10^{-6} \cdot (40 - 80)}{1/1,91 \cdot 10^5 \cdot 5652 + 1/1,91 \cdot 10^5 \cdot 4032} = -20,4 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

19. Осьова сила, що виникає унаслідок тиску середовища у трубному  $p_{mp} = 0,2$  і міжтрубному  $p_{mtp} = 0,5$  МПа просторах і розтягує в осьовому напрямку труби і корпус:

$$\begin{aligned} F^P &= 0,785[(D_{вн}^2 - d_3^2 \cdot n)p_{mtp} + n \cdot d_{вн}^2 p_{mp}] = \\ &= 0,785[(600^2 - 80 \cdot 38^2) \cdot 0,5 + 80 \cdot 34^2 \cdot 0,2] = 14,1 \cdot 10^4 \text{ Н.} \end{aligned}$$

20. Сумарне напруження в трубах і корпусі (напруження від тисків в апараті і температурні напруження):

– для корпусу (формула (7.3)) при  $t_k < t_{mp}$ :

$$\begin{aligned} \sigma^k &= \frac{F^t}{A_k} + \frac{F^P E_k}{E_k A_k + E_{mp} A_{mp}} = \frac{37,7 \cdot 10^4}{9420} + \frac{14,1 \cdot 10^4 \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 9420 + 1,91 \cdot 10^5 \cdot 8064} = \\ &= 48 \text{ МПа} < [\sigma]_p^k = 138 \text{ МПа (корпус без корозійних ушкоджень);} \end{aligned}$$

$$\sigma^k = \frac{37,7 \cdot 10^4}{5652} + \frac{14,1 \cdot 10^4 \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5 \cdot (5652 + 4032)} = 81 \text{ МПа} < [\sigma]_p^k = 138 \text{ МПа (корпус, пошкоджений корозією);}$$

– для труб при  $t_k < t_{mp}$ , формула (7.4):

$$\begin{aligned} \sigma^{mp} &= \frac{F^t}{A_{mp}} + \frac{F^P E_{mp}}{E_k A_k + E_{mp} A_{mp}} = \\ &= \frac{37,7 \cdot 10^4}{8064} + \frac{14,1 \cdot 10^4 \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5 \cdot (9420 + 8064)} = 55 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

55 МПа  $< [\sigma]_p^{mp} = 138$  МПа (труби без корозійних ушкоджень);

$$\sigma^{mp} = \frac{37,7 \cdot 10^4}{4032} + \frac{14,1 \cdot 10^4 \cdot 1,91 \cdot 10^5}{1,91 \cdot 10^5 \cdot (5652 + 4032)} = 108 \text{ МПа.}$$

108 МПа  $< 138$  МПа (труби, пошкоджені корозією).

Отже, корпус і трубки (з корозійними пошкодженнями і без них) витримують сумарні температурні та осьові зусилля.

21. Необхідна осьова сила кріплення труб у решітці:

$$F_{mp} = 0,785(d_3^2 - d_{вн}^2)\sigma^{mp} = 0,785 \cdot (38^2 - 34^2) \cdot 108 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

де  $\sigma^{mp} = 108 \text{ МПа}$  – більше з двох значень напружень (для ушкоджених корозією труб).

22. Перевірка міцності кріплення труб при їх розвальцюванні:

$$S = \frac{F_{mp}}{\pi n d_3} = \frac{2,4 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 80} = 2514 \text{ Н/м} < [S] = (40 \dots 70) \cdot 10^3 \text{ Н/м,}$$

де  $S$  – сила, що припадає на одиницю довжини периметра розвальцювання;

$[S] = 40000 \dots 70000 \text{ Н/м}$  – допустима сила на одиницю довжини периметра розвальцювання [2, с. 180].

Ескіз трубної плити показано на рис 8

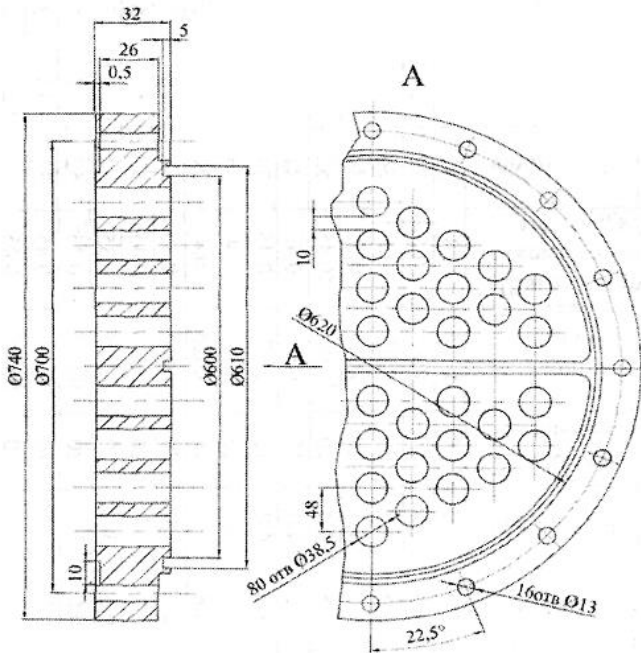


Рисунок 8 – Ескіз трубної плити

23. Мінімальна віддаль між отворами решітки:

$$l = t - d_s = 48 - 38 = 10 \text{ мм} \geq [l] = 6 \text{ мм.}$$

24. Товщина перегородки для досягнення двох ходів прийнята  
 $l_n = \delta_k = 5 \text{ мм.}$

25. Кількість болтів діаметром М20:

$$z = \frac{F_p}{[\sigma]_p A_b} = \frac{160611}{133 \cdot 234,8} = 5,15,$$

де  $A_b = \frac{\pi d_{1b}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 17,294^2}{4} = 234,8 \text{ мм}^2$  – площа перерізу болта;

$d_{1b} = 17,294 \text{ мм}$  – внутрішній діаметр різьби М20 [4, табл. 11.1, с. 102];

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_m}{n} = \frac{200}{1,5} = 133 \text{ МПа} \text{ – допустимі напруження болтів}$$

із сталі Ст.5;

$\sigma_m = 200 \text{ МПа}$  – границя текучості сталі марки Ст5 [4, табл. 11.2, с. 105];

$n = 1,5$  – коефіцієнт запасу міцності [4, с. 125].

$$\text{При болтах М12 } A_b = \frac{3,14 \cdot 10,106^2}{4} = 80,2 \text{ мм}^2, \text{ а } z = \frac{160611}{80,2 \cdot 133} = 15,06.$$

Прийнято  $z = 16$  болтів М12.

### Завдання для звіту

1. Описати класифікацію теплообмінних апаратів.
2. Описати конструкції поверхневих теплообмінників.
3. Замалювати схеми теплообмінника типу «труба в трубі» та змієвикових теплообмінників.
4. Виконати розрахунок кожухотрубного теплообмінника.

### Контрольні запитання

1. За якими ознаками класифікують теплообмінні апарати?
2. Будова і принцип роботи кожухотрубного теплообмінника.
3. Будова і принцип роботи теплообмінника типу «труба в трубі».
4. Будова і принцип роботи змієвикового теплообмінника.
5. Будова і принцип роботи пластинчатого теплообмінника.

Таблиця 6.1 – Дані для розрахунку і конструювання теплообмінного апарата

Варіант	Тиск в апараті		Площина теплообміну, м <sup>2</sup>	Продукція збитність, м <sup>3</sup> /с	Швидкість руху середовища по трубах, м/с	Діаметр трубки, мм			Матеріал		Робоча температура, °С		Температура навколишнього середовища, °С	
	трубний	міжтрубний				внутрішній	зовнішній	розрахунковий	трубок	корпусу	трубок	корпусу		
1	2,0	5,0	20	0,025	0,3	52	57	57		трубок	корпусу	100	65	20
2	1,5	4,5	20	0,05	0,5	52	57	57				90	60	22
3	1,5	4,5	20	0,03	0,5	34	38	38	Ст6	Ст6	Ст6	100	60	20
4	1,5	4,2	20	0,035	0,35	34	38	38				90	50	22
5	1,5	4,2	20	0,05	0,45	52	57	57				90	50	20
6	1,0	4,0	15	0,01	0,45	21	25	25				85	50	22
7	1,0	4,0	15	0,02	0,45	34	38	38		Ст5	Ст5	85	50	20
8	0,8	3	15	0,015	0,4	34	38	38				90	50	22
9	0,8	3,0	15	0,025	0,4	21	25	25				90	60	2
10	0,6	3,0	20	0,025	0,45	34	38	38				80	40	22
11	0,6	3,5	20	0,025	0,45	52	57	57				80	40	25
12	0,6	3,5	20	0,035	0,35	34	38	38	АЛ5	Ст6	Ст6	80	30	30
13	0,6	3,5	20	0,035	0,35	52	57	57				80	30	25
14	0,3	3,0	10	0,01	0,45	34	38	38				85	45	30
15	0,3	3,0	10	0,005	0,45	21	25	25		Ст3	Ст3	85	45	25

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА 8**

### **КОНСТРУКЦІЯ ТА РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ КАМЕРНОЇ СУШАРКИ**

*Мета роботи:* знайомство з класифікацією сушарок, конструкціями і принципом роботи сушарок, виконання розрахунку камерної сушарки.

#### **Загальні відомості.**

Сушінням називається термічний процес видалення вологи з твердих матеріалів або розчинів за допомогою її випару або випарювання. Це одна з найважливіших стадій технологічного процесу, яка визначає якість продукту, оскільки важливо не лише висушити продукт, але і зберегти його біологічну цінність. Для видалення вологи з продукту необхідно витратити енергію. За енергетичною ознакою можна виділити два основні принципи обезводнення: 1) видалення вологи з продукту без зміни її агрегатного стану, тобто у вигляді рідини; 2) видалення вологи із зміною її агрегатного стану.

Перший принцип обезводнення здійснюється механічним способом (пресування, центрифугування, фільтрування та ін.). Другий принцип сушіння пов'язаний з витратою теплоти на фазове перетворення води на пару.

За способом підведення теплоти до продукту, що висушується, розрізняють наступні види сушіння:

- конвективне – безпосереднє торкання продукту, який висушується з сушильним агентом, в якості котрого звичайно використовують нагріте повітря;
- контактне – передача теплоти від теплоносія до продукту через стінку, що розділяє їх;
- радіаційне – передача теплоти інфрачервоними променями;
- сублимаційне – сушіння в замороженому стані при глибокому вакуумі;
- діелектричне – нагрівання продукту в полі струмів високої або надвисокої частоти.

Швидкість сушіння визначається швидкістю дифузії (переміщенням) вологи з глибини продукту, що висушується в доквілля. Видалення вологи при обезводненні зводиться до переміщення теплоти і вологи усередині продукту та її перенесення з поверхні в доквілля.

#### **Конструкції сушильних апаратів.**

В залежності від способу сушіння сушарки можна розділити на декілька груп. Найчисленніша група представлена конвективними сушарками, в яких теплота від сушильного агента переноситься до матеріалу конвекцією. Другу, менш численну групу складають кондуктивні сушарки, в

яких матеріал нагрівається при безпосередньому контакті з поверхнею нагріву. Третю групу сушарок складають пристрої, в яких процес видалення вологи здійснюється в глибокому вакуумі при негативних температурах. Ці сушарки називають сублимаційними, тому що пароутворення в них відбувається, минаючи рідкий стан. Четверту групу складають спеціальні сушарки, в яких використовуються різні електрофізичні способи підведення енергії, наприклад за допомогою струмів високої частоти або інфрачервоних променів.

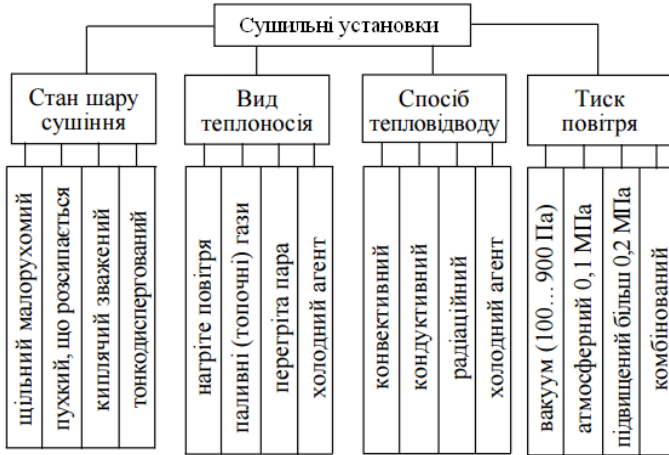


Рисунок 1 – Класифікація сушильних установок

Сушарки, які застосовують в харчовій промисловості, відрізняються різноманітністю конструкцій та підрозділяються за способом підведення теплоти (конвективні, контактні та ін.); по виду теплоносія, що використовується (повітря, газ, пара, паливні гази); за величиною тиску в сушарці (атмосферні і вакуумні); за способом організації процесу (періодичної або безперервної дії); за схемою взаємодії потоків (прямоточні, протитечієні, перехресного і змішаного руху).

Вибір принципової схеми сушильної установки залежить від призначення, продуктивності та вимог, що пред'являються до неї. Так, наприклад, до сушильних установок, призначених для сушіння зерна, пред'являються наступні вимоги, характерні також і для інших типів сушильних установок, а саме:

- зниження вологості в необхідних межах при збереженні якості зерна різних культур;
- охолодження зерна після його просушування;
- механізація процесів подачі, очищення, зважування, видалення зерна після просушування і видалення відходів;

- автоматизація процесу подачі палива;
- автоматизація контролю процесу сушіння;
- зниження витрат на паливо, електроенергію, технічне обслуговування і ремонт устаткування сушильної установки;
- висока протипожежна безпека;
- зменшення габаритних розмірів сушильних установок.

На хлібоприймальних пунктах використовуються, як правило, стаціонарні зерносушильні установки продуктивністю до 50 тонн в годину і більше (продуктивність пересувних сушильних установок не перевищує 10 тонн в годину).

Зерносушарки розрізняються також за схемою руху агента сушіння, розташуванням вентиляторів, числом зон сушіння і так далі.

Прямоточний рух агента сушіння (сушильний агент і матеріал, що висушується рухаються в одному напрямі) переважний у разі високої температури теплового агента, його невеликій відносній вологості і при високій вологості матеріалу (великі перепади температур агента сушки і матеріалу, а також низька відносна вологість агента сушки сприяє інтенсивному випару вологи, як з поверхні матеріалу, так і капілярної вологи).

Прямоточний рух агента використовується при сушінні свіжозібраного сирого зерна.

Протитечійний рух агента сушіння забезпечує збереження вищої якості зерна, але при високій відносній вологості агента на виході з сушильної камери можлива конденсація пари на поверхні холодного зерна, що значно знижує ефективність роботи сушильної установки.

При поперечному русі сушильного агента щоб уникнути погіршення якостей зерна необхідно у верхню частину сушильної камери подавати агент з нижчою температурою, ніж в нижню частину сушильної камери, де зерно має меншу вологість і, як наслідок, велику термостійкість, і температура агента суш може бути вищою (до +150°C).

У сушильних установках застосовується також змішаний рух агента.

Агент сушіння в сушарні камери установок нагнітається вентиляторами (надлишковий тиск нагнітання 500..1000 Па); повітря з охолоджувальних камер відсмоктується також вентиляторами (розрідження в камерах охолодження 500..1000 Па). Інтенсивність же випару вологи з матеріалу не залежить від способу подачі агента сушки.

У сушильних установках невеликої продуктивності (до 10 тонн в годину) установок вентиляторів на відсмоктуванні дозволяє один і той же вентилятор використовувати для видалення з сушильної камери сушильного агента і повітря з охолоджувальної камери (при такій схемі установки вентилятора в зимовий час внаслідок конденсації вологи відбувається забруднення лопатей вентилятора і його кожуха, що знижує продуктивність та ККД вентилятора, тому вищеописана схема установки вентилятора

використовується в сушильних установках з високою температурою агента сушіння на вході в сушильну камеру (+300...+350°C); на виході сушильної камери температура агента сушіння значно нижча, що дозволяє при установці вентилятора на випуску уникнути необхідності передбачати охолодження підшипників вентилятора). У високопродуктивних сушильних установках вентилятори встановлюються, як правило, на лінії нагнітання.

Сушильні камери в сушильних установках високої продуктивності розділяються на декілька зон сушіння, причому при установці вентиляторів на нагнітання для кожної зони встановлюється окремий вентилятор. Розподіл сушильної камери на декілька зон сушіння дозволяє використовувати найбільш доцільні режими. Між зонами сушіння передбачається проміжне охолодження для зниження температури матеріалу, що висушується, запобігання його перегріванню.

*Конвективні сушарки*, серед яких найбільш простими є камерні (рисунок 2), мають корпус, усередині якого знаходяться вагонетки. На полицях вагонеток поміщається вологий матеріал. Теплоносій нагнітається в сушарку вентилятором, нагрівається в калорифері і проходить над поверхнею матеріалу, що висушується або пронизує шар матеріалу від низу до верху. Частина відпрацьованого повітря змішується зі свіжим повітрям. Ці сушарки періодичної дії звичайно працюють при атмосферному тиску. Їх застосовують в малотоннажних виробництвах для сушіння матеріалів при невисоких температурах в м'яких умовах. Камерні сушарки мають низьку продуктивність і відрізняються нерівномірністю сушіння продукту.

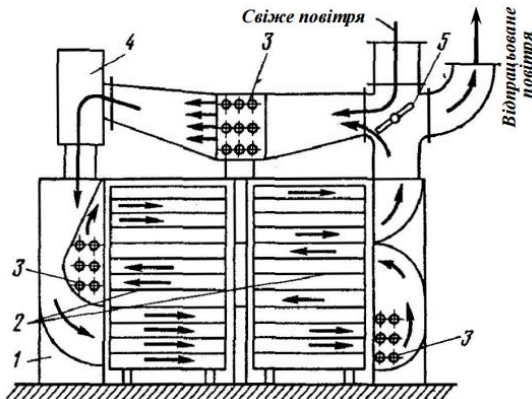


Рисунок 2 – Схема конвективної сушарки: 1 - корпус; 2 - вагонетка; 3 - калорифери; 4 - вентилятор; 5 - шибер

Тунельні сушарки (рисунок 3) використовують для сушіння сухарів, овочів, фруктів, макаронів і інших продуктів. За організацією процесу ці

сушарки відносяться до сушарок безперервної дії. Сушарки є подовженим прямокутним корпусом, в якому переміщуються по рейках візків з матеріалом, що висушується розташованим на полицях візків. При цьому час перебування візків в сушильній камері дорівнює тривалості сушіння.

Сушіння матеріалу досягається за один прохід візків. Свіже повітря засмоктується вентилятором і поступає, нагріваючись в калориферах, в сушарку. Переміщення візків відбувається за допомогою штовхальника. Сушарка має герметичні двері, що самі відчиняються.

Гаряче повітря взаємодіє в сушарці з матеріалом в прямоцілі або в протитечії. У ряді випадків в тунельних сушарках, можна, здійснювати рециркуляцію повітря та його проміжне підігрівання в сушильній камері. Калорифери і вентилятори встановлюють на даху сушарки, збоку або в тунелі під сушаркою. Відпрацьоване повітря з сушарки викидається через газохід.

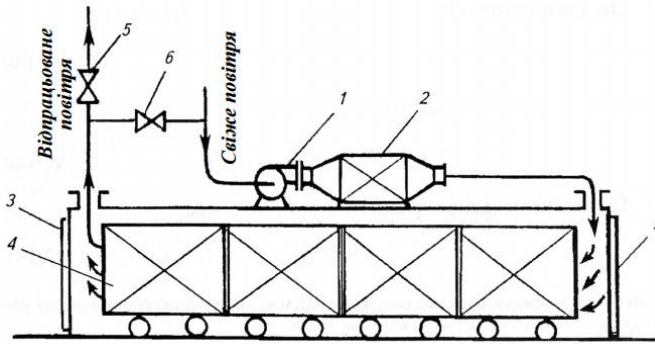


Рисунок 3 – Тунельна сушарка: 1 - вентилятор; 2 - калорифер; 3 - двері; 4 - візок; 5, 6 - шибери.

Стрічкові багатоярусні конвеєрні сушарки застосовують для сушіння макаронних виробів, сухарів, фруктів, овочів, крохмалю та ін. Вологий матеріал завантажується через верхній або бічний завантажувальний бункер, як показано на рисунку 3, і поступає на верхній перфорований стрічковий конвеєр, на якому переміщається уздовж сушильної камери, і потім пересипається на розташований нижче конвеєр. З нижнього конвеєра висушений матеріал поступає в розвантажувальний бункер або на приймальний конвеєр. Пересипання матеріалу із стрічки на стрічку сприяє його перемішуванню, що, у свою чергу, збільшує швидкість сушіння.

Щоб матеріал напрямлено пересипався з вище розташованого конвеєра на розташований нижче, встановлюють направляючі лотки.

Повітря нагнітається вентилятором, проходить через калорифер і надходить в сушильну камеру, де пронизує шар матеріалу на кожній

перфорованій стрічці. Для проміжного підігрівання повітря під стрічками кожного конвеєра знаходиться проміжний калорифер, виконаний з ребрих труб.

Стрічкові сушарки бувають прямоточними і протитечійними. У таких сушарках може бути передбачена рециркуляція повітря. Завдяки проміжному підігріванню і рециркуляції повітря в стрічкових сушарках досягаються м'які умови сушіння. Існують конструкції з проміжними калориферами (під кожним з конвеєрів), що забезпечує безперервний процес сушіння з перехресним рухом повітря

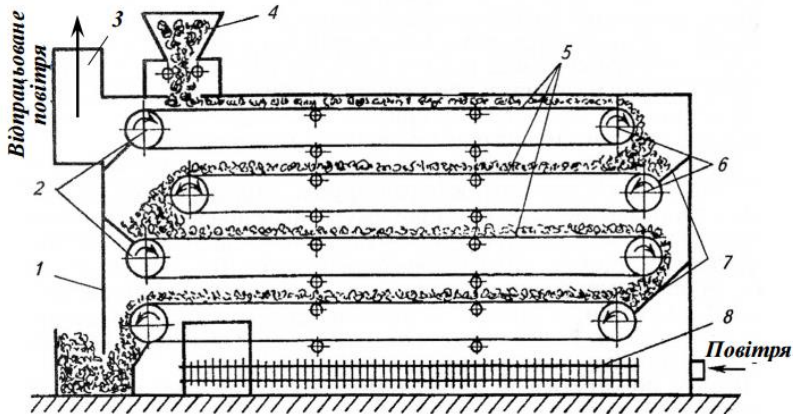


Рисунок 4 – Стрічкова сушарка: 1 - корпус; 2 - ведучі барабани стрічковий конвеєр; 3 - вихід повітря; 4 - завантажувальний бункер; 5 - стрічки конвеєра; калорифери; 6 - ведені барабани; 7 - перегородки; 8 - калорифер.

Барабанні сушарки застосовують для сушіння жому і цукру піску на цукрових заводах, кристалічних та зернистих матеріалів на багатьох інших виробництвах.

Конструктивна схема барабанної сушарки, що працює на топкових газах показана на рисунку 5 і являє собою барабан 1, що обертається на роликів 4, спираючись на них своїми бандажми 2. Барабан обертається за допомогою зубчастого вінця 3, який перебуває у зачепленні з шестернею 5, що приводиться в рух від електродвигуна через редуктор 6. Частота обертання барабана 1...8 об/хв. Відношення довжини барабана до діаметра становить від 3,5:1 до 7:1.

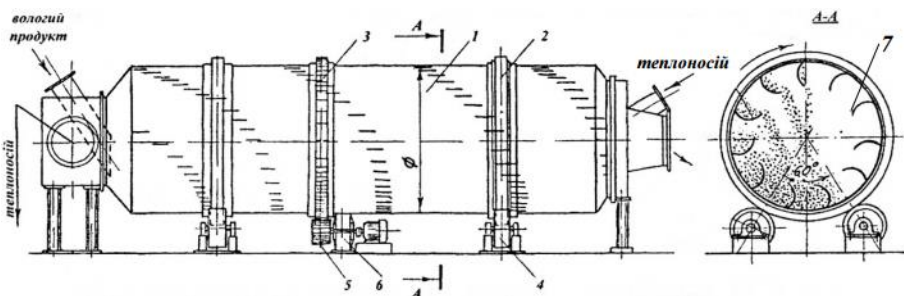


Рисунок 5 – Барабанна сушарка: 1 - барабан; 2 - бандаж; 3 - зубчастий вінець; 4 - ролик; 5 - шестерня; 6 - привод; 7 – насадка

### Методика розрахунку.

3.1 *Завдання на розрахунок:* виконати розрахунок камерної сушарки, якщо задані наступні параметри:

$G_1$  – кількість сирого матеріалу, кг;

$\tau$  – час сушіння, год.;

$C_{см}$  – теплоємність абсолютно сухого матеріалу, ккал/(кг·град);

$\omega_1$  – вологість матеріалу до сушіння, в % по масі;

$\omega_2$  – вологість матеріалу після сушіння, %;

$\theta$  – температура матеріалу на вході в сушарку, °C;

$t_0^л$  – температура зовнішнього повітря влітку, °C;

$t_0^{ЗМ}$  – температура зовнішнього повітря взимку, °C;

$\varphi_0^л$  – відносна вологість повітря влітку, %;

$\varphi_0^{ЗМ}$  – відносна вологість повітря взимку, %;

$t_{доп}$  – допустима температура сушильного агента на вході в сушарку;

$t_2$  – температура сушильного агента на виході з сушарки, °C;

$\varphi_2$  – відносна вологість сушильного агента на виході з сушарки, %;

$g$  – навантаження на поверхню решета, кг/м<sup>2</sup>;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі стін сушарки.

### 3.2 Геометричний розрахунок сушильної камери

3.2.1 Визначається загальна площа поверхні решіт, м<sup>2</sup>

$$S_p = \frac{G_1}{g} \quad (1)$$

де  $G_1$  - кількість сирого матеріалу, кг;

$g$  - питоме навантаження на поверхню решіт, кг/м<sup>2</sup>.

3.2.2 Конструкція, кількість решіт, їх розташування в камері.

В різних галузях виробництва для сушарок використовують досить великий спектр конструкцій та типорозмірів решіт.

Для даного учбового розрахунку можна прийняти конструкцію решіт: дерев'яні рами з дротяною сіткою; вага рами 1,5 кг, вага сітки 0,5 кг, розміри 0,785×0,785 м. Площа одного решета складе, м<sup>2</sup>:

$$S'_p = l_p \cdot b_p \quad (2)$$

де  $l_p$  і  $b_p$  - відповідно довжина і ширина решета, м.

Розраховується кількість решіт в камері, шт.:

$$Z_p = S_p / S'_p \quad (3)$$

Кількість решіт округлюється до цілого числа.

Розробляється план розташування візків з решетами в камері сушарки:

На один візок, як правило, встановлюють етажерку (пакет), який складається 10...12 решіт, тоді число візків буде складати:

$$Z_в = Z_p / Z' \quad (4)$$

При невеликій кількості візків (2...3 шт.) їх доцільно розташовувати в один ряд, при кількості 6...8 шт. – в два ряди по 3...4 візка, а при ще більшій кількості візків їх розташовують і в 3 і в 4 ряди.

3.2.3 Визначається завантаження на одне решето  $g'$ , кг,

$$g' = \frac{G_1}{Z_p} \quad (5)$$

3.2.4 Визначаються зовнішні розміри камери:

- приймається товщина стін, підлоги і стелі,  $\delta = 0,1 \dots 0,12$  м.

- ширина камери, м:

$$B = b_p \cdot Z_{ряд} + a_1 (Z_{ряд} + 1) + 2 \cdot \delta, \quad (6)$$

де  $b_p$  - ширина решета, м;

$a_1$  - зазор між стінкою і решетом та рядами візків, м:

$$a_1 = 0,05 \dots 0,15 \text{ м};$$

- висота камери, м:

$$H = a' \cdot Z' + 2 \cdot \delta, \quad (7)$$

де  $a'$  - відстань по висоті між решетами,  $a' = 0,12 \dots 0,16$  м;

$Z'$  - кількість решіт в етажерці, шт.,

- довжина камери, м,

$$L = Z'_{ряд} \cdot l_p + (Z'_{ряд} + 1) \cdot a_1 + 2 \cdot \delta + 2 \cdot b'', \quad (8)$$

де  $l_p$  - довжина решета, м;

$a_1$  - відстань між рядами, м;

$b''$  - ширина розподільних коробів,  $b'' = 0,5 \dots 0,6$  м.

3.2.5 Визначається поверхня тепловтрат в доквіллія, м<sup>2</sup>

$$S_{II} = 2 \cdot H \cdot L + 2 \cdot H \cdot B + 2 \cdot B \cdot L \quad (9)$$

3.2.6 Накреслити схему розміщення решіт в камері.

### 3.3 Матеріальний розрахунок

3.3.1 Визначається кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}, \quad (10)$$

де  $G_1$  - кількість сирого матеріалу, кг;

$G_2$  - кількість висушеного матеріалу, кг;

$\omega_1$  - вологість матеріалу до сушіння, %;

$\omega_2$  - вологість матеріалу після сушіння, %.

3.3.2 Визначається кількість води, що випаровується, кг:

$$W = G_1 - G_2, \quad (11)$$

### 3.4 Розрахунок тепловтрат при сушці в камері

3.4.1 Тепловтрати в доквіллія

3.4.1.1 Середня різниця температур середовищ по довжині камери:

$$t_{cp} = \frac{t_{\text{дон}} - t_2}{2,3 \lg \frac{t_{\text{дон}} - \theta}{t_2 - \theta}}, \quad (12)$$

де  $t_{\text{дон}}$  - допустима температура сушильного агента на вході в сушарку, °С;

$t_2$  - температура сушильного агента на виході з сушарки, °С;

$\theta$  - температура матеріалу на вході в сушарку, °С.

Різниця температур середовищ на торцях камери

$$t'_{cp} = t_{\text{дон}} - \theta; \quad t''_{cp} = t_2 - \theta \quad (13)$$

3.4.1.2 Інтенсивність тепловтрат при коефіцієнті теплопередачі однаковому для усіх стін сушарки:

- по довжині камери, ккал/(м<sup>2</sup> · год.)

$$q_d = k \cdot t_{cp}, \quad (14)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі стін сушарки, ккал/(м<sup>2</sup> · год. · град).

$k = 0,7$  ккал/(м<sup>2</sup> · год. · град)

- з торців камери, ккал/(м<sup>2</sup> · год.);

$$q'_m = k \cdot t'_{cp}; \quad (15)$$

$$q''_m = k \cdot t''_{cp}. \quad (16)$$

3.4.1.3 Тепловтрати в доквіллія:

$$Q_{\text{ок}} = (q_{\text{нд}} \cdot S_{\text{нд}} + q_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ст}} + q_c \cdot S_c + q'_m \cdot S_m + q''_m \cdot S_m) \frac{\tau}{W} \quad (17)$$

де  $q_{\text{нд}}$ ,  $q_{\text{ст}}$ ,  $q_c$  - інтенсивність тепловтрат через підлогу, стелю і стінки, камери, ккал/(м<sup>2</sup> · год),  $q_{\text{нд}} = q_{\text{ст}} = q_c = q_d$ ;

$q'_m$ ,  $q''_m$  - інтенсивність тепловтрат на торцевих стінках камери;

$S_{\text{нд}}$ ,  $S_{\text{ст}}$ ,  $S_c$ ,  $S_m$  - площа підлоги, стелі, поздовжніх і торцевих стін камери, м<sup>2</sup>;

$\tau$  - час сушіння, год.

### 3.4.2 Тепловтрати на нагрів матеріалу

#### 3.4.2.1 Визначаються теплоємності матеріалу, ккал/(кг·град):

- сирого:

$$C'_M = C_{CM} + (1 - C_{CM}) \frac{\omega_1}{100}, \quad (18)$$

де  $C_{CM}$  - теплоємність абсолютно сухого матеріалу, ккал/(кг·град);

- висушеного:

$$C''_M = C_{CM} + (1 - C_{CM}) \frac{\omega_2}{100} \quad (19)$$

#### 3.4.2.2 Середня температура висушеного матеріалу, °С,

$$\theta_2 = \frac{t_{дон} + t_2}{2}, \quad (20)$$

#### 3.4.2.3 Тепловтрати на нагрів матеріалу, ккал/кг

$$q_M = \frac{C'_M \cdot G_1 \cdot \theta - C''_M \cdot G_2 \cdot \theta_2}{W} \quad (21)$$

#### 3.4.3 Тепловтрати на нагрів решіт визначаємо за наступних умов:

- теплоємність дерева  $C_d = 0,6$  ккал/(кг·град);

- теплоємність металу  $C_{мет} = 0,115$  ккал/(кг·град);

Температура решіт приймається як і матеріалу; вагу дерев'яної рамки решета  $G_d = 1,5$  кг, вагу металевої сітки решета  $G_c = 0,5$  кг.

$$q_{реш} = \frac{C_d \cdot G_d \cdot Z_p(\theta_2 - \theta) + C_{мет} \cdot G_c \cdot Z_p(\theta_2 - \theta)}{W} \quad (22)$$

#### 3.4.4 Сумарні тепловтрати, ккал/кг

$$\Sigma q = q_{дк} + q_M + q_{реш} \quad (23)$$

### 3.5 Аналітичний розрахунок нормального сушильного процесу

#### 3.5.1 Вологовміст повітря, г водяної пари/кг сухого повітря:

а) зовнішнього повітря влітку  $d_o^л$  і взимку  $d_o^з$ :

$$d_o = 622 \frac{\varphi_o \cdot P_n^o}{P_{ат} - \varphi_o \cdot P_n^o}, \quad (24)$$

де  $\varphi_o$  - відносна вологість повітря в частинах;

$P_n^o$  - тиск насиченої водяної пари при температурі  $t_o$ , Па;

$P_{ат}$  - атмосферний тиск, Па;  $P_{ат} \approx 1 \text{ атм} = 1 \cdot 10^5$  Па.

Значення тиску насиченої пари в кПа, в залежності від температур зовнішнього повітря зимою, літом і температури відпрацьованого сушильного агента визначаються з діаграми на рисунку 6 (при підстановці в (24) перевести в Па).

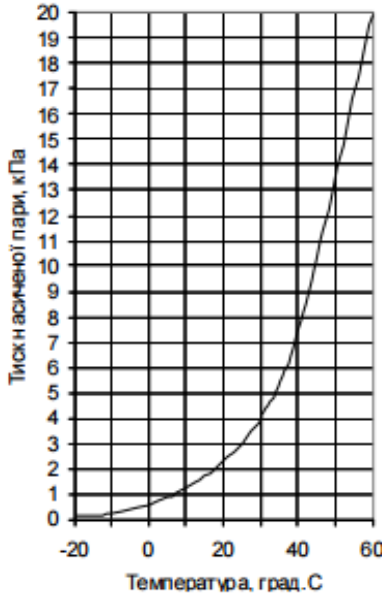


Рисунок 6 – Діаграма визначення  $P_H^0$ .

б) вологовміст  $d_2$  сушильного агента, що відпрацював також визначається за формулою (24)

3.5.2 Відносна витрата абсолютно сухого повітря взимку  $l^{3M}$  і влітку  $l^L$ , кг водяної пари/кг сухого повітря:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \quad (25)$$

3.5.3 Необхідна температура підігрівання повітря в калорифері, °C:

3.5.3.1 Теплоємність вологого повітря на 1 кг сухого, ккал/(кг·град):

$$C = C_{нов} + C_{нар} \cdot \frac{d_0}{1000}, \quad (26)$$

де  $C_{нов}$  - теплоємність повітря;  $C_{нов} = 0,24$  ккал/(кг·град);

$C_{нар}$  - теплоємність пари;  $C_{нар} = 0,44$  ккал/(кг·град);

$d_0$  - вологовміст зовнішнього повітря (формула 24), г/кг.

За формулою (26) визначимо значення  $C_1^L$  для літа,  $C_1^{3M}$  для зими і  $C_2$  для відпрацьованого агента.

3.5.3.2 Повна теплота пари при температурі  $t^2$ :

$$i = i_0 + C_{нар} \cdot t_2, \quad (27)$$

де  $i_0$  - теплота пари при 0°C;  $i_0 = 597,3$  ккал/кг.

3.5.3.3 Температура підігрівання повітря в калорифері літом і зимою:

$$t_k = t_2 \cdot \frac{C_2}{C_1} + \frac{i + \sum q}{C_1 \cdot l}, \quad (28)$$

де  $t_2$  - температура сушарного агента на виході з сушарки, °С;  
 $C_1$  - теплоємність повітря літом  $C_1^l$  і взимку  $C_1^{zm}$ , ккал/(кг·град);  
 $C_2$  - теплоємність повітря при температурі  $t_2$ , ккал/(кг·град);  
 $i$  - повна теплота водяної пари, ккал/кг;  
 $l$  - витрата абсолютно сухого повітря взимку  $l^{zm}$  і влітку  $l^l$ , кг/кг;  
 $\sum q$  - сумарні втрати тепла, ккал/кг вологи, що випаровується.

3.5.4 Витрата тепла взимку і влітку на 1 кг вологи, що випаровується:

$$q^{zm} = C_1^{zm} \cdot l^{zm} (t_k - t_2) \quad q^l = C_1^l \cdot l^l (t_k - t_2) \quad (29)$$

3.6 Розрахунок витратних характеристик процесу сушіння

3.6.1 Кількість вологи, що випаровується за 1 годину, кг/год.

$$W_{zod} = \frac{W}{\tau} \quad (30)$$

Тут і далі розрахувати показники для зими і літа.

3.6.2 Витрата тепла за 1 годину роботи, ккал/год.

$$Q = q \cdot W_{zod} \quad (31)$$

3.6.3 Витрата пари  $G_n$  на сушіння, кг/ч.

$$G_n = \frac{Q}{(i - t_{кон}) \cdot \eta} \quad (32)$$

де  $i$  - повна теплота гріючої пари, ккал/кг;  
 $t_{кон}$  - температура конденсату,  $t_{кон} = 132,9$  °С;  
 $\eta$  - ККД калорифера,  $\eta = 0,98$ .

3.6.4 Витрата пари на 1 кг вологи, кг пари/кг вологи, що випаровується

$$g_n = \frac{G_n}{W_{zod}} \quad (33)$$

3.6.5 Витрата пари на 1 кг висушеного матеріалу.

$$g_{nm} = \frac{G_n \cdot \tau}{G_2} \quad (34)$$

3.6.6 Витрата повітря на сушку матеріалу, годинна і секундна.

$$L_{zod} = l \cdot W_{zod}; \quad L_{сек} = \frac{W_{zod}}{3600} \quad (35)$$

#### 4 Висновки по розрахунку.

Усі розраховані конструктивні і технологічні параметри заносимо в таблиці № 4.1, 4.2, 4.3, 4.4.

Таблиця 4.1 – Геометричні параметри сушильної камери

$F_p$	$l_p \times b_p$	$Z_p$	$g'$	$B$	$H$	$L$	$S_{II}$	$G_2$	$W$
$M^2$		<i>шт.</i>	$KZ$	$M$	$M$	$M$	$M^2$	$KZ$	$KZ$

Таблиця 4.2 – Параметри теплових втрат

$t_{cp}$	$t'_{cp}$	$t''_{cp}$	$\theta_2$	$q_0$	$q'_{тл}$	$q''_{тл}$	$q_{ок}$	$q_{лм}$	$q_{реш}$	$\Sigma q$
$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$\frac{KKAJ}{M^2 \cdot 200}$	$\frac{KKAJ}{M^2 \cdot 200}$	$\frac{KKAJ}{M^2 \cdot 200}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$

Таблиця 4.3 – Параметри розрахунку нормального сушильного процесу

$d_o^{3M}$	$d_o^{1}$	$d_2$	$l^{3M}$	$l^{1}$	$i$	$t_k^{3M}$	$t_k^{1}$	$q^{3M}$	$q^{1}$
$\frac{z}{KZ}$	$\frac{z}{KZ}$	$\frac{z}{KZ}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$\frac{KKAJ}{KZ}$	$\frac{KKAJ}{KZ}$

Таблиця 4.4 – Параметри витратних характеристик

$W_{200}$	$Q^{3M}$	$Q^{1}$	$G_n^{3M}$	$G_n^{1}$	$g_n^{3M}$	$g_n^{1}$	$g_{лм}^{3M}$	$g_{лм}^{1}$	$L_{200}^{3M}$	$L_{200}^{1}$
$200$	$\frac{KKAJ}{200}$	$\frac{KKAJ}{200}$	$\frac{KKAJ}{200}$	$\frac{KKAJ}{200}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KZ}{KZ}$	$\frac{KZ}{200}$	$\frac{KZ}{200}$

### Завдання для звіту

1. Описати суть і призначення процесу сушіння.
2. Описати класифікацію сушарок.
3. Описати конвективну і тунельну сушарки та замалювати їх схеми.
4. Виконати розрахунок камерної сушарки.

### Контрольні питання

1. Розказати суть процесу сушіння.
2. Які є конструкції сушильних установок?
3. Будова і принцип роботи конвективної сушарки.

4. Будова і принцип роботи тунельної сушарки.
5. Будова і принцип роботи стрічкової сушарки.
6. Будова і принцип роботи барабанної сушарки.

### Варіанти завдань

№	$G_I$	$\tau$	$C_{см}$	$\omega_I$	$\omega_2$	$\theta$	$t_o^3$	$t_o^A$	$\varphi_o^A$	$\varphi_o^3$	$t_{дон}$	$t_2$	$\varphi_2$	$g$
	кг	год.	*	%	%	°C	°C	°C	%	%	°C	°C	%	кг/м <sup>2</sup>
1	100	3	0,25	68	15	20	-10	18	80	60	55	40	50	8
2	200	3	0,30	69	16	20	-11	19	81	61	56	41	51	9
3	300	3	0,35	70	17	20	-12	20	82	62	57	42	52	10
4	400	4	0,40	71	18	20	-13	21	83	63	58	43	53	11
5	500	4	0,45	72	19	20	-14	22	84	64	59	44	54	8
6	600	4	0,50	73	20	21	-15	23	85	65	60	45	55	9
7	700	5	0,25	74	21	21	-16	24	86	66	52	40	56	10
8	800	5	0,30	75	22	21	-17	25	87	67	53	41	57	11
9	900	5	0,35	76	23	22	-18	26	88	68	54	42	58	8
10	1000	6	0,40	77	24	22	-17	27	89	69	55	43	59	9
11	950	5,5	0,45	78	23	22	-16	26	90	70	56	44	60	10
12	850	5,5	0,50	79	22	22	-15	25	89	69	57	45	59	11
13	750	5,5	0,25	80	21	19	-14	24	88	68	58	40	58	8
14	650	4,5	0,30	78	20	19	-13	23	87	67	59	41	57	9
15	550	4,5	0,35	77	19	19	-18	22	86	66	60	42	56	10
16	450	4,5	0,40	76	18	19	-14	21	85	65	59	43	55	11
17	350	4,5	0,45	75	17	18	-10	20	84	64	58	44	54	8
18	250	3,5	0,50	74	16	18	-9	19	83	63	57	45	53	9
19	150	3,5	0,30	73	15	18	-10	18	82	62	56	40	52	10
20	300	3,5	0,40	72	14	18	-8	17	81	61	55	41	51	11

\*Розмірність теплоємності абсолютно сухого матеріалу  $\text{ккал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 9

### БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ДИФУЗІЙНИХ АПАРАТІВ

*Мета роботи:* вивчення теоретичних основ процесу дифузії; знайомство з класифікацією дифузійних апаратів, їх конструкціями і принципом роботи; виконання розрахунку дифузійного апарата.

#### Теоретичні відомості

Дифузією, або екстракцією називається видобування із складної по своєму складу речовини одного або декількох компонентів за допомогою розчинника, який має вибіркуву здатність розчиняти тільки ту речовину (або речовини), які підлягають екстрагуванню.

Саме завдяки застосуванню дифузійного способу здійснюється виділення цукру із бурякової стружки.

Рушійною силою дифузійного процесу є різниця концентрації. Таким чином, для дифузії цукру із стружки в навколишню рідину (воду, дифузійний сік) в дифузійному апараті повинна підтримуватися різниця між концентраціями цукру в стружці і дифузійному соку, що досягається при їх зустрічному русі.

На теперішній час у цукровому виробництві видобування цукру з клітин буряка здійснюється в апаратах безперервної дії. Бурякова стружка і дифузійний сік при цьому знаходяться у безперервному протитечійному русі. В кожному довільному перерізі апарата як в рідкій, так і в твердій фазах встановлюється постійна концентрація речовин, що екстрагуються, тобто у кожному перерізі апарата процес є стаціонарним. Всередині ж самої стружки вміст цукру змінюється в залежності від часу, і процес носить нестаціонарний характер. Для описання дифузійного процесу застосовують теорію масообміну.

Процес видобування розчинних речовин з клітин буряка ділиться на дві стадії: дифузія речовини в тканині цієї сировини і масовіддача з поверхні часток сировини до екстрагуючої рідини.

Головний закон молекулярної дифузії – закон Фіка встановлює математичний зв'язок між кількістю речовини, яку екстрагують, і основними параметрами процесу в масі часток:

$$dS = -D \frac{dc}{dx} dF \cdot dt \quad (1)$$

де  $dS$  - кількість речовини, що дифундувала крізь одиницю площі  $dF$  ізоцентричної поверхні за одиницю часу  $dt$ ;

$D$  - коефіцієнт дифузії;

$dc/dx$  - градієнт концентрації речовини.

Коефіцієнт дифузії  $D$  є фізичним параметром матеріалу, характеризує провідність речовини в матеріалі і чисельно дорівнює масі речовини, яка

дифундує крізь одиницю часу площі за одиницю часу при градієнті концентрації, рівному одиниці. Він залежить від температури, в'язкості розчинника, розміру часток розчинної речовини.

При використанні закону Фіка необхідно враховувати наступні допущення: бурякова стружка однорідна по товщині і має гладку поверхню; масова доля цукру всередині стружки змінюється за законом прямої лінії, і тому прийнято, що середня масова доля цукру в стружці знаходиться на відстані 1/4 її товщини від поверхні; опір пограничного шару соку на межі стружка-сік не враховується.

Допускаючи, що за час процесу середня різниця в нормальному соку бурякової стружки і в дифузійному соку аналогічна середній різниці температур при теплових процесах, і приймаючи, що середня товщина стружки пропорційна її периметру, проф. П.І. Сілін отримав рівняння для аналізу нормування роботи дифузійного апарата цукрового заводу:

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{n-1+c_1/c_2}{nc_1/nc_2} = A \cdot \vartheta_m \cdot l \cdot \tau, \quad (2)$$

де  $n$  - коефіцієнт відбору дифузійного соку, кг/кг;

$c_1$  - масова частка цукру у відпрацьованій буряковій стружці, %;

$c_2$  - масова частка цукру в нормальному соку буряка, %;

$A$  - коефіцієнт, що залежить від конструкції апарата (таблиця 1);

$\vartheta_m$  - температурний фактор;

$l$  - довжина маси навіски 100 г стружки, м;

$\tau$  - час активного процесу дифузії, хв.

Температурний фактор визначається за формулою:

$$\vartheta_m = T \cdot 10^{-6} / \eta, \quad (3)$$

$T$  - абсолютна температура в активній частині апарату, К;

$\eta$  - динамічна в'язкість розчинника, Па·с;

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта  $A$  для дифузійних апаратів

Тип дифузійного апарата	Значення коефіцієнта $A \cdot 10^5$
Колонний КДА	14,4
Похилий ПДС і ДДС	14,9
Ротаційний РДА	9,2
J - серії і системи Ольє	9,4

Апарати, в яких здійснюється екстракція цукрів з бурякової стружки за допомогою екстрагуєчої рідини, називаються дифузійними, їх класифікація показана на рисунку 1.

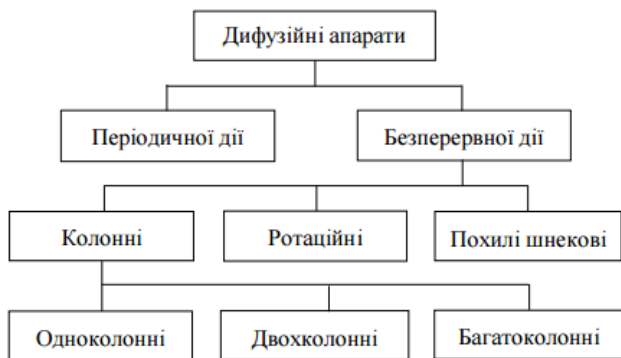


Рисунок 1 – Класифікація дифузійних апаратів

Дифузійні апарати повинні забезпечувати:

- знецукрення найбільш тонкої бурякової стружки при рівномірному обмиванні її дифузійним соком;
- гарантоване протитечійне переміщення бурякової стружки і дифузійного соку;
- мінімальні втрати цукру у відходах (жомі) при максимальній концентрації дифузійного соку;
- високу якість соку при мінімальному вмісті в ньому мезги;
- мінімальну тривалість процесу дифузії.

Крім того, конструкція апарату має бути нескладною у виготовленні і зручною в обслуговуванні та ремонті.

Колонні вертикальні дифузійні апарати неперервної дії (КДА) бувають одно- двох- і багатоклонні. У цукровій промисловості експлуатуються одноколонні дифузійні установки продуктивність яких 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 6,0 і 12,0 тисяч тонн буряків на добу. Діаметр колон таких установок коливається в межах 4...7 м, висота 10...16 м.

На рисунку 2 показана технологічна схема дифузійної установки ЕКА-3. До її складу входять: ошпарювач 1, насос сокостружкової суміші 17, колона 12, пісковловлювач 16 та підігрівач циркуляційного соку 7.

Попередня тепла обробка бурякової стружки здійснюється в ошпарювачі 1. Його похилий циліндричний корпус містить в собі лобове сито 2. На трубчастому валу 4, який обертається з частотою 0,5...0,9 хв<sup>-1</sup> встановлені лопаті (або розрізні витки шнека, а також пристрої 3 для очищення лобового сита. На корпусі розташований колектор 5 для підведення циркуляційного соку в різні місця по довжині ошпарювача.

Циркуляційним насосом 17 сокостружкова суміш (~1:4) подається в колону 12 і розподільником, який обертається валом колони 10, рівномірно розподіляється над ситовим поясом 15. Профільтрований сік надходить в

пісковловлювач 16. Далі його потік роздвоюється. Один направляється до перемішувача сокостружкової суміші 6, другий - до підігрівача 7, після якого з температурою 75°C через колектор 5 він поступає у ошпарювач.

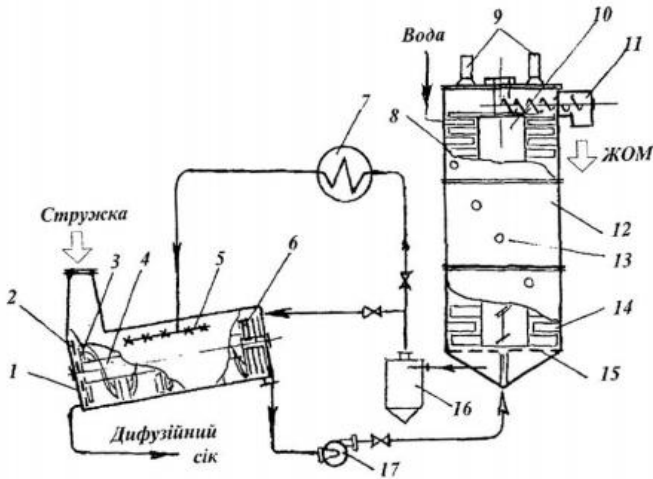


Рисунок 2 – Схема колонної дифузійної установки

1 - ошпарювач; 2 - лобове сито; 3 - очищувач; 4 - вал; 5 - колектор; 6 - лопаті; 7 - підігрівач; 8 - лопаті; 9 - мотор редуктори; 10 - вал колони; 11 - шнеки вивантажувальні; 12 - колона; 13 - віконця; 14 - контролопаті; 15 - ситовий пояс; 16 - пісковловлювач; 17 - насос;

Частина цього соку (~120% до маси стружки), віддавши теплоту стружці, яка опускається з бункера на лопаті вала, виводиться з ошпарювача на подальшу переробку. Цей сік називають дифузійним, його температура ~45°C.

Екстрагент (вода з температурою 65°C) вводиться у верхню частину колони нижче від місця установки вивантажувальних шнеків 11. Переміщення стружки знизу догори колони здійснюється завдяки сумісній дії лопатей 8, закріплених на валу 10, і контролопатей 14, установлених на внутрішній поверхні колони 12. Для спостереження за рухом сокостружкової суміші по висоті колони вмонтовані оглядові віконця 13.

Двохколонні і багатоклонні екстрактори в більшій частині знайшли застосування в олійно-екстракційному і ферментному виробництві, використовуються також і в цукровій промисловості. Вони бувають як шнекового, так і ланцюгового типу (J - серії та системи Ольє). До переваг колонних установок відносять стабільність їх роботи при забезпеченні

нормативних показників відкачки, високі значення питомого навантаження, незначна площа для установки.

Недоліки таких установок це складність конструкції, монтаж на посилених фундаментах, інтенсивне перемішування та значне подрібнення стружки.

Ротаційні дифузійні установки типу РДА застосовуються тільки в цукровій промисловості.

На рисунку 3 показана схема подібної установки, що складається з кількох апаратів: барабана 1, збірника циркуляційного соку 2, насоса 3, передошпарювача 4, підігрівача циркуляційного соку 5 та ошпарювача 6.

Бурякова стружка подається в передошпарювач 4, в якому вона змішується з гарячим соком і скребковим конвеєром подається в ошпарювач 6. В ошпарювачі стружка підхоплюється потоком нагрітого до температури 75°C соку і подається на кругове сито барабана 1. Відділена від соку стружка направляется в барабан, а сік збирається в збірнику і за допомогою насоса 3 циркулює в системі. Дифузійний сік відводиться на подальшу обробку через передошпарювач 4.

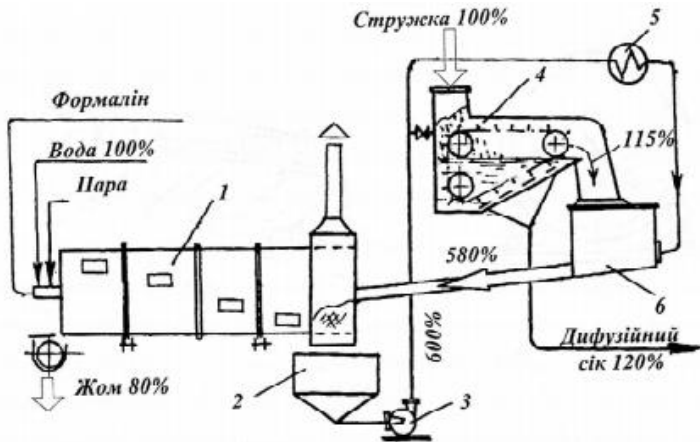


Рисунок 3 – Схема ротаційної дифузійної установки

1 - барабан; 2 - збірник циркуляційного соку; 3 - насос; 4 - передошпарювач; 5 - підігрівач; 6 - ошпарювач.

Основний агрегат таких установок це циліндричний барабан 1, який двома бандажами опирається на чотири або вісім опорних роликів. За допомогою шестерні та зубчатого вінця, який охоплює корпус барабана, він обертається з перемінною частотою 0,3...0,5 об/хв.

Всередині барабана 1 (рисунок 4) приварені по гвинтовій лінії витки 2 (одно- або двозахідні), які в центральній частині мають прямокутний виріз 3.

У прямокутний отвір встановлюється діаметральна перегородка 4. Центральна частина цієї перегородки суцільна. На ній з обох боків з нахилом у різні боки під нахилом закріплені пересипні лотки 5, які з'єднують сусідні секції.

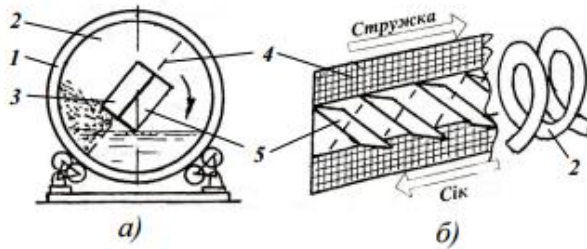


Рисунок 4 – Будова барабана ротаційної установки

а) - поперечний переріз; б) - деталі внутрішньої будови; 1 - барабан; 2 - витки; 3 - виріз; 4 - перегородка; 5 - лотки

По краях перегородка має решітки. Перегородка і решітки по довжині барабана розташовані не в одній площині. У кожному наступному витку вони зміщені на  $6^\circ$ . Це сприяє плавності обертання барабана. Перегородка з решітками ділить барабан 1 на дві зони, в яких стружка перемішується двома окремими потоками.

При обертанні барабана стружка радіальною перегородкою з решітками піднімається, сповзає на пересипні лотки 5 і по них потрапляє в наступну секцію. Зробивши стільки обертів, скільки є в барабані секцій, обезцукрена стружка (жом) вивантажується, а сік, пройшовши цей же шлях у протилежному напрямку, фільтрується через кругове сито і потрапляє в збірник циркуляційного соку.

Через колектор, по якому в барабан підводиться вода, може також подаватися пара для підтримання належного теплового режиму, формалін для подавлення дії мікроорганізмів. У корпусі барабана є оглядові вікна, люки. Встановлені термометри та пробні крани для відбору проб соку та стружки для аналізу. Для зменшення втрат тепла барабан та передошпарювач покриті шаром теплоізоляційного матеріалу.

Ротаційний апарат працює при неповному його заповненні (коефіцієнт заповнення 0,25...0,4) та при вільному доступі повітря. Найбільш поширені типи ротаційних апаратів мають барабани діаметром 5 м при довжині 25 м.

До недоліків ротаційних дифузійних апаратів відносять значне подрібнення стружки, піноутворення, корозію внутрішніх частин, розвиток мікроорганізмів, низьку продуктивність при значних габаритах.

На вітчизняних цукрових заводах найчастіше використовують два типи шнекових похилих дифузійних апаратів: ПДС і ДДС.

Апаратно-технологічна схема виділення дифузійного соку з використанням шнекового апарата типу ПДС показана на рисунку 5.

За цією схемою бурякова стружка стрічковим транспортером, оснащеним автоматичними вагами 9 подається з бурякорізок в завантажувальний бункер 11. З резервуару 4 в корпус 5 подається очищена жомпресова вода, а з резервуару 3 – сульфитовані аміачні конденсати. Жом відводиться з апарата вивантажувачем 2 і транспортером 1.

Апарат можна умовно поділити на шість робочих секцій, які обладнані паровими камерами 8, розділеними, в свою чергу, на чотири зони нагрівання.

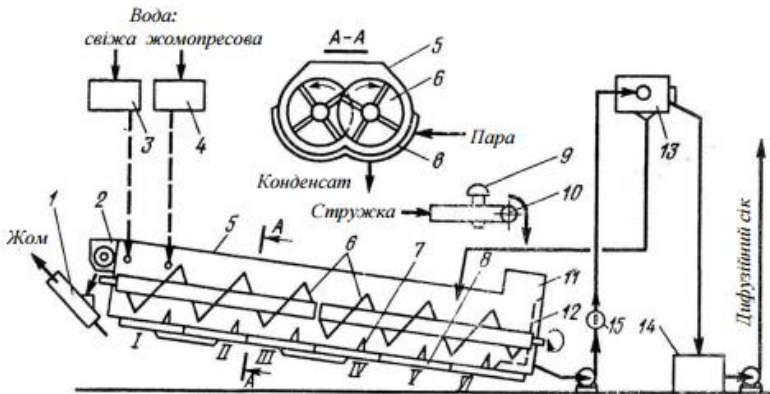


Рисунок 5 – Схема виділення цукрового соку в апараті типу ПДС

1 - транспортер; 2 - вивантажувач; 3, 4 - резервуари води; 5 - корпус; 6 - шнек; 7 - контролапа; 8 - парова камера; 9 - ваги; 10 - транспортер; 11 - завантажувальний бункер; 12 - ситова камера; 13 - уловлювач мезги; 14 - збірник соку; 15 - лічильник.

Першу зону нагрівання утворюють камери VI секції, другу – камера V секції, третю – камери IV і III секцій, з'єднані послідовно, четверту камери II і I секцій також з'єднані послідовно.

Для обігріву використовують вторинну насичену пару тиском 0,03...0,07 МПа. Конденсат відводиться через конденсатовідвідники.

Для покращення перемішування і транспортування стружки по поперечному перерізу корпуса встановлюють трубчасті контролапати 7, до

яких підведена насичена пара. В місцях установки контрлопатеї розрив між лопатями шнеків складає 160 мм.

При відбиранні дифузійного соку насосом з ситової камери 12 в ній часто утворюється вакуум, особливо при забиванні сита мезгою і тому з верхньої точки ситової камери в завантажувальний бункер виводять повітряну вентиляцію в вигляді зігнутої труби. До переваг вітчизняних та зарубіжних похилих дифузійних апаратів відносять простоту конструкції, малу металоємність, велике питоме навантаження по об'єму.

Недоліки полягають у інтенсивному перемішуванні і подрібненні стружки, чутливість апарата до якості стружки.

На рисунку 6 показана конструкція похилого двохшнекового апарата А1-ПДС-60. Він має корпус 3, встановлений на опорах 13 під кутом 8...11° до горизонту.

Корпус апарата представляє собою зварну коритоподібну металоконструкцію, яка утворена двома циліндричними поверхнями, що перетинаються. На нижньому кінці корпусу знаходиться камера 17 для дифузійного соку і бункер для завантаження бурякової стружки, на верхньому шнеки 8 для видалення жому з апарата. Кращому видаленню жому сприяють також лопаті 11.

В порожнині корпусу розташовані паралельні лопатеві вали 5 (шнеки), які роз'єднані в середній (по довжині) частині апарата. Одним кінцем вони вставлені в проміжну опору 7 (підшипник ковзання), а зовнішні кінці обертаються в підшипниках кочення на торцях корита. В торцевих стінках вони оснащені ущільненнями 10. Привод двох лівих валів здійснюється від здвоєних електродвигунів постійного струму 1, а правих – від електродвигунів 9.

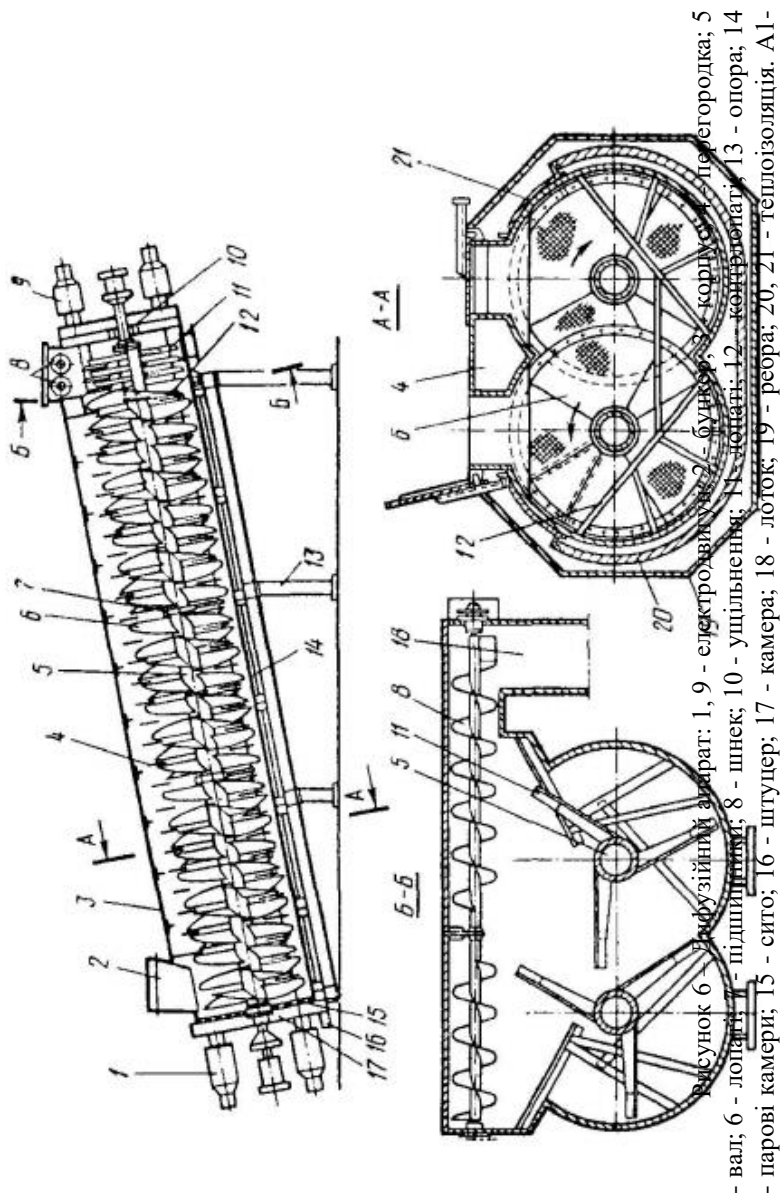
Витки валів складаються з окремих перфорованих тьохзаходних лопатей, розташованих по гвинтовій лінії.

Вали паралельні один одному, і лопаті одного валу заходять в міжлопатевий простір іншого. Це не дає можливості обертання бурякової стружки разом з лопатями і сприяє більш рівномірному переміщенню стружки по довжині апарата. Для цієї ж мети встановлені контрлопаті 12 і перегородки 4 на нижній частині кришок.

Видаляють жом з апарата у верхній його частині шнеками 8 в лоток 18. Шнеки змонтовані під прямим кутом до транспортуючих шнеків і обертаються в протилежних напрямках по відношенню один до одного.

Маса суміші соку і стружки в апараті підігрівається за допомогою парових камер 14, встановлених по усій довжині в нижній частині корпусу апарата.

Для зменшення втрат теплоти корпус апарата покритий теплоізоляцією 20 і 21. Для збільшення жорсткості корпус має ребра 19.



Робота усіх восьми електродвигунів (по два на чотири вала) синхронізована. Частота обертання двигунів безступінчасто регулюється реостатними пристроями. Для запобігання не узгодженому обертанню шнеків на машині встановлюється блокувальний пристрій, який забезпечує негайну зупинку приводів при розходженні в обертанні валів. Максимальна частота обертання шнеків досягає 1,1 об/хв., оптимальна частота обертання 0,6...0,7 об/хв.

Стружка з приймального бункера переміщується шнеками уздовж апарату до лопатей, які передають її у вигляді жому на шнеки. Екстрагуюча рідина барометрична (свіжа, сульфитована), і жомпресома та інша вода надходить в кінцеву частину апарата, рухаючись протітеційно відносно стружки, насичується цукром і у вигляді дифузійного соку через сито 15 накопичується в соковій камері 17 і через штуцер 16 видаляється з апарата.

Апарати типу ДДС відрізняються від апаратів ПДС конструкцією транспортуючих шнеків (рисунок 7), пристроєм для видалення жому і кутом нахилу корпусу (8,8°).

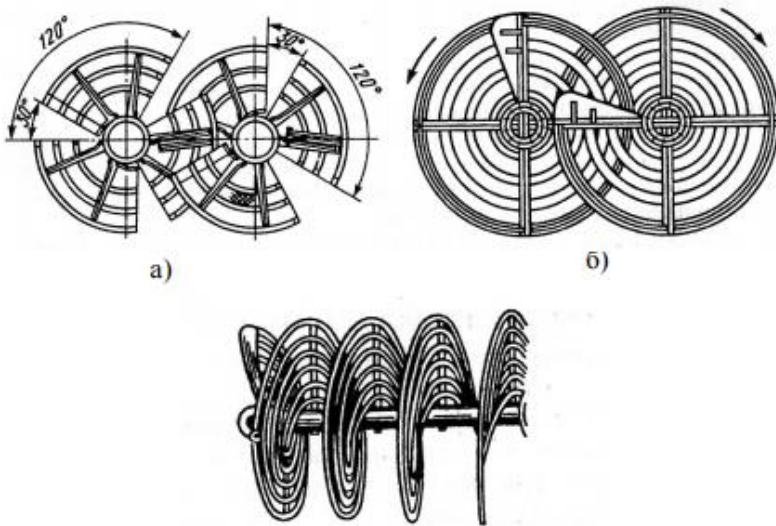


Рисунок 7 – Витки шнеків дифузійних апаратів: а) ПДС; б) ДДС

Лопаті розташовані по гвинтовій лінії, по три на кожному кроці; кожна лопать виготовляється з перфорованого матеріалу товщиною 6...8 мм і прикріплюється до дуг і стійок.

Умови транспортування стружки в апараті ДДС дещо гірші ніж в ПДС, тому в них переробляється більш коротка стружка і збільшується тривалість активної дифузії.

При підтримуванні в апараті оптимального температурного режиму активний час екстракції повинне складати 83...85 % загальної тривалості перебування стружки в апараті (~65 хвилин).

### Завдання для практичного заняття

*Завдання:* виконати розрахунок дифузійного апарата, якщо задані (таблиця 2):  $D_{ш}$  - зовнішній діаметр шнека, м;  $d$  - діаметр вала шнека, м;  $S$  - крок витків шнека, м;  $q$  - маса стружки на одиницю корисної місткості апарата, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  - частота обертання шнеків, хв<sup>-1</sup>;  $D_K$  - діаметр корпусу апарата, м;  $\tau$  - час активного дифузування, хв;  $L$  - довжина шляху активного дифузування стружки в апараті, м;  $l$  - відстань між осями шнеків, м;  $a$  - маса (відкачка) дифузійного соку, кг.

*Методика розрахунку*

Продуктивність похилого дифузійного апарата, т/добу:

$$\Pi = 24 \cdot 60 \frac{\pi}{4} (D_{ш}^2 - d^2) \cdot \Psi \cdot \eta \cdot S \cdot q \cdot y \cdot n \cdot m \cdot \varepsilon \cdot k_n, \quad (4)$$

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

$d$  - діаметр вала шнека, м;

$\Psi$  - коефіцієнт перекриття витків шнека;

$\eta$  - коефіцієнт збільшення перерізу стружки в апараті;

$S$  - крок витків шнека, м;

$q$  - маса стружки на одиницю корисної місткості апарата, кг/м<sup>3</sup>;

$y$  - коефіцієнт наповнення апарата стружкою ( $y = 0,9...1,0$ );

$n$  - частота обертання шнеків, хв<sup>-1</sup>;

$m$  - кількість одночасно працюючих шнеків ( $m = 2$ );

$\varepsilon$  - експлуатаційний коефіцієнт ( $\varepsilon = 0,9$ );

$k_n$  - коефіцієнт подачі бурякової стружки.

Коефіцієнт перекриття витків шнека:

$$\Psi = 1 - \frac{F}{0,25\pi (D_{ш}^2 - d^2)}, \quad (5)$$

де  $F$  - площа поверхні сегменту перекриття, м<sup>2</sup> (див. рисунок 8).

В загальному виді площа сегмента визначається з виразу:

$$F = 0,5[r \cdot l_d - c \cdot (r - h)],$$

де  $r$  - радіус кола;

$l_d$  - довжина дуги;

$c$  - довжина хорди сегмента;

$h$  - висота сегмента.

Адаптуючи формулу визначення площі сегмента до конкретних умов і приймаючи з конструкції дифузійного апарата радіус шнека  $R_{ш} = 0,5D_{ш}$  та відстань між осями шнеків  $l$ , визначаємо площу  $F$  за наступним виразом:

$$F = 0,5[R_{ш} \cdot l_0 - c \cdot (R_{ш} - h)] , \quad (6)$$

де  $c = 2\sqrt{R_{ш}^2 - 0,25 \cdot l^2}$  ;  $h = R_{ш} - 0,5 \cdot l$  ;  $l_0 = \pi \cdot R_{ш} \cdot \alpha^\circ / 180^\circ$

$\alpha^\circ$  - центральний кут сегмента, град

$$\alpha^\circ = 2 \arccos(l/D_{ш}) \quad (7)$$

При переміщенні бурякової стружки шнеками уздовж апарата вона заповнює проміжки між корпусом і кромкою шнека упродовж дуги  $ABC$ , тобто загальний переріз стружки більший за переріз шнеків, що враховується коефіцієнтом  $\eta$ .

$$\eta = 0,5(1 + D_k^2/D_{ш}^2) \quad (8)$$

де  $D_k$  - діаметр корпусу апарата, м.

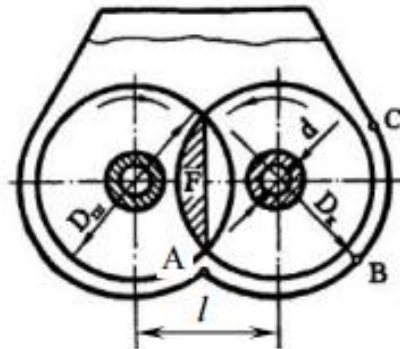


Рисунок 8 – Перетин апарата

Для нормальної роботи апарата стружка повинна знаходитися трохи вище за верхню кромку витків шнеків, тоді коефіцієнт подачі бурякової стружки:

$$k_n = \frac{2\pi \cdot L}{S \cdot \omega \cdot \tau} , \quad (9)$$

де  $L$  - довжина шляху активного дифузування стружки в апараті, м;

$S$  - крок шнеків апарата, м;

$\omega$  - кутова швидкість обертання шнека, рад/с ( $\omega = \pi \cdot n/30$ );

$\tau$  - час активного дифузування, с.

Для визначення витрат теплоти і пари на дифузійний апарат складають тепловий баланс: кількість теплоти, яка надходить в апарат, при сталому

режимі його роботи повинна дорівнювати кількості теплоти, що виходить з апарата.

Тепловий баланс похилого дифузійного апарата:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{en} = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{внс} \quad (10)$$

де  $Q_1$  - теплота бурякової стружки, кДж;

$Q_2$  - теплота барометричної води, кДж;

$Q_3$  - теплота жомопресової води, кДж;

$Q_{en}$  - теплота пари, що обігріває апарат, кДж;

$Q_4$  - теплота дифузійного соку, кДж;

$Q_5$  - теплота бурякового жому, кДж;

$Q_6$  - теплота конденсату, що виходить з апарату, кДж;

$Q_{внс}$  - втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж.

Теплота бурякової стружки, кДж:

$$Q_1 = G_{cm} \cdot c_{cm} \cdot t_{cm}, \quad (11)$$

де  $G_{cm}$  - маса бурякової стружки, кг ( $G_{cm} = 100$  кг);

$c_{cm}$  - питома теплоємність стружки,  $c_{cm} = 3,77$  кДж/(кг·К);

$t_{cm}$  - температура стружки, °С ( $t_{cm} = 5 \dots 7^\circ\text{C}$ );

Теплота барометричної води, кДж:

$$Q_2 = W_b \cdot c_b \cdot t_b, \quad (12)$$

де  $W_b$  - маса барометричної води, кг,  $W_b = 60$  кг;

$c_b$  - питома теплоємність барометричної води,  $c_b = 4,19$  кДж/(кг·К);

$t_b$  - температура барометричної води, °С;  $t_b = 40^\circ\text{C}$ ;

Теплота жомопресової води, кДж:

$$Q_3 = W_{ж.в.} \cdot c_{ж.в.} \cdot t_{ж.в.}, \quad (13)$$

де  $W_{ж.в.}$  - маса жомопресової води, кг,  $W_{ж.в.} = 50$  кг;

$c_{ж.в.}$  - питома теплоємність жомопресової води, кДж/(кг·К);  $c_{ж.в.} = 4,19$  кДж/(кг·К);

$t_{ж.в.}$  - температура жомопресової води °С ( $t_{ж.в.} = 75^\circ\text{C}$ ).

Теплота дифузійного соку, кДж:

$$Q_4 = a \cdot c_c \cdot t_c, \quad (14)$$

де  $a$  - маса (відкачка) дифузійного соку, кг;

$c_c$  - питома теплоємність соку,  $c_c = 3,77$  кДж/(кг·К);

$t_c$  - температура дифузійного соку °С;  $t_c = 30^\circ\text{C}$ ;

Теплота бурякового жому, кДж:

$$Q_5 = G_{ж.} \cdot c_{ж.} \cdot t_{ж.} \quad (15)$$

де  $G_{ж.}$  - маса бурякового жому, кг,  $G_{ж.} = (0,7 \dots 0,75) \cdot G_{cm}$ ;

$c_{ж.}$  - питома теплоємність жому,  $c_{ж.} = 4,19$  кДж/(кг·К);

$t_{ж.}$  - температура бурякового жому °С, ( $t_{ж.} = 75^\circ\text{C}$ );

Використовуючи рівняння теплового балансу визначимо масу гріночої пари на обробку 100 кг бурякової стружки:

$$D = \frac{Q_4 + Q_5 - Q_1 - Q_2 - Q_3}{0,9 \cdot i - c_k \cdot \theta}, \quad (16)$$

де  $i$  - ентальпія пари, кДж/кг ( $i = 2679,5$  кДж/кг);  
 $c_k$  - питома теплоємність конденсату, кДж/(кг·К),  $c_k = 4,19$  кДж/(кг·К);  
 $\theta$  - температура конденсату, °С, ( $\theta = 98...100^\circ\text{C}$ );

Теплота гріючої пари, кДж:

$$Q_{гп} = D \cdot i. \quad (17)$$

Теплота конденсату, що виходить з апарата, кДж:

$$Q_6 = D_k \cdot c_k \cdot \theta \quad (18)$$

де  $D_k$  - маса конденсату, кг; ( $D_k = D$ ).

Втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж:

$$Q_{втс} = 0,1 \cdot Q_{гп} = 0,1 \cdot D \cdot i. \quad (19)$$

Витрата гріючої пари, т/добу,

$$D_{доб} = D \cdot \Pi / 100. \quad (20)$$

### Завдання для звіту

1. Описати суть і призначення процесу дифузії.
2. Описати класифікацію дифузійних апаратів.
3. Описати колонну дифузійну установку і апарат типу ПДС та замалювати їх схеми.
4. Виконати розрахунок похилого дифузійного апарату.

### Контрольні питання

1. Розказати суть процесу дифузії.
2. Як класифікують дифузійні апарати?
3. Будова і принцип роботи ротаційної дифузійної установки типу РДА.
4. Будова і принцип роботи похилого дифузійного апарата.

Таблиця 2 – Варіанти індивідуальних завдань до розрахунку

№	$D_{ш}$ , м	$d$ , м	$S$ , м	$q$ , кг/м <sup>3</sup>	$n$ , хв <sup>-1</sup>	$D_k$ , м	$\tau$ , хв.	$L$ , м	$l$ , м	$a$ , кг
1	4,0	1,0	0,72	580	1,0	4,5	60	34,5	2,8	125
2	4,2	0,9	0,73	600	1,1	4,6	61	34,0	2,7	124
3	4,4	0,95	0,75	620	1,2	4,8	62	33,5	2,8	126
4	4,5	1,0	0,70	640	1,0	4,8	63	32,0	2,9	127
5	4,6	1,1	0,72	650	0,9	4,9	64	34,5	3,0	125
6	3,9	0,85	0,70	600	0,8	4,4	60	34,0	2,6	124
7	3,8	0,8	0,72	580	1,0	4,2	65	33,0	2,5	127
8	3,7	0,75	0,75	620	1,0	4,0	67	32,0	2,4	126
9	2,4	0,25	0,97	580	0,4	2,9	60	27,0	1,55	120
10	2,5	0,26	0,95	590	0,5	3,0	65	28,0	1,6	121
11	2,6	0,27	0,93	600	0,6	3,1	70	29,0	1,65	122
12	2,7	0,3	0,90	590	0,7	3,3	75	27,0	1,55	125
13	2,4	0,28	0,97	600	0,8	2,9	80	26,0	1,6	120
14	2,5	0,26	0,95	580	0,9	3,0	85	27,0	1,65	121
15	2,7	0,23	0,97	580	1,1	3,3	70	27,0	1,6	125
16	2,6	0,25	0,93	600	1,0	3,1	90	28,0	1,7	122
17	2	0,25	0,90	580	0,3	2,4	60	18,4	1,5	125
18	2,1	0,26	0,85	600	0,4	2,5	65	18,6	1,55	124
19	1,9	0,27	0,90	620	0,5	2,3	70	19,0	1,6	126
20	2	0,3	0,95	640	0,6	2,4	75	18,5	1,65	127
21	2,1	0,28	0,90	650	0,7	2,5	80	18,0	1,7	125
22	2,2	0,26	0,85	600	0,8	2,7	85	18,4	1,65	124
23	2	0,25	0,90	620	0,9	2,4	90	19,0	1,6	127
24	2,1	0,23	0,85	650	0,6	2,5	85	18,4	1,55	126
25	2	0,25	0,90	580	0,5	2,4	80	19,0	1,5	125

# ПРАКТИЧНА РОБОТА 10

## БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ПРОМИСЛОВИХ ПЕЧЕЙ

*Мета роботи:* Ознайомитися з конструкціями, роботою, застосуванням і розрахунком промислових печей.

### 1 Загальні відомості

Випікання виробів є складним комплексом процесів, що складаються із теплофізичних, мікробіологічних, колоїдних і біохімічних змін, що протікають у тісті під час його гігротермічного оброблення.

Сучасні промислові печі є складними агрегатами, що складаються з теплових, механічних, автоматичних та інших пристроїв. Незважаючи на різноманітність конструкцій та їх складність, можна виділити загальні для всіх основні елементи пічного агрегату:

- пекарна камера;
- генератор тепла
- теплообмінні пристрої;
- транспортувальні пристрої;
- каркас і огороження;
- допоміжні пристрої.

За типом пекарної камери печі діляться на:

- тупикові, в яких посадка тістових заготовок відбувається з одного кінця, а вивантаження готової продукції – з другого;
- тунельні, посадка тістових заготовок відбувається з однієї сторони, а вивантаження готових виробів з протилежної. В пекарній камері тунельної печі дві вітки пластинчастої або сітчастої конвеєрної черени: верхня – робоча, нижня – холоста вітка;
- прохідні, тістових заготовок і вивантаження готових виробів відбувається з протилежних сторін – так, як і для тунельної печі. В пекарній камері таких агрегатів розміщується непарне число робочих віток колисково-череневого конвеєра: три, п'ять, деколи сім.

На великих підприємства виробництва хлібобулочних виробів поширені тунельні печі.

Наскрізьні тунельні печі мають велику продуктивність з автоматичним регулюванням теплового режиму і використовуються головним чином на великих хлібокомбінатах. В основному використовуються тунельні печі з рециркуляційним обігрівом. Такі печі придатні для випікання виробів широкого асортименту. Задовольняють сучасні вимоги виробництва, дозволяють організувати механізовані завантаження і вивантаження, позонне регулювання верхнього і нижнього обігрівання заготовок, що випікаються. Крім відомих переваг, які забезпечують поточне механізоване виробництво,

ці печі мають чимало суттєвих недоліків: великі витрати металу, в 2...4 рази більша порівняно з тупиковими печами потреба у виробничих площах, висока ціна 4 виготовлення тощо. У тунельних печах використовується рециркуляційна схема обігрівання (рис. 1).

Паливо (газоподібне або рідке) подається в форсунку 5, змішується з повітрям і згорає в циліндричній топці 6. Із зовнішнього боку топковий циліндр охолоджується відпрацьованими газами, які потім надходять в камеру змішування 7, де й змішуються з гострими газами, що виводять з топки. Температура газів в камері змішування 500...550°C. Розподільними каналами 8 вони надходять у нагрівальні канали 2, розташовані згори та знизу тунельної пекарної камери 1. Відпрацьовані гази забираються рециркуляційним вентилятором 3, частина їх спрямовується знову в систему для розбавлення гострих газів, останні відводяться з системи в димову трубу.

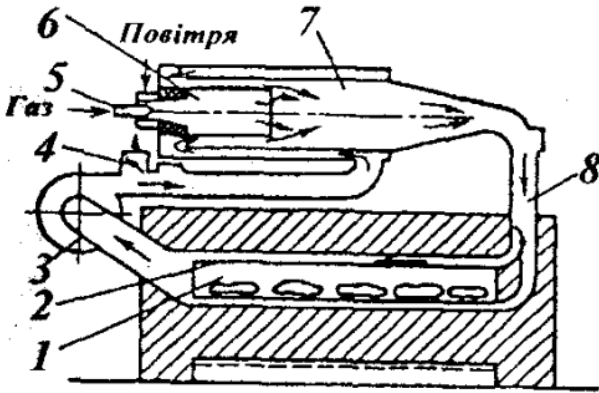


Рисунок 1 – Схема рециркуляційного обігрівання: 1 – пекарна камера; 2 – нагрівальні канали; 3 – рециркуляційний вентилятор; 4 – димова труба; 5 – пальники; 6 – топка; 7 – змішувальна камера; 8 – розподільний канал.

Вдалим представником таких печей є тунельна піч ПХС-25М (рис. 2) з каналним рециркуляційним обігрівом.

Вона складається з пекарної камери, верхнього 2 і нижнього 3 металевих каналів для обігріву камери, двох топків 4 з змішувальними камерами і інжекційними газовими пальниками, стрічкової черені 5 із сталевій спіральній-стрижневої сітки, приводного 9 і натяжного 6 барабанів. Останній обладнаний пристроєм для коригування положення сітчастої стрічки шляхом зміни ступеня натягу її правої або лівої половини. Крім того, конвеєр має сигналізатор, який включається, коли порушуються встановлені зазори між краями сітчастої стрічки і бічними стінками пекарної камери.

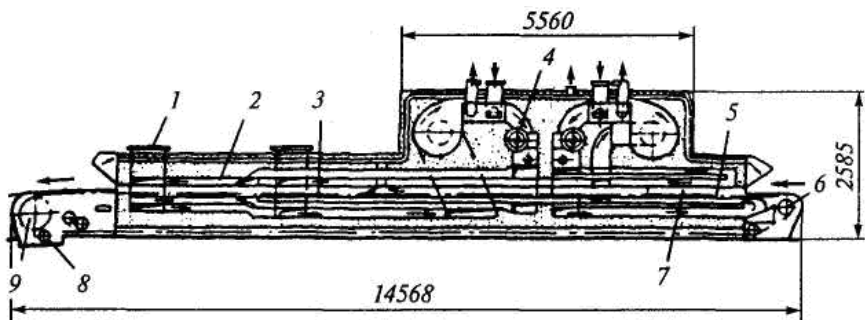


Рисунок 2 – Піч ПХС-25М; 1 – витяжний канал; 2, 3 – верхній і нижній обігрівальні канали; 4 – топка; 5 – стрічкова черінь; 6 – натяжний барабан; 7 – фартук; 8 – щітка; 9 – привідний барабан.

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

Огорожа печі каркасного типу виконана зі сталевих щитів з ізоляцією із мінеральної вати. Всього в печі дев'ять внутрішніх секцій. Для огляду конвеєра і спостереження за випічкою в бічних стінах печі є оглядові люки, а для контролю температури середовища пекарної камери передбачені три термометри манометричного типу. Над посадочним і вивантажувальним отворами розташовані зонти, що приєднуються до витяжних труб.

У зоні посадки пекарної камери змонтовано зволожувальний пристрій, що складається з ряду перфорованих трубок, водовідділювача, вентилів і манометра та під'єднаний до заводської парової системи. Для зменшення вентиляції пекарної камери всередині неї передбачені два поворотних фартуха 7. Для видалення зайвої вологи пекарна камера з'єднана двома витяжними отворами і каналами з вентиляційною системою підприємства.

Конвеєр печі приводиться в рух від електродвигуна через дві клинопасові передачі, ланцюгової варіатор, комбінований редуктор і зубчасту передачу. У конструкції приводного механізму передбачений ручний привід. Наявність варіатора дозволяє регулювати тривалість випічки в межах 12...72 хв.

Піч обладнана двома обігрівальними системами, одна з яких обслуговує зону випічки (права), а друга – зону дорікання (ліва). Топки печі пристосовані для спалювання газоподібного і рідкого палива.

Піч ПХС-40 за конструкцією відрізняється від печі ПХС-25М тільки кількістю секцій; у ній замість 9 їх передбачено 13, тобто піч подовжується на 7500 мм, а площа черені збільшується на 15 м<sup>2</sup>. Обігрів пекарної камери в

печі ПХС- 40 також виробляється двома системами, тільки з потужнішими димососами і продуктивнішими газовими пальниками.

Печі БН-25 і БН-50 мають сітчастий конвеєрну черінь шириною 2100 мм. Система обігрівання рециркуляційна канална з одним пальником у циркуляційному контурі.

Піч БН-25 (рис. 3) складається з тунельної пекарної камери 8 висотою 200 і шириною 2200 мм. Верхня і нижня стінки пекарної камери є теплопередаючими стінками верхнього 10 і нижнього 12 нагрівальних каналів. По нижній стінці каналу проходить робоча гілка конвеєра 4, яка служить череню печі, а холоста гілка конвеєра 1 проходить під піччю. Привідний барабан 3 розташований на розвантажувальній частині печі. Біля нього розміщений автоматичний важільвантажний натяжний пристрій 5. Натяжний барабан конвеєра 24 розташований у посадочній частині печі. Циліндрична щітка 2 служить для очищення конвеєра.

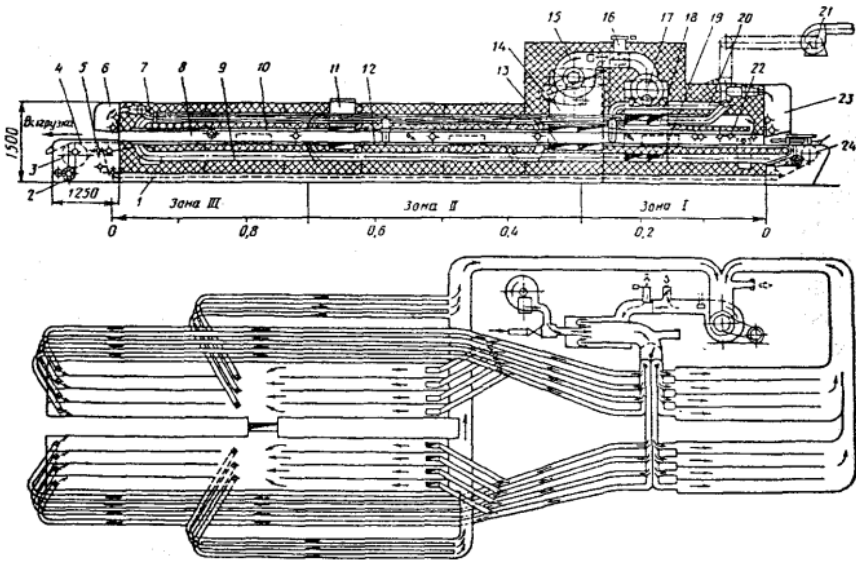


Рисунок 3 – Тунельна піч БН-25 і схема її обігрівання: 1 – холоста гілка конвеєра; 2 – щітка; 3 – привідний барабан; 4 – робоча гілка конвеєра; 5 – натяжний пристрій; 6; 23 – витяжний зонт; 7; 9; 20 – труба; 8 – пекарна камера; 10; 12 – нагрівальні канали; 11 – патрубок; 13; 18; 19 – короби; 14 – канал; 15; 21 – вентилятор; 16 – димар; 17 – топка; 22 – парозвожувальний пристрій; 24 – натяжний барабан.

Циліндрична топка 17 печі закінчується змішувальною камерою, яка з'єднана з боковим каналом і коробами 18 і 19, в яких з допомогою шибєрів газу розподіляються по 7 ширині пекарної камери в паралельних каналах і трубах 9. Відпрацьовані газу збираються в короби 13, з'єднані з боковим збірним каналом 14. Останній з'єднаний з всмоктувальним патрубком рециркуляційного вентилятора 15. Відпрацьовані димові газу частково повертаються в камеру змішування на рециркуляцію, а залишки викидаються в димову трубу 16. Система каналів оснащена вибуховими патрубками 11 з клапанами.

Парозволожувальний пристрій 22 являє собою шість перфорованих горизонтальних труб, закритих ковпаком. Виведення випарів з печі проводиться примусово з допомогою вентилятора 21 і системи труб 7 і 20, з'єднаних з витяжними зонтами 6 і 23 і пекарною камерою печі.

Керування тепловим режимом печі здійснюється автоматично за допомогою двохпозиційного регулятора температури гріючих газів в місці виходу з камери змішування.

Печі БН-50 складаються з аналогічних елементів, але мають дві автономні топки.

Печі РЗ-ХПУ- 25 і РЗ-ХПУ- 50 мають площу черені відповідно 25 і 50 м<sup>2</sup>. На цих печах можна випікати широкий асортимент хлібобулочних виробів: череневі і формові з житнього, житньопшеничного борошна.

Печі РЗ-ХПУ (рис. 4) мають тунельну металеву конструкцію каркаснозасипного типу з сітчастим подом, закріпленим на тягових ланцюгах, і рециркуляційним каналним обігрівом пекарної камери.

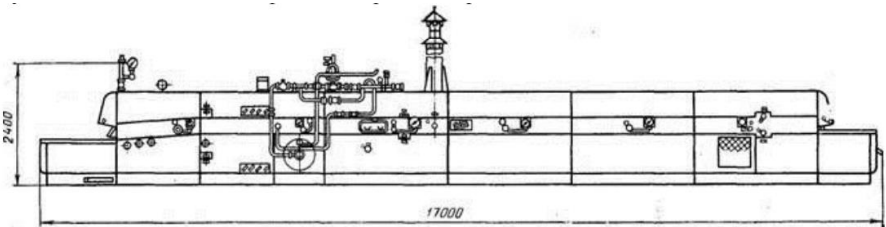


Рисунок 4 – Загальний вигляд хлібопекарської печі РЗ-ХПУ- 25

Пекарна камера складається з окремих секцій шириною 2,5 м і завдовжки, відповідній ширині печі. Оскільки паливний пристрій розташований під пекарною камерою, висота печі складає 1800 мм, що дозволяє встановлювати її разом з розстійною шафою в невисоких приміщеннях.

Для зменшення упечення остання зона печі РЗ-ХПУ не обігривається. Принципова відмінність печей РЗ-ХПУ полягає в спрощеній системі обігріву

і додатковому обігріві початкової зони випічки. У верхній зоні гіротермічної обробки є канал, який можна перекривати, що дозволяє легко підняти температуру до 150°C при випічці гребінкової продукції.

Крім того, в печах РЗ-ХПУ є система автоматичного розпалювання, виходу на робочий режим (продування газоходів) і аварійний захист, що відключають подачу палива до пальників при загасненні факела і зниженні тиску гарячого газу та розрідженні в топці.

### Методика розрахунку хлібопекарської печі

*Розрахунок продуктивності печі.* Продуктивність пічного агрегату  $G_x$ , кг/ч, з люлечно-череневим конвеєром

$$G_x = 60 n_l n_\phi g_x / \tau \quad (1)$$

де  $n_l$  – кількість робочих люльок конвеєра ( $n_l = 36$ );

$n_\phi$  – кількість форм з хлібом на люльці ( $n_\phi = 24$ );

$g_x$  – маса одного буханця хліба, кг;

$\tau$  – тривалість випічки, хв.

Добова продуктивність хлібопекарської печі  $P_{доб}$ , кг/доба

$$P_{доб} = 23 P_e \quad (2)$$

де 23 – час роботи печі в добу, год.

Розрахунок теплового балансу пекарної камери. Рівняння теплового балансу пекарної камери для безперервно працюючої печі має наступний вигляд:

$$q_{n,к} = q_2^{n,к} + q_2^{n,к} + q_3^{n,к} + q_4^{n,к} + q_5^{n,к} + q_6^{n,к} + q_7^{n,к} q_8^{n,к} \quad (3)$$

де  $q_1^{n,к}$  – теоретична витрата теплоти на випічку 1кг хліба (корисна теплота), кДж/кг;

$q_2^{n,к}$  – теплота на перегрів пари, що подається для зволоження середовища пекарної камери і тестових заготовок, кДж/кг;

$q_3^{n,к}$  – витрата теплоти на нагрів вентиляційного повітря, кДж/кг;

$q_4^{n,к}$  – витрата теплоти на нагрів транспортних пристроїв, кДж/кг;

$q_5^{n,к}$  – втрати теплоти в оточуючу середовище через огорожі пекарної камери, кДж/кг;

$q_6^{n,к}$  – втрати теплоти через нижню стінку пекарної камери, кДж/кг;

$q_7^{n,к}$  – втрати теплоти випромінюванням через посадочне вікно пекарної камери в оточуючу середовище, кДж/кг;

$q_8^{n,к}$  – витрата теплоти на акумуляцію, кДж/кг.

Теоретична витрата теплоти на випічку 1кг хліба  $q_1^{n,к}$

$$q_1^{n,к} = W'_{уcn} (i_{n,l} - i_e) + g_k c_k (\bar{t}_k - t_m) + (g_{cm} c_{cm} W_{x,c}) (\bar{t}_k - t_m) \quad (4)$$

де  $W'_{уcn} = 8,1 \%$  – упікання щодо гарячого хліба (тоді масова частка вологи, що випарувалася на 1кг хліби, складе  $w_{уcn} = 0,081$ кг на 1кг гарячого хліба);

$i_{n,n}$  – ентальпія перегрітої пари при температурі  $t'_{nk}$  і атмосферному тиску  $p = 100$  кПа,  $i_{n,k} = 2727$  кДж/кг;

$i_b$  – ентальпія води в тісті при температурі тіста  $t_m$  °С,  $i_b = 125$  кДж/кг;

$g_k$  – зміст кірки в 1кг гарячого виробу,  $g_k = 0,285$  кг/кг;

$c_k$  – питома теплоємність кірки,  $c_k = 1,47$  кДж/(кг·К);

$t_k$  – середня температура кірки °С, приймається рівній середньоарифметичній температур поверхні кірки і шару підкори  $t_k = 120$ °С;

$t_m$  – температура тіста, °С;

$g_{c,m}$  – вміст сухої речовини м'якушки в 1кг хліби, кг/кг;

$$g_{c,m} = 1 - (g_k + W_x) \quad (5)$$

де  $W_x$  – вміст води в 1кг хліби у момент виходу його з пекарної камери, кг води на 1 кг гарячого хліба,  $W_x = 0,45$  кг/кг;

$c_{c,m}$  – питома теплоємність сухої речовини м'якушки хліба,  $c_k = c_{c,m} = 1,47$  кДж/(кг·К);

$c_b$  – питома теплоємність води,  $c_b = 4,187$  кДж/(кг·К);

$t_m$  – середня температура м'якиша гарячого хліба,  $t_m = 98$ °С.

Розрахунок теплоти на перегрів пари, що подається для зволоження середовища пекарної камери і тістових заготовок  $q^{n,k_2}$ ,

$$q_2^{n,k} = (i_{n,n} - i_n) D_n \quad (6)$$

де  $i_n$  – ентальпія насиченої пари при тиску перед парозволоженим пристроєм  $p_1 = 120$  кПа і ступені сухості пари  $x = 0,9$ , за таблицею водяної пари в стані насичення знаходимо  $i' = 439$  кДж/кг;  $i'$  обчислюємо за формулою

$$i_n = i' + x r \quad (7)$$

$i_{nn}$  визначаємо при  $t'_{nk} = 125$ °С і  $p = 100$  кПа,  $i_{nn} = 2727$  кДж/кг;

$D_n$  – масова частка насиченої пари, що поступає в пекарну камеру на 1кг гарячого хліба,  $D_n = 0,09$  кг/кг.

Витрата теплоти на нагрів вентиляційного повітря  $q^{n,k_3}$

$$q_3^{n,k} = (W'_{усп} + D_n) c_p (t'_{n,k} - t_e) / (d'_{n,k} - d_e) \quad (8)$$

де  $c_p$  – масова питома теплоємність повітря,  $c_p = 1,005$  кДж/кг;

$d'_{n,k}$  – вологовміст гарячого вологого повітря в перетині посадочного вікна на виході з пекарної камери, кг на 1кг сухого повітря, при  $\phi'_{nk} = 40\%$  і  $t'_{nk} = 25$ °С  $t'_{nk} = 0,421$  кг/кг;

$d_e$  – вологовміст повітря, при  $\phi = 70\%$  і температурі  $t_e = 25$ °С  $d_e = 0,0142$ кг на 1кг сухого повітря.

Витрата теплоти на нагрів транспортних пристроїв  $q^{n,k_4}$  відсутня, оскільки конвеєр печі не виходить за межі пекарної камери. Втрата теплоти відбуватиметься тільки при охолодженні форм, що виходять з печі

$$q_4^{n,k} = g_{m,\phi} c_m (t''_{\phi} - t'_{\phi}) \quad (9)$$

де  $g_{m,\phi}$  – маса металу форм, що доводиться на 1кг хліба,  $g_{m,\phi} = 0,61$  кг/кг;

$c_m$  – питома теплоємність сталі,  $c_m = 0,462$  кДж/(кг·К);

$t'_{\phi}$  – температура форми при виході з печі,  $t'_{\phi} = 166^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\phi}$  – температура форми при вході в пекарню камеру,  $t_{\phi} = 30^{\circ}\text{C}$ .

Втрати теплоти огорожами пекарної камери  $q_s^{n,k}$

$$q_s^{n,k} = 3,6Q_{o,c} / G_x \quad (10)$$

де  $G_x$  – продуктивність печі, кг/ч;

$Q_{o,c}$  – втрата теплоти огорожами пекарної камери в оточуючу середовище, Вт

$$Q_{o,c} = \alpha_k f_n (t_n - t_e) + C_0 \varepsilon_n f_n \left[ (0,01T_n)^4 - (0,01T_{cm})^4 \right] \quad (11)$$

де  $C_0 = 5,67 \times 10^{-8}$  Вт/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ) – постійна Стефана-Больцмана.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією  $\alpha_k$ , Вт/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ), від поверхні стінок пекарної камери в оточуючу середовище

$$Nu_n = C(GPr)^n \quad (12)$$

При тепловіддачі від вертикальних стінок як визначальний розмір приймається висота  $h_l$  бічних стінок (рис. 3).

Температура середовища  $t_e$  є визначаючою. Середня температура поверхні огорож  $t_n = 40^{\circ}\text{C}$ . Середня температура стін приміщення  $t_{cm}$  приймається рівній температурі повітря в приміщенні  $t_e$ .

При  $t_e$  для повітря знаходимо наступні теплофізичні характеристики: кінематичну в'язкість  $\nu$ ,  $\text{m}^2/\text{c}$ ; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_l$ , Вт/(м·К); число Прандтля  $Pr$ . Коефіцієнт об'ємного розширення повітря

$$\beta = 1 / (273 + t_e) \quad (13)$$

Число Грасгофа

$$Gr = g\beta\Delta t h^3 / \nu^2 \quad (14)$$

Обчислимо твір

$$Gr Pr \quad (15)$$

При  $GrPr > 10^9$  (турбулентний режим)

$$Nu = 0,15 (Gr Pr)^{0,33} \quad (16)$$

Звідси коефіцієнт тепловіддачі конвекцією  $\alpha_k$ , Вт/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$$\alpha_k = Nu \lambda_l / h \quad (17)$$

Для горизонтальної поверхні огорожі печі

$$\alpha_{zop} = 1,3\alpha \quad (18)$$

Площа вертикальних поверхонь огорожі,  $\text{m}^2$ , складає (рис. 3):  $h_1 = 2,7\text{м}$ ;  $h_2 = 1,8\text{м}$ ;  $l_1 = 7,76\text{м}$ ;  $l_2 = 5,26\text{м}$ ;  $l_3 = 2,5\text{м}$ ;  $b_1 = 3,05\text{м}$

$$F_{\phi} = F_1 + F_2 + 2F_3 \quad (19)$$

де  $F_1$  – площа передньої вертикальної огорожі пекарної камери,  $\text{m}^2$

$$F_1 = h_1 b_1 \quad (20)$$

$F_2$  – площа задньої вертикальної огорожі пекарної камери, м<sup>2</sup>

$$F_2 = h_2 b_1 \quad (21)$$

$F_3$  – площа вертикальної огорожі бічної стінки пекарної камери, м<sup>2</sup>

$$F_3 = h_1 l_3 h_2 l_2. \quad (22)$$

Площа верхньої горизонтальної огорожі пекарної камери, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{зop}} = l_1 b_1 \quad (23)$$

Втрата теплоти пекарної камери вертикальними поверхнями, Вт

$$Q_{o.c.s} = \alpha_k f_n (t_n - t_e) + C_0 \varepsilon_n f_n \left[ (0,0IT_n)^4 - (0,0IT_{cm})^4 \right]. \quad (24)$$

Втрата теплоти пекарної камери верхньою горизонтальною поверхнею огорожі, Вт

$$Q_{o.c.z} = \alpha_k f_n (t_n - t_e) + C_0 \varepsilon_n f_n \left[ (0,0IT_n)^4 - (0,0IT_{cm})^4 \right]. \quad (25)$$

Загальна втрата теплоти огорожами  $Q_{o.c}$ , Вт

$$Q_{o.c} = Q_{o.c.s} + Q_{o.c.z}. \quad (26)$$

Визначаємо втрату теплоти через нижню стінку пекарної камери. Проводимо розрахунок ділянки стінки завдовжки  $l_4 = 4,41$  м (рис. 3), в якому відсутні газоходи і інші тепловиділяючі пристрої

$$q_6^{n,k} = 3,6 Q_{n.c} / G_x \quad (27)$$

$$Q_{n.c} = (\lambda_2 / \delta) f_{n.c} (t_{cm} - t_{\text{нол}}) \quad (28)$$

де  $Q_{n.c}$  – втрата теплоти пекарної камери через нижню стінку печі, Вт;

$\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу (шлакова вата),  $\lambda_2 = 0,086$  Вт/(м·К);

$\delta$  – товщина стінки, м;

$f_{n.c}$  – площа поверхні нижньої стінки, м<sup>2</sup>, через яку втрачається теплота пекарної камери

$$f_{n.c} = l_4 b_1 \quad (29)$$

де  $t_{cm}$  – температура стінки з боку передньої камери, приймаємо рівній температурі середовища в нижній зоні печі,  $t_{cm} = 175^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{нол}}$  – температура підлоги,  $t_{\text{нол}} = 20^\circ\text{C}$ .

Знаходимо втрати теплоти випромінюванням через посадочне вікно печі розмірами  $h_3 = 0,23$  м,  $b_2 = 2,3$  м (рис. 3).

Площа вікна  $f$ , м<sup>2</sup>

$$f = h_3 b_2 \quad (30)$$

Тепловий потік через вікно можна визначити за формулою

$$Q = C_0 \varepsilon f_\varphi \left[ (0,0IT_{cm})^4 - (0,0IT_{cm})^4 \right] \quad (31)$$

де  $\varepsilon = 1$  - коефіцієнт теплового випромінювання отвору,  $\varphi$  - кутовий коефіцієнт (рис. 4);  
 $T_{н.к}$  - середня температура пекарної камери, К,

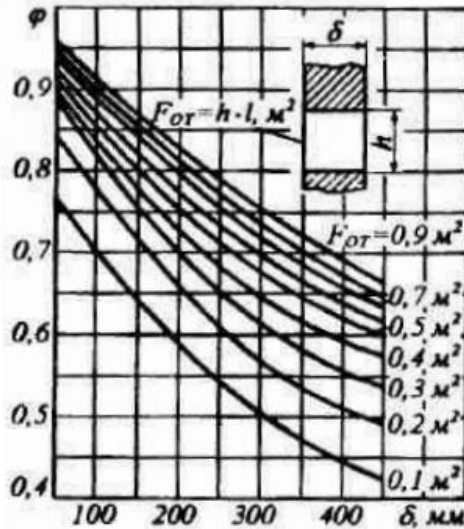


Рисунок 4 – Номограма для визначення кутового коефіцієнта випромінювання для посадочного і розвантажувального вікон пекарної камери

$$t_{н.к} = (t_{н.к.1} + t_{н.к.2}) / 2 \tag{32}$$

$T_{ст}$  - температура стін в пічному залі, приймається рівній температурі повітря  $t_{в}$ , °С.

Пекти розраховується для безперервної роботи і при сталому тепловому режимі, тому  $q^{н.к.г} = 0$ .

Тепловий потік від системи обігріву в пекарню камеру, Вт

$$Q_{н.к} = q_{н.к} G_x / 3,6. \tag{33}$$

Технологічний КПД пекарної камери, %

$$\eta_{н.к} = (q_1^{н.к} / q_{н.к}) 100. \tag{34}$$

### Завдання для звіту

1. Описати класифікацію промислових печей.
2. Описати конструкції промислових печей.
3. Замалювати схему тунельної промислової печі.
4. Виконати розрахунок промислової печі.

## Контрольні питання

1. Надайте класифікацію хлібопекарських печей.
2. Де застосовуються і які бувають види тупикових печей?
3. Які складові частини і порядок роботи тунельних тупикових печей?
4. Опишіть будову тунельної печі БН-25 і надайте схему її обігрівання.
5. Які основні вимоги до хлібопекарських печей?

Таблиця 1 – Варіанти індивідуальних завдань до розрахунку

Номер варіанту	$g_k$ , кг	$\tau$ , мин	$W'_{исп}$ , %	$t_m$ , °C	$t_{\phi}$ , °C	$t_{п.к.}$ , °C	$\delta$ , м	$t_6$ , °C
1	0,6	48	8,1	23	164	121	0,83	19
2	0,5	45	8,0	24	163	122	0,84	20
3	0,3	44	7,9	25	162	123	0,85	21
4	1,0	53	7,8	26	161	124	0,86	22
5	0,8	51	7,7	27	160	125	0,87	23
6	0,6	50	7,6	28	159	126	0,88	24
7	0,5	49	7,7	29	158	127	0,89	25
8	0,3	47	7,8	30	157	128	0,90	26
9	1,0	55	7,9	31	159	129	0,91	27
10	0,8	54	8,0	32	160	128	0,91	28
11	0,6	52	8,1	30	161	127	0,92	26
12	0,5	48	8,2	29	162	126	0,93	27
13	0,3	50	8,3	29	163	125	0,94	26
14	1,0	54	7,9	28	164	124	0,83	25
15	0,8	53	8,0	28	165	123	0,84	24
16	0,6	52	8,1	27	166	122	0,85	23
17	0,5	51	8,2	26	167	124	0,86	22
18	0,3	50	7,4	26	168	125	0,87	23
19	1,0	49	7,5	29	169	126	0,88	24
20	0,8	50	7,6	29	170	127	0,89	25
21	0,6	51	7,7	30	171	128	0,90	25
22	0,5	52	7,8	30	168	129	0,91	24
23	0,3	53	7,9	31	167	130	0,91	26
24	1,0	54	8,0	31	166	131	0,92	27
25	0,8	55	8,2	32	165	132	0,93	28

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА 11**

### **БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АВТОКЛАВА**

*Мета роботи:* ознайомитися з класифікацією, принципом дії та устроєм автоклавів для стерилізації, вивчення методики розрахунку і конструювання, виконання розрахунку автоклава.

#### **Теоретичні відомості**

В харчовій галузі для стерилізації продуктів застосовують автоклави періодичної дії двох типів: горизонтальні і вертикальні.

Горизонтальні автоклави поділяють на два види: ротаційні, в яких банки з консервами під час стерилізації обертаються, і статичні, в яких банки не рухаються. Автоклави вертикального типу бувають тільки статичними.

Автоклави горизонтального типу застосовують в консервній промисловості порівняно недавно і вони поступово одержують все більше розповсюдження. Це пояснюється кращими техніко-технологічними показниками їх роботи, що приводить до помітної економії часу і енергії.

Вертикальні автоклави відрізняють по кількості кошиків – емностей для розміщення консервних банок. В вітчизняній промисловості найбільше розповсюдження одержали вертикальні апарати марок АВ-2, АВ-4, Б6-КАВ-2, Б6-КАВ-4. Для проведення стерилізації харчових продуктів найбільш розповсюджені дві конструкції вертикальних автоклавів: двох- і чотирьохкошикові. Відомі також конструкції з одним або з трьома кошиками.

Двохкошиковий автоклав (рис. 1) складається з вертикального циліндричного зварного корпусу 3, кришки 4, кошиків 10, програмного регулятора 9, арматури для підключення до магістралі пари, води, повітря та відводу конденсату.

На корпусі встановлені манометр 8, термометр 7 і датчик програмного регулювання 9. У нижній частині корпусу розташований кільцевий барботер 11 для подавання пари або стисненого повітря і зливний патрубок із стаканом.

Фланці кришки та корпусу притискаються один до одного за допомогою пристрою 2, який складається з п'ятнадцяти секторних захватів, які в свою чергу закріплені на кільці з пружинної листової сталі та важільної системи для стягування та розведення поясного затискача. На кришці передбачені штуцери для запобіжного клапана 5, який спрацьовує при величині тиску більш ніж 0,35 МПа і контрольно-спускового крана 6.

Пара і повітря подаються в нижню частину автоклава; відведення води з нього може проводитися як у верхній частині, так і в нижній, подавання води для охолодження тільки у верхній частині.

Кришка автоклава 4 оснащена важільним пристроєм 1, що зрівноважує її вагу і зменшує зусилля при її відкриванні та закриванні.

Кошик автоклава являє собою сталеву циліндричну перфоровану отворами ємність місткістю близько 500 л. З зовнішньої сторони кошика встановлені пружинні фіксатори для забезпечення гарантованого кільцевого зазору між корпусом і кошиком.

Застосування програмного регулятора 9 дозволяє проводити процес стерилізації в автоматичному режимі.

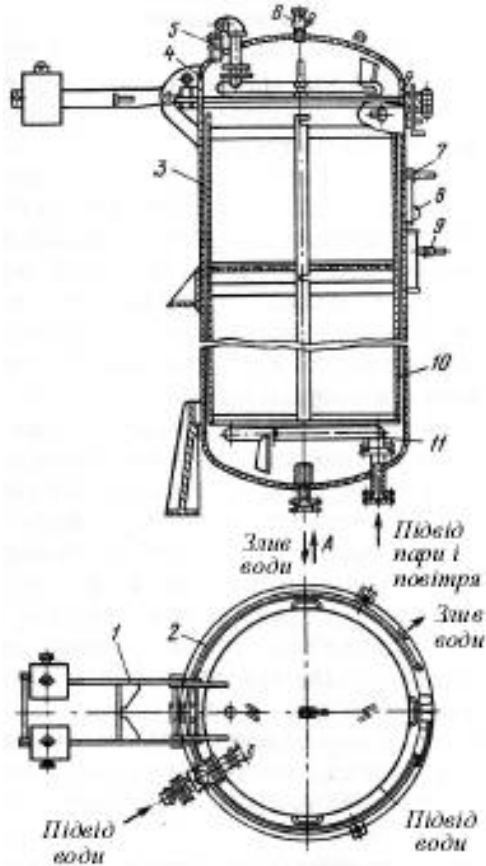


Рисунок 1 – Вертикальний автоклав 1 - зрівноважувальний пристрій; 2 - затискач; 3 - корпус; 4 - кришка; 5 - запобіжний клапан; 6 - контрольно-спусковий кран; 7 - термометр; 8 - манометр; 9 - програмний регулятор; 10 - корзина; 11 - кільцевий барботер

Парова стерилізація продуктів у банках проводиться наступним чином. Наповнені банками кошики встановлюють в автоклав один на другий, закривають герметичну кришку 4, після чого відкривають продувний кран і паровий вентиль через які повітря з порожнини автоклава витісняється паром. При появі пари з продуктового крана його закривають і проводять нагрівання продукту до встановленої температури. Тривалість нагрівання встановлюється заданим режимом стерилізації.

Парова стерилізація продуктів у банках проводиться наступним чином. Наповнені банками кошики встановлюють в автоклав один на другий, закривають герметичну кришку 4, після чого відкривають продувний кран і паровий вентиль через які повітря з порожнини автоклава витісняється паром. При появі пари з продуктового крана його закривають і проводять нагрівання продукту до встановленої температури. Тривалість нагрівання встановлюється заданим режимом стерилізації.

Після закінчення процесу стерилізації паровий вентиль закривають і поступово знижують тиск та температуру, випускаючи при цьому пару через продувний вентиль. Оброблені банки з продуктом проходять стадію охолодження до температури 40-50°C в самому автоклаві або на відкритому повітрі.

Стерилізація продуктів у скляній тарі в воді з водяним протитиском проводиться наступним чином. Після установки кошиків в корпус і його герметизації апарат наповнюють водою, температура якої на 10...15°C вища ніж температура тари з продуктом. Через паровий барботер в автоклав подається пара з поступовим підвищенням температури в ньому до встановлених технологічних режимів. Повітряним компресором створюється та підтримується постійний тиск в системі. Після закінчення стерилізації пара та гаряча вода поступово відводяться з апарату через зливну трубу за рахунок подавання в нього холодної води.

Особливу увагу слід приділяти процесу охолодження тари з продуктом, особливо скляної. Це пов'язане з тим, що при нагріванні в зовнішніх шарах стінок скляної тари виникають стискаючі напруження, в той час як при охолодженні в них виникають напруження розтягу. Встановлено, що найбільш небезпечним з технологічної точки зору є охолодження тари від температури стерилізації до 70°C. У зв'язку з цим при охолодженні температура в автоклаві повинна знижуватись поступово та рівномірно.

Завантаження та розвантаження кошиків автоклава банками проводиться різними способами: ручним, автоматизованим та із застосуванням водяної подушки.

Найбільш широкого використання набув спосіб завантаження із застосуванням водяної подушки. При цьому способі пуста сітка занурюється в резервуар з водою, рівень якої вищий за верхнє кільце сітки. Банки подаються в воду, яка запобігає їх деформації та биттю.

Кошки із заповненими банками витягуються з резервуару та вкладаються в автоклав.

Для розвантаження банок з кошиків після їх стерилізації використовується такий же резервуар, але заповнений розчином, питома вага якого більша за питому вагу банок.

Таблиця 1 – Технічна характеристика вертикальних автоклавів

Показники	Б6-КАВ-2	Б6-КАВ-4
Об'єм автоклава, л	2750	2750
Внутрішній діаметр, мм	1000	1000
Робочий надлишковий тиск в автоклаві, МПа	0,35	0,35
Кількість кошиків	2	4
Конструктивні розміри, мм	1350x2200x2750(3350)*	1350x2200x4200(5000)*
Площа поверхні, м <sup>2</sup>	11,0	16,0
Маса, кг	2370	3534

\*В дужках вказана висота автоклава з відкритою кришкою.

Як видно з таблиці, основною конструктивною відмінністю цих марок автоклавів є висота корпусу.

Горизонтальний автоклав (рис. 2) складається з корпусу 1, який з торцевих сторін має кришки 2, що герметично закриваються за допомогою затискного пристрою 3. В середині корпусу встановлений барботер 4 для пари та змонтована спеціальна колія для переміщення візків з продуктом, що обробляється. Горизонтальні автоклави виготовляють на один, чотири та шість візків і конструктивно вони відрізняються між собою лише довжиною корпусу (табл. 2). Аналогічно вертикальним автоклавом горизонтальні автоклави комплектуються відповідними контрольно-вимірювальними приладами та комунікаціями.

Наявність двох кришок дає можливість завантажувати продукцією апарат з одного боку, а розвантажувати з протилежного, що в свою чергу забезпечує поточність технологічного процесу.

Таблиця 2 – Конструктивні розміри горизонтальних автоклавів

Показники	Горизонтальний автоклав на:		
	один візок	чотири візки	шість візків
Довжина, мм	1863	5140	7278
Ширина, мм	1862	1862	2050
Висота, мм	1917	1917	1917
Маса, кг	2262	3047	4990

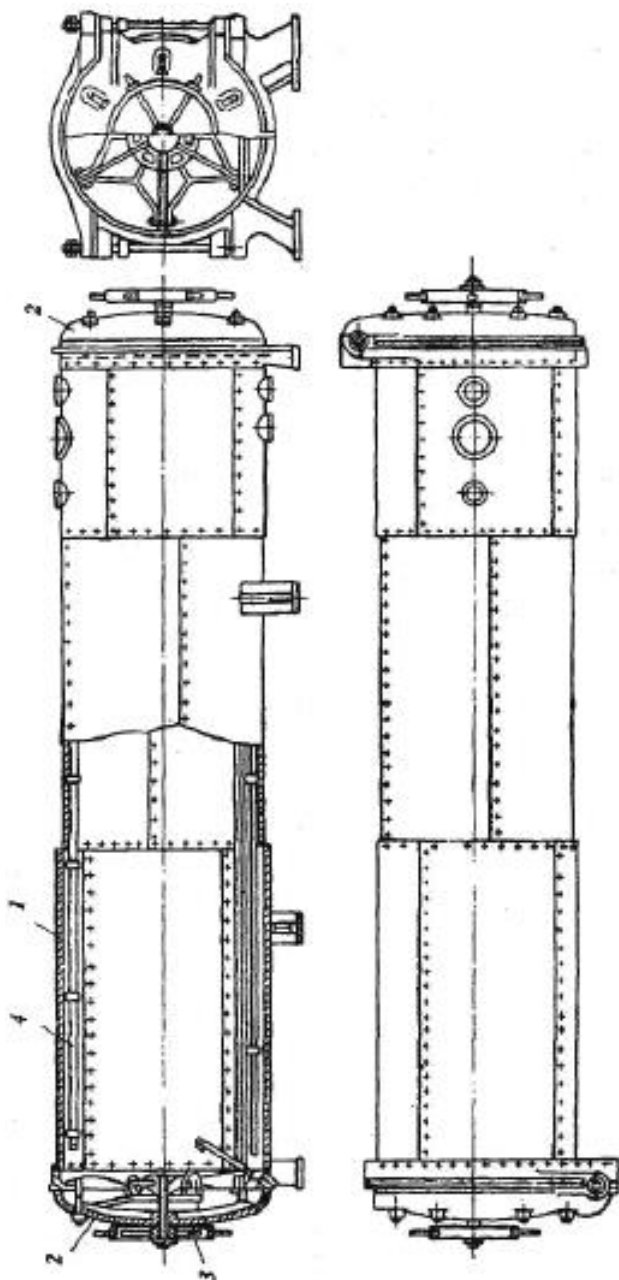


Рисунок 2 – Горизонтальный автоклав:

1 - корпус; 2 - крышка; 3 - загибский пристрій; 4 - барбогер

Горизонтальні стерилізатори розраховані на роботу при температурі до 140°C та тиску до 500 кПа.

Встановлено, що надання посуду механічного обертального руху дозволяє значно скоротити загальну тривалість стерилізації та покращити умови теплопередачі, що в свою чергу підвищує якість продукту, що стерилізується (табл. 3).

Таблиця 3 – Характеристика процесу стерилізації при різних режимах

Консерви	Режими стерилізації			
	Тара нерухома		Тара, що обертається	
	Температура, °С	Тривалість, хв.	Температура, °С	Тривалість, хв.
Зелений горошок	115	35	126	4,9
Цвітна капуста	115	40	132	2,75
Закуска з кабачків з морквою	120	120	120	40
Закуска з баклажанів	120	75	120	30
Сік абрикосовий	100	80	100	15

На рисунку 3 показані схеми завантаження візків, що надають посуду обертального руху навколо його осі та обертання з дна на кришку. Частоту обертання барабана регулюють варіатором швидкостей.

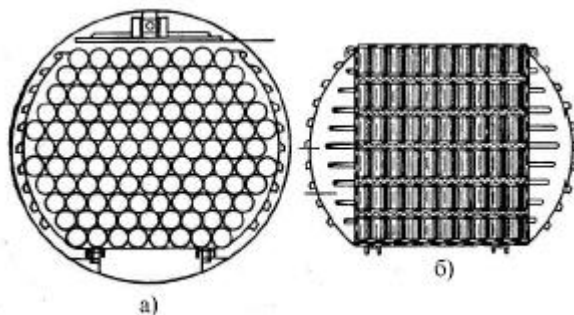


Рисунок 3 – Способи завантаження тари в сітки, що обертаються: а - горизонтальний; б - вертикальний

Слід зазначити, що апарати періодичної дії мають суттєві недоліки, як то: неможливість дотримання оптимальних умов стерилізації для кожного виду продукції за технологічними режимами (наявність зниження біологічної цінності продукту), велика енергоємність (на 600 кг продукції витрачається близько 375 кг пари, 8 м<sup>3</sup> охолоджувальної води та 7 м<sup>3</sup> повітря), малопродуктивність та значні витрати ручної праці.

## 2 Методика розрахунку

### 2.1 Технологічний розрахунок

Кількість банок, що вміщаються в одну сітку (кошик), *шт.*

$$z = 0,785 \cdot a \cdot \frac{d_c^2}{d_3^2},$$

де *a* – відношення висоти сітки корзини до висоти банки;

*d<sub>c</sub>* – діаметр сітки автоклава, *м* (*d<sub>c</sub>* = 0,94 *м*);

*d<sub>3</sub>* – зовнішній діаметр банки, *м* (таблиця 4).

Відношення висоти сітки до висоти банки характеризує число шарів банок в сітці і знаходиться за формулою:

$$a = \frac{h_c}{h_6},$$

де *h<sub>c</sub>* – висота сітки (*h<sub>c</sub>* = 0,7 *м*);

*h<sub>6</sub>* – висота банки, *м* (див. таблицю 4);

Одержаний результат потрібно округлити до цілого числа в меншу сторону.

Кількість банок у одному автоклаві:

$$N_6 = z_{\text{сiт}} \cdot z,$$

де *z<sub>сiт</sub>* - число сіток (кошиків) у автоклаві (дві або чотири).

Таблиця 4 – Основні параметри банки

Умовне позначення	Місткість, <i>V<sub>6</sub></i> <i>дм<sup>3</sup></i>	Маса <i>m<sub>6</sub></i> , <i>кг</i>	Висота <i>h<sub>6</sub></i> , <i>м</i>	Діаметр <i>d<sub>3</sub></i> , <i>м</i>
№8	0,346	0,140	0,0518	0,1023
№9	0,375	0,164	0,0968	0,0761
СКО 83-5	0,350	0,225	0,0760	0,0950
СКО 83-1	0,500	0,270	0,1060	0,0950
СКО 83-2	1,000	0,430	0,1500	0,1100

Час наповнення банками однієї сітки,  $c$ ,

$$\tau_c = z/P,$$

де  $P$  - продуктивність технологічної лінії, банок/с (завдання).

Число сіток потрібне для завантаження лінії,  $шт.$ :

$$z_c = \frac{\tau_d}{\tau_c},$$

де  $\tau_d$  - максимальна тривалість витримки (накопичення) банок до стерилізації після їх закупування (звичайно  $\tau_d < 1800$  с).

Число сіток  $z_c$  округляють до найближчого цілого меншого числа.

Число банок потрібне для завантаження лінії,  $шт.$ ,

$$N_{\text{біт}} = z_c \cdot z.$$

Тривалість повного циклу роботи автоклава,  $c$ ,

$$\tau = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4$$

де  $\tau_0$  і  $\tau_4$  - відповідно час завантаження і розвантаження автоклава ( $\tau_0 = \tau_4 = 10 \dots 25$  хв. = 600...1500 с),

$\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  - час підвищення температури, власне стерилізації, зниження тиску і температури в автоклаві та охолодження банок, с (формула стерилізації табл. 5).

Таблиця 5 – Режими стерилізації для різних видів банок

Умовне позначення банки	Режими стерилізації, $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ , хв. при температурі стерилізації $t_c$ , °C			Протитиск, МПа
	113	115	120	
№8	20+80+20	—	20+60+20	—
№9	20+90+20	—	20+40+25	—
СКО 83-5	—	35+135+50	40+140+55	0,25
СКО 83-1	—	25+115+30	25+75+30	0,25
СКО 83-2	—	30+125+40	30+100+40	0,25

Кількість автоклавів необхідна для лінії стерилізації,  $шт.$

$$n_a = P \cdot \tau / N_{\text{біт}}.$$

Кількість автоклавів в лінії округлюється до цілого числа.

Інтервал часу між завантаженням автоклавів, хв.

$$\Delta\tau = N_{\text{біт}} / 60 \cdot P.$$

Тепловий розрахунок автоклава встановлює витрати пари на стерилізацію і витрати охолоджуючої води. Витрати пари за один цикл роботи автоклава знаходять окремо для *першого періоду*, коли температура в автоклаві підвищується до температури стерилізації, і для *другого періоду*, коли в автоклаві підтримується постійна температура стерилізації.

У *перший період* роботи автоклава тепла енергія витрачається на нагрівання апарата, сіток, банок, кришок, продукту і води (при стерилізації у

воді) та на компенсацію втрат теплоти в навколишнє середовище шляхом випромінювання і конвекції.

Витрати теплоти на нагрівання автоклава, *Дж*,

$$Q_1 = G_1 \cdot c_1(t_c - t_1),$$

де  $G_1$  - маса автоклава, *кг*;

$c_1$  - питома теплоємність сталі;  $c_1 = 482$  Дж/(кг·К);

$t_c$  - температура стерилізації, °С (таблиця 5);

$t_1$  - початкова температура автоклава, °С ( $t_1 = 18...20$  °С).

Витрата теплоти на нагрівання сіток, *Дж*,

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2(t_c - t_2),$$

де  $G_2$  - маса сіток, *кг*;

$t_2$  - температура сітки, °С ( $t_2 = t_1$ );

$c_2$  - питома теплоємність матеріалу сітки (для сталі;  $c_2 = c_1$ )

$$G_2 = z_c \cdot m_c,$$

тут  $m_c = 50$  кг - маса однієї сітки, *кг*.

Витрати теплоти на нагрівання банок, *Дж*,

$$Q_3 = G_3 \cdot c_3(t_c - t_3),$$

де  $G_3$  - маса банок, *кг*,

$c_3$  - питома теплоємність матеріалу тари, *Дж/(кг·К)*:

- для скляних банок  $c_3 = 0,670...0,835$  кДж/(кг·К)

- для бляшаних банок № 8 і № 9  $c_3 = 0,482$  кДж/(кг·К);

$t_3$  - початкова температура банок, °С (приймається такою ж, як температура продукту до стерилізації див. завдання).

$$G_3 = N_{\bar{b}} \cdot m_{\bar{b}},$$

де  $N_{\bar{b}}$  - число банок, що завантажуються в автоклав, *шт.*;

$m_{\bar{b}}$  - маса однієї банки, *кг* (таблиця 4);

Витрати теплоти на нагрівання продукту в автоклаві, *Дж*,

$$Q_4 = G_4 \cdot c_4(t_c - t_4),$$

де  $G_4$  - маса продукту в автоклаві, *кг*;

$c_4$  - питома теплоємність продукту, *Дж/(кг·К)* (таблиця 6);

$t_4$  - температура продукту, °С (задається в завданні).

$$G_4 = \rho_{np} \cdot V_{\bar{b}} \cdot N_{\bar{b}},$$

де  $\rho_{np}$  - щільність продукту, *кг/м<sup>3</sup>* (табл. 6);

$V_{\bar{b}}$  - об'єм однієї банки, *м<sup>3</sup>* (таблиця 4);

$N_{\bar{b}}$  - число банок, що завантажуються в автоклав, *шт.*,

Таблиця 6 – Параметри сировини, що стерилізується

Найменування продукту	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	Щільність, кг/м <sup>3</sup>
Свинина	3865	1130
Яловичина	4007	1038

Найменування продукту	Питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	Щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$
Риба	3601...4145	1050
Молоко згущене	2261	1240

Витрати теплоти на нагрівання води в автоклаві,  $\text{Дж}$ ,

$$Q_5 = G_5 \cdot c_6 \cdot (t_c - t_5),$$

де  $G_5$  - маса води в автоклаві,  $\text{кг}$ ;

$c_6$  - питома теплоємність води,  $c_6 = 4186 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;

$t_5$  - початкова температура води в автоклаві,  $^\circ\text{C}$  ( $t_5 = 20^\circ\text{C}$ ).

$$G_5 = 0,95 \cdot \rho_6 \cdot (V_a - V_6 \cdot N_6),$$

де  $\rho_6$  - щільність води,  $\rho_6 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$V_a$  - об'єм автоклава,  $\text{м}^3$  (таблиця 1);

Втрати теплоти в навколишнє середовище,  $\text{Дж}$

$$Q_6 = F_a \cdot \tau_2 \cdot \alpha_0 \cdot (t_{cm} - t_{нов})$$

де  $F_a$  - площа поверхні нагрівання автоклава (таблиця 1);

$\tau_2$  - тривалість нагрівання;

$\alpha_0$  - сумарний коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;

$t_{cm}$  - температура зовнішньої стінки автоклава;

$t_{нов}$  - температура повітря в приміщенні;

$$\alpha_0 = 9,7 + 0,07(t_{cm} - t_{нов}).$$

Температура стінки з урахуванням теплоізоляції, приймається рівною половині середньої початкової температури води і стерилізації

$$t_{cm} = (t_1 + t_c) / 4.$$

Загальні витрати теплоти складуть:

$$Q_{заг} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Витрати пари в перший період роботи автоклава,  $\text{кг}/\text{с}$ ,

$$D_1 = Q_{заг} / (i - i_k),$$

де  $i$  - ентальпія пари,  $i = 2700 \text{ кДж}/\text{кг}$ ;

$i_k$  - ентальпія конденсату,  $\text{кДж}/\text{кг}$ .

$$i_k = c_6 \cdot t_{конд}$$

де  $c_6$  - питома теплоємність води,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;

$t_{конд}$  - температура конденсату,  $t_{конд} = 96...98^\circ\text{C}$ .

Інтенсивність витрат пари в перший період роботи, або ж витрата пари в одиницю часу,  $\text{кг}/\text{с}$ ,

$$D'_1 = D_1 / \tau_1.$$

В другий період роботи автоклава (при постійній температурі стерилізації) теплова енергія витрачається на компенсацію втрат теплоти в навколишнє середовище шляхом конвекції і випромінювання,  $\text{Дж}$ ,

$$Q_7 = F_a \cdot \tau_2 \cdot \alpha_0 (t'_{cm} - t_{нов}),$$

де  $F_a$  - площа поверхні автоклава,  $m^2$  (таблиця 1);

$\tau_2$  - тривалість власне стерилізації,  $c$  (таблиця 2);

$\alpha_0$  - сумарний коефіцієнт тепловіддачі,  $\alpha_0 = 1750 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K)$ ;

$t'_{cm}$  - температура стінки в другий період роботи приймається половині температури стерилізації.

Витрати пари в другий період роботи,  $кг$ ,

$$D_2 = Q_7 / (i - i_k),$$

або витрати пари в одиницю часу,  $кг/с$ :

$$D'_2 = D_2 / \tau_2.$$

Загальні витрати пари за один цикл роботи автоклава,  $кг$ ,

$$D = D_1 + D_2$$

Загальна маса автоклава, сіток, банок і води,  $кг$ ,

$$G_{заг} = G_1 + G_2 + G_3 + G_5$$

де  $G_1, G_2, G_3, G_5$  - відповідно маса автоклава, сіток, банок і води,  $кг$ .

Приведена теплоємність загальної маси,  $Дж/(кг \cdot K)$ ,

$$c_{пр} = (G_1 \cdot c_1 + G_2 \cdot c_2 + G_3 \cdot c_3 + G_5 \cdot c_5) / G_{заг},$$

де  $c_1, c_2, c_3$  - відповідно питома теплоємність матеріалів автоклава, сіток і банок,  $Дж/(кг \cdot K)$ ;

$c_5$  - питома теплоємність води,  $c_5 = 4,186 \text{ кДж}/(кг \cdot K)$ .

Кінцева температура автоклава, сіток, банок і води,  $^{\circ}C$ ,

$$t'_k = t_k - (5 \dots 7),$$

де  $t_k$  - кінцева температура продукту,  $^{\circ}C$  ( $t_k = 40 \dots 50^{\circ}C$ ).

Витрата охолоджуючої води,  $кг/с$ ,

$$W = 2,303 \left( G_4 \frac{c_{пр}}{c_в} \cdot \lg \frac{t_c - t_0}{t_k - t_0} + G_4 \frac{c_{пр}}{c_в} \cdot \lg \frac{t_c - t_0}{t'_k - t_0} \right),$$

де  $t'_k$  - кінцева температура автоклава, сіток, банок та води, що його заповнює,  $^{\circ}C$ ;

$t_0$  - температура охолоджуючої води,  $t_0 = 18 \dots 20^{\circ}C$ .

## 2.2 Розрахунки на міцність

### 2.2.1 Розрахунок на міцність корпусу автоклава

Корпус автоклава представляє собою циліндричну обичайку з еліптичними днищами. Всі деталі корпусу з'єднані зварними швами.

Товщина стінки обичайки корпусу,  $мм$

$$\delta_I = \frac{p_p \cdot D_k}{2 \mu I \sigma I_p - p_p} + \delta_k,$$

де  $p_p$  - розрахунковий тиск в порожнині автоклава,  $МПа$ ;

$D_k$  - внутрішній діаметр корпусу, мм;

$\mu$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\mu=0,8\dots 1,0$ ;

$\delta_k$  - додаток, що враховує корозію,  $\delta_k=1\dots 3$  мм;

$[\sigma]_p$  - допустимі напруження розтягу матеріалу корпусу, МПа.

$$[\sigma]_p = \sigma_6 / n_{zn},$$

де  $\sigma_6$  - границя міцності матеріалу корпусу, МПа;

$n_{zn}$  - коефіцієнт запасу міцності корпусу,  $n_{zn}=3,5\dots 4,0$ .

Значення допустимих напружень можна прийняти з таблиці 7.

Визначене значення товщини стінки потрібно округлити в більшу сторону до цілого числа. Для забезпечення достатньої жорсткості корпусу без його укріплення додатковими деталями рекомендують приймати товщину стінок не менш ніж 5...6 мм.

### 2.2.2 Розрахунок на міцність еліптичного днища автоклава

Товщина стінки еліптичного днища автоклава визначається за наступною формулою:

$$\delta_2 = \frac{p_p \cdot D_k}{4[\sigma]_p - p_p} \cdot \frac{D_k}{2h_0} + \delta_k,$$

де  $h_0$  - висота еліптичного днища автоклава, мм

Рекомендують приймати висоту днища:

$$h_0 = (0,20\dots 0,25) \cdot D_k,$$

Товщину стінки еліптичного днища автоклава приймають не менш ніж товщина стінки корпусу.

### 2.2.3 Розрахунок діаметрів отворів в корпусі і днищі

Для корпусів і кришок апаратів працюючих під тиском потрібно визначити максимально допустимий без додаткового укріплення місце з'єднання діаметр отворів під патрубки, штуцери, люки та ін.

Для циліндричної частини автоклава:

$$d_{1max} \leq 3,75 \sqrt{D_k (\delta_l - \delta_k) \frac{p_p \cdot D_k}{2[\sigma]_p - p_p}}.$$

Для еліптичного днища

$$d_{2max} = 0,95 \cdot D_k \left[ \frac{p_p}{4[\sigma]_p} \cdot \left( \frac{D_k}{\delta_2 \cdot \delta_k} \cdot \frac{D_k}{2 \cdot h} - 1 \right) \right].$$

Якщо прийняти діаметр отворів під конструктивні елементи меншими за розрахункові, то додаткове укріплення місць їх з'єднання з корпусом і днищами не потрібне.

Таблиця 7 – Допустимі напруження розтягу для деяких сталей

Температура стінки, °С	Допустимі напруження розтягу для сталей, МПа				
	Ст. 2	Ст. 3	Сталь 10	Сталь 20	X18H10T X18H12T
20	125	135	126	145	145
250	105	120	110	130	125
300	95	105	100	115	120

### 3 Завдання на розрахунок

Провести технологічний, тепловий та міцносний розрахунки вертикального стерилізатора за вихідними даними наведеними в таблиці 8.

Формулу стерилізації прийняти в залежності від виду продукту.

Для всіх варіантів розрахунку прийняти температуру продукту до стерилізації 60°C, температуру після охолодження 40°C, початкову температуру охолоджуючої води 20°C, тиск пари 0,4 МПа. Матеріал корпусу прийняти самостійно.

#### Завдання для звіту

1. Описати призначення автоклавів.
2. Описати будову і принцип роботи горизонтального автоклава.
3. Замалювати схему горизонтального автоклава.
4. Виконати розрахунок вертикального стерилізатора.

#### Контрольні питання

1. Надайте призначення і класифікацію автоклавів.
2. Будова і принцип роботи вертикального автоклава.
3. Будова і принцип роботи вертикального автоклава.

Таблиця 8 – Вихідні дані до розрахунку стерилізатора

Номер варіанту	Маса автоклава $G_L, кг$	Тип банки	Вид продукту	Продуктивність лінії $\Pi, банок/с$
1	1150	№8	Свинина	3,0
2	1130	№9	Свинина	3,1
3	1110	СКО 83-5	Свинина	3,2
4	1170	СКО83-1	Свинина	3,3
5	1190	СКО 83-2	Свинина	3,4
6	1140	№8	Яловичина	4,0
7	1160	№9	Яловичина	4,1

Продовження таблиці 8

Номер варіанту	Маса автоклава <i>G<sub>1</sub>, кг</i>	Тип банки	Вид продукту	Продуктивність лінії <i>П, банок/с</i>
8	1180	СКО 83-5	Яловичина	4,2
9	1120	СКО83-1	Яловичина	4,3
10	1750	СКО 83-2	Яловичина	4,4
11	1730	№8	Риба	5,0
12	1710	№9	Риба	5,0
13	1790	СКО 83-5	Свинина	5,0
14	1770	СКО83-1	Свинина	5,0
15	1130	СКО 83-2	Свинина	5,0
16	1150	№8	Молоко	6,0
17	1140	№9	Молоко	5,0
18	1130	СКО 83-5	Яловичина	3,0
19	1160	СКО83-1	Яловичина	3,1
20	1750	СКО 83-2	Яловичина	3,2
21	1760	№8	Молоко	3,3
22	1740	№9	Молоко	3,4
23	1720	СКО 83-5	Свинина	4,0
24	1710	СКО83-1	Свинина	4,1
25	1770	СКО 83-2	Свинина	4,2
26	1730	СКО 83-5	Риба	3,0
27	1710	СКО 83-5	Риба	3,0

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 12 БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА

*Мета роботи:* Вивчення теоретичних основ процесу гранулювання; знайомство з класифікацією грануляторів, їх конструкціями і принципом роботи; виконання розрахунку прес-гранулятора.

### Загальні відомості

Гранулювання це формування твердих частинок (гранул) певних розмірів і форми із заданими властивостями .Розмір гранул залежить від виду матеріалу, способу його подальшої переробки або застосування.

Гранулювання – це сукупність фізико-хімічних і фізико-механічних процесів, які забезпечують формування часток певних розмірів, форми, структури та фізичних властивостей. У загальному випадку гранулювання містить у собі наступні технологічні стадії: підготовку вихідної сировини, дозування і змішування компонентів; саме гранулювання; формування структури (сушіння, термостаткування, полімеризація та ін.); сортування (поділ часток по розмірах).

Відомі способи гранулювання в основному забезпечують одержання готового продукту із заданими якісними показниками (гранулометричний склад, мішність гранул, розсіпчастість і т.п.).

Гранулювання може здійснюватися трьома основними способами: на пресах грануляторах, обкочуванням і у псевдозрізженому шарі.

Сутність способів грануляції обкочуванням і грануляції у псевдозрізженому шарі полягає в утворенні гранул за рахунок нашаровування дрібних часток продукту, змочених в'язкими сумішами, на більшій грудочки та ущільнення агломератів у шарі матеріалу.

У сучасній вітчизняній переробній промисловості процес гранулювання, в основному, використовують для виготовлення комбікормів з застосуванням різних продуктів сільськогосподарського і тваринного походження, відходів цукрового (жом, патока) і спиртового виробництва та ін. Найбільш ефективний спосіб одержання кормів-концентратів – пресування продукту на прес-грануляторах.

За загальною класифікацією пресів для гранулювання їх конструкції поділяють на декілька груп: шнекові, плунжерні, клинові, шестеренні, кільцеві, вальцеві та ін.

Застосування шнекових пресів обмежує ефект тертя ковзання продукту по поверхні шнека завдяки якому гвинтова поверхня шнека інтенсивно зношується. Тому такі механізми застосовують вкрай рідко і тільки при вологому способі гранулювання, який забезпечує значно менші навантаження на робочі органи.

Серед наведених конструкцій можна виділити групу вальцевих пресів, які одержали широке застосування в переробній галузі. Їх класифікація подана на рисунку 1.

На рисунку 2 показані схеми основних конструктивних рішень вальцевих пресів грануляторів харчових продуктів.

Головними робочими органами пресового механізму є матриця і ролики (валки). У пристрої зображеному на рисунку 2а) матриця має форму товстостінного кільця – кільцевий прес, а на рисунку 2б) форму плоского диска – дисковий прес.

Матриця і ролики з'єднуються в механізм водилом так, що ролики, що пресують, перекочуються по робочій поверхні матриці.



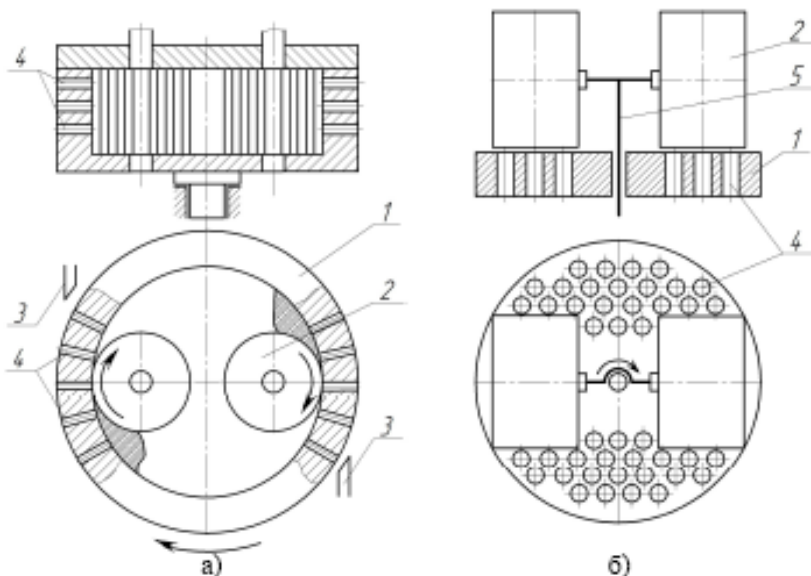
Рисунок 1 – Класифікація вальцевих пресів грануляторів

Звичайно подібні механізми мають від одного до трьох роликів. Механізми з одним роликом, застосовують тільки у пресах малої потужності, тому що при одному ролику виникають значні згинаючі зусилля, які передаються на вали привода матриці і водила.

При співвісному розташуванні матриці і водила та наявності двох або трьох осесиметричних пресових роликів, згинальні зусилля від роликів урівноважуються, тому вали привода матриці і водила звільняються від згинаючих моментів.

Пресові механізми із плоскою матрицею мають, як правило, закріплену матрицю 1 і ведуче водило 5, на якому встановлено від двох до п'яти роликів 2.

Циліндрична зовнішня поверхня ролика має рифлення, нанесене паралельно осі обертання ролика, або ж густу перфорацію некрізними циліндричними отворами. Нерівності поверхні призначені для кращого зчеплення ролика з продуктом. Ролики встановлюють так, щоб зазор між ними і матрицею був мінімальним.



1 - матриця; 2 - ролик; 3 - ніж для зрізання гранул; 4 - отвори в матриці (філь'єри); 5 - водило роликів.

Рисунок 2 – Схеми пресів грануляторів: а) кільцевий; б) дисковий

Під час роботи гранулятора сипучий продукт безупинно подають на робочу поверхню матриці, ролик перекочується по шару продукту, стискає його, а потім проштовхує у філь'єри матриці. Наступний ролик проштовхує у філь'єри нову порцію, спонукаючи спресований продукт рухатись до виходу з філь'єри.

Таким чином, при безперервному процесі переміщення роликів по поверхні матриці рух продукту в кожній філь'єрі відбувається періодично – тільки у момент проходження ролика над вхідним отвором філь'єри. За один прохід ролика гранула з вихідного отвору філь'єри висувається на довжину до кількох міліметрів.

Встановлено, що при пресуванні в грануляторах відбуваються пружно-пластичні деформації продукту. Напружений стан у продукті визначається зовнішніми навантаженнями та механічними характеристиками продукту – коефіцієнтом тертя по контактній поверхні і границею текучості при стиску. Ці характеристики продуктів обумовлюють продуктивність преса, зусилля, які діють на робочі органи пресового механізму, витрати енергії на гранулювання.

Особливість поведінки продукту в механізмі преса – залежність його границі текучості і коефіцієнта контактної тертя від напруженого стану продукту.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що границя текучості продукту при одноосьовому стиску і одночасній дії високого всебічного тиску зростає зі збільшенням останнього, і цю залежність можна описати експонентною функцією.

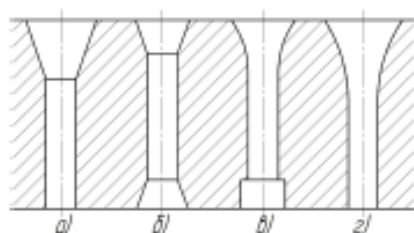
Залежність коефіцієнта тертя об сталеву контактну поверхню  $f$  від нормальних напружень  $\sigma_n$  може бути представлена у вигляді:

$$f = \frac{\tau_0}{\sigma_n} + f_1 + f_2 \cdot \sigma_n$$

де  $\tau_0$ ,  $f_1$  - постійні, які залежать від молекулярної взаємодії продукту і контактної поверхні;

$f_2$  - постійна, яка враховує деформаційний вплив часток продукту на пружну контактну поверхню.

Границя текучості і коефіцієнт контактного тертя залежать від складу продукту, його температури і вологості. З підвищенням температури та відносної вологості ці механічні параметри зменшуються.



Формоутворення гранул відбувається в каналах фільт'єр (рисунок 3). Для збільшення живого перетину перфорованої частини матриці вхідні ділянки отворів фільт'єр виготовляють із діаметром більшим, ніж діаметр циліндричної частини їх каналів.

Рисунок 3 – Профілі фільт'єр матриці

Порожнина, що з'єднує вхідний отвір із циліндричним каналом називається вхідною порожниною фільт'єри. Звичайно фільт'єри виготовляють із конічною вхідною порожниною, яка сполучена із циліндричним каналом (рисунок 3а і 3б).

Крім конічної вхідної порожнини, може бути застосована вхідна порожнина форми тору з утворюючою у вигляді частини дуги окружності (рисунок 3в). У деяких матрицях канали фільт'єр закінчуються вихідною конічною порожниною (рисунок 3б) або циліндричною порожниною з діаметром дещо більшим за діаметр основного циліндричного каналу (рисунок 3 в).

Після досить тривалого строку роботи матриці в результаті зношування утворююча каналу фільт'єри здобуває форму гладкої опуклої кривої (рисунок 3г).

Установлено, що форма вхідної порожнини зношеної фільєри не залежить від вихідних параметрів вхідної порожнини. На вихідній ділянці циліндричного каналу, а також у вихідній порожнині, якщо вона є, зношування практично відсутнє.

На рисунку 4 показаний гранулятор, що входить у комплект устаткування ОГМ-0,8А. Основою гранулятора є прес, що складається з редуктора і вузла пресування з вертикальною кільцевою матрицею та двома пасивними вальцями (ролерами).

Електродвигун еластичною муфтою з'єднаний з валом-шестірнею 1. У постійному зачепленні з валом-шестірнею перебуває зубчасте колесо 5, жорстко закріплене шпонкою і гайкою 4 на порожнинному головному валу 6. До фланця головного вала сегментами 7 прикріплена матриця 8, яка від провертання зафіксована шпонками.

До зовнішнього торця матриці, що обертається прикріплений конічний приймач 10, який утворює разом з її внутрішньою порожниною камеру пресування. У середині головного вала розміщена вісь 2, на кінці її встановлено дві плити, між якими на ексцентричних осях змонтовані вальці, що пресують, або ж ролири, 9. Зазор між робочими поверхнями вальців і матриці в межах 0,3...0,5 мм регулюється за допомогою спеціальних вазелів і болтів. На іншому кінці осі 2 на шліхах посаджений фланець із лискою, що через зрізний штифт 3 жорстко з'єднаний зі стеклом заднього роликівого підшипника. При звичайному навантаженні зрізний штифт утримує вісь від обертання, вальці обертаються навколо своїх нерухомих осей. Якщо прес виявиться надмірно перевантаженим масою продукту або в зазор між вальцем і матрицею потрапить сторонній предмет, то валець заклинить, обертаючий момент від матриці буде передаватися на вісь 2, а через неї на зрізний штифт 3.

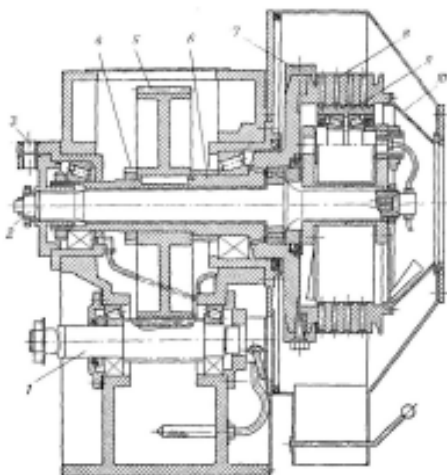


Рисунок 4 – Схема преса гранулятора

Після зрізання штифта фланець почне повертатися і наявною на ньому лискою натисне на штовхач кінцевого вимикача, який від'єднає від мережі всі електродвигун та зупинить прес, запобігаючи його поломці.

### Порядок розрахунку:

Розрахунок супроводжується числовим прикладом за наступними числовими даними:  $Q = 2,0$  т/год. =  $0,56$  кг/с;  $d_{sp} = 12$  мм;  $z_s = 2$ ;  $n_s = 300$  об/хв.

Враховуючи те, що трав'яне борошно є продуктом, який найбільш утруднено піддається гранулюванню розрахунок проводиться по трав'яному борошну.

Довжина отворів (філь'єр) матриці:

$$l_\phi = \frac{d_{ds}}{4\varepsilon \cdot f_{cn}} \cdot \ln\left(\frac{\varepsilon \cdot p_{max}}{q_\phi} + 1\right), \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт бокового тиску матеріалу;

$f_{cn}$  - коефіцієнт тертя спокою матеріалу;

$p_{max}$  - тиск потрібний для стиску матеріалу до потрібної щільності;

$q_\phi$  - боковий тиск на стінки отвору, обумовлений пружним розширенням матеріалу.

Для трав'яного борошна при крупності помелу  $m = 0,33$  і вологості маси  $W = 15$  % можна прийняти наступні значення його фізико-механічних властивостей:

$$\varepsilon = 0,42; q_\phi = 4,4 \dots 4,5 \text{ МПа}; p_{max} = 85 \text{ МПа}; f_{cn} = 0,23 \dots 0,25.$$

$$l_\phi = \frac{12}{4 \cdot 0,42 \cdot 0,23} \cdot \ln\left(\frac{0,42 \cdot 85}{4,4} + 1\right) = 68,6 \text{ мм.}$$

Довжина передкамери матриці:

$$l_{np} = \frac{d_{ds}}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left[ \exp\left(\frac{2}{d_{ds}} \cdot \frac{l_\phi - l_\phi}{1/f_{nr} + 1/\operatorname{tg} \alpha}\right) - 1 \right], \quad (2)$$

де  $l_n$  - довжина циліндричної частини отвору;

$\alpha$  - кут нахилу утворюючої конусної передкамери до осі отвору,

$$l_n = (0,8 \dots 0,9) l_\phi. \quad (3)$$

$$l_n = (0,8 \dots 0,9) \cdot 68,6 = 54,9 \dots 61,7 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $l_n = 60$  мм.

Кут нахилу утворюючої конусної передкамери до осі отвору звичайно приймається у межах  $\alpha = 6,5 \dots 8,5^\circ$ .

Після підстановки одержимо довжину передкамери:

$$l_{np} = \frac{12}{2 \cdot \operatorname{tg} 7,5^\circ} \left[ \exp \left( \frac{2}{12} \cdot \frac{68,6 - 60}{1/0,23 + 1/\operatorname{tg} 7,5^\circ} \right) - 1 \right] = 5,8 \text{ мм.}$$

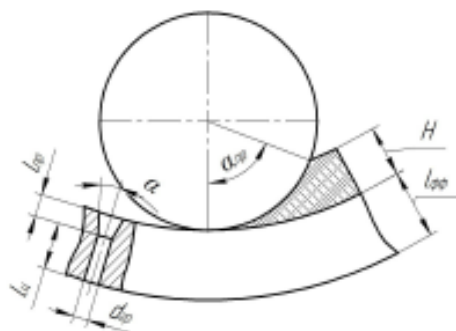


Рисунок 5 – Розрахункова схема

Сумарна довжина циліндричної частини і передкамери складе:

$$l_c = l_n + l_{np} \quad (4)$$

$$l_c = 60 + 5,8 = 65,8 \text{ мм.}$$

З урахуванням майбутнього зносу матриці потрібно збільшити фактичну довжину каналів фільт'єр на  $10 \dots 15\%$ .

$$l_{\phi\phi} = (1,1 \dots 1,15) l_c \quad (5)$$

$$l_{\phi\phi} = (1,1 \dots 1,15) \cdot 65,8 = 72,4 \dots 75,6 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $l_{\phi\phi} = 75$  мм.

Необхідна площа робочої поверхні матриці з умови забезпечення потрібної продуктивності і якості гранул:

$$A_p = \frac{Q \cdot t_{cp}}{k_n \cdot l_{\phi\phi} \cdot \beta \cdot \rho} \quad (6)$$

де  $t_{cp}$  - час перебування матеріалу у отворах матриці, с;

$k_n$  - коефіцієнт перфорації матриці;

$\beta$  - коефіцієнт розширення гранул;

$\rho$  - щільність готових гранул.

За дослідними даними час перебування матеріалу у отворах матриці при гранулюванні трав'яного борошна складає  $t_{cp} = 15 \dots 18$  с, при брикетуванні кормових сумішей:  $t = 22 \dots 25$  с.

Коефіцієнти, що входять в формулу приймаються у наступних межах:  $k_n = 0,4 \dots 0,5$  і  $\beta = 1,05 \dots 1,1$ . Щільність гранул трав'яного борошна  $\rho = 1200 \dots 1250$  кг/м<sup>3</sup>.

Таким чином загальна площа поверхні матриці складе:

$$A = \frac{0,56 \cdot 15}{0,5 \cdot 0,075 \cdot 1,1 \cdot 1200} = 0,17 \text{ м}^2$$

Максимальний кут пресування (рисунок 5)дорівнює:

$$\alpha_{max} \leq \frac{\varphi}{1 - r/R}, \quad (7)$$

де  $\varphi$  - кут тертя руху матеріалу;

$r/R$  - відношення радіуса вальця до радіуса матриці;

Кут тертя руху визначається як:

$$\varphi = \text{arctg } f_p, \quad (8)$$

де  $f_p$  - коефіцієнт тертя руху,  $f_p = 0,5 \dots 0,7$

$$\varphi = \text{arctg } 0,7 = 35^\circ$$

Відношення радіуса вальця до радіуса матриці регламентується компактністю конструкції преса і коливається у вузьких межах: для конструкцій з двома вальцями  $r/R = 0,42 \dots 0,45$ , а для преса з трьома вальцями цей показник рекомендують у межах  $r/R = 0,4 \dots 0,42$ .

$$\alpha_{max} \leq \frac{35^\circ}{1 - 0,43} = 61,4^\circ$$

Максимальне відношення товщини шару матеріалу, що захоплюють вальці до радіуса вальця:

$$H/r = (r/R) [1 - \sqrt{[1 - 2(r/R)](1 - \cos \alpha)}] \quad (9)$$

$$H/r = 0,43 [1 - \sqrt{[1 - 2 \cdot 0,43](1 - \cos 61,4^\circ)}] = 0,314$$

Номинальне відношення товщини шару матеріалу захопленого вальцями до радіуса вальця:

$$(H/r)_{ном} = (H/r) \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \quad (10)$$

де  $n_1$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність подачі матеріалу в прес;

$n_2$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу матеріалу по ширині матриці;

$n_3$  - коефіцієнт впливу кондиціонування матеріалу на продуктивність преса.

За даними [2] при гранулюванні трав'яного борошна коефіцієнти можна прийняти у межах:  $n_1 = 0,7...0,8$ ,  $n_2 = 0,2...0,3$ ,  $n_3 = 0,5...0,6$ .

$$(H/r)_{ном} = 0,314 \cdot 0,75 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 0,032$$

Дійсний кут пресування визначається за формулою:

$$\alpha_{np} = \arccos \left[ 1 - \frac{1 - [(1 - (H/r))^2]}{2(r/R)[1 - (r/R)]} \right], \quad (11)$$

$$\alpha_{np} = \arccos \left[ 1 - \frac{1 - [(1 - 0,032)]^2}{2 \cdot 0,43[1 - 0,43]} \right] = 29,5^\circ$$

Той же кут у радіанах  $\alpha'_{np} = \frac{\alpha_{np} \cdot \pi}{180^\circ} = \frac{29,5 \cdot 3,14}{180} = 0,515$  рад.

Зусилля пресування:

$$F = A \cdot p_{cp} \cdot (r/R) \frac{\alpha'_{np}}{2\pi}, \quad (12)$$

де  $p_{cp}$  - середній тиск пресування,  $p_{cp} = 30...32$  МПа.

$$F = 0,17 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,43 \frac{0,515}{2 \cdot 3,14} = 179,7 \text{ кН.}$$

З метою якісного змішування і рівномірного розподілу матеріалу між вальцями преса змішувач і живильник установки повинні мати частоту обертання  $n = 300...350$  об/хв. В цих межах рекомендують приймати частоту обертання водила преса. За умовами завдання приймаємо частоту обертання водила  $n_s = 300$  об/хв.

Частота обертання вальця (ролика) визначається з виразу:

$$n_p = \frac{n_s}{r/R}, \quad (13)$$

$$n_p = \frac{300}{0,43} = 698 \approx 700 \text{ об/хв.}$$

Діаметр вальців приймається конструктивно, для пресів середньої продуктивності в межах 2...3 т/год. можна застосовувати вальці діаметром  $D_s = 200...250$  мм. Для даного прикладу приймаємо  $D_s = 200$  мм.

Внутрішній радіус матриці визначається за виразом:

$$R_m = \frac{0,5 D_o}{r/R} \quad (14)$$
$$R_m = \frac{0,5 \cdot 200}{0,43} = 232 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $R_m = 235$  мм.

Ширина матриці:

$$B_m = A/2\pi \cdot R_m \quad (15)$$
$$B_m = 0,17/2 \cdot 3,14 \cdot 0,235 = 0,115 \text{ м}$$

Приймаємо  $B_m = 120$  мм.

За конструктивними міркуваннями значення ширини матриці повинне знаходитись у межах  $0,5 D_o \leq B_m \leq D_o$ . Якщо це значення не відповідає даному співвідношенню потрібно дещо змінити діаметр вальца.

Дійсна внутрішня площа матриці:

$$A_d = 2\pi \cdot R_m \cdot B_m \quad (16)$$
$$A_d = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,235 \cdot 0,12 = 0,177 \text{ м}^2.$$

Число отворів (філь'єр) у матриці:

$$z_o = \frac{4 A_d \cdot k_n}{\pi \cdot d_{cp}^2} \quad (17)$$
$$z_o = \frac{4 \cdot 0,177 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,012^2} = 783,3 \text{ шт.}$$

Приймається  $z_o = 784$  шт.

Середня швидкість руху гранули:

$$v_{cp} = l_{\phi\phi}/t_{cp} \quad (18)$$
$$v_{cp} = 75/15 = 15 \text{ мм/с} = 0,015 \text{ м/с.}$$

Зусилля тертя матеріалу по поверхні філь'єр:

$$F_{mp} = f_{cn} \cdot \varepsilon \cdot p_{yn} \cdot \Pi_k \cdot l_{\phi\phi} \quad (19)$$

де  $p_{yn}$  - тиск на упорі;

$\Pi_k$  - периметр каналу матриці.

Значення тиску на упорі  $p_{yn}$  рекомендують приймати в розмірі 10...40 % від максимального тиску пресування  $p_{max} = 85$  МПа, таким чином  $p_{yn} = 0,4 \cdot 85 = 34$  МПа.

Периметр круглого отвору фільєри:

$$P_x = \pi \cdot d_{cp} = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м.}$$

$$F_{mp} = 0,23 \cdot 0,42 \cdot 34 \cdot 10^6 \cdot 0,0377 \cdot 0,075 = 9287 \text{ Н} \approx 9,3 \text{ кН.}$$

Потужність потрібна для привода преса:

$$P_{np} = F_{mp} \cdot v_{cp} \cdot z_n, \quad (20)$$

де  $z_n$  - число каналів, в яких проводиться одночасне пресування.

$$z_n = z_o \cdot z_e \cdot \frac{\alpha_{np}}{360}, \quad (21)$$

де  $z_e$  - число вальців преса.

$$z_n = 784 \cdot 2 \cdot \frac{29,5}{360} = 128 \text{ шт.}$$

$$P_{np} = 9,3 \cdot 0,015 \cdot 128 = 17,8 \text{ кВт.}$$

Потужність двигуна привода преса з урахуванням динамічних навантажень і втрат в передачах привода:

$$P_{de} = \frac{P_{np} \cdot k_d}{\eta_{mex}}, \quad (22)$$

де  $k_d$  - динамічний коефіцієнт;

$\eta_{mex}$  - коефіцієнт корисної дії передач привода.

$$P_{de} = \frac{17,8 \cdot 1,2}{0,9} = 23,8 \text{ кВт.}$$

У відповідності до визначеної потужності двигуна за каталогом вибирається електродвигун рівної або ж більшої потужності.

### Завдання для звіту

1. Описати суть і призначення процесу гранулювання.
2. Описати класифікацію грануляторів.

3. Описати будову прес-гранулятора та замалювати його схему.
4. Виконати розрахунок прес-гранулятора.

### Контрольні питання

1. Розказати суть процесу сушіння.
2. Наведіть класифікацію прес-грануляторів.
3. Охарактеризуйте робочі органи прес-грануляторів.
4. Які основні вузли містять прес-гранулятори?

Таблиця 1 – Варіанти індивідуальних завдань до розрахунку

Варіант	Продуктивність преса $Q$ , т/год.	Діаметр гранул $d_{гр}$ , мм	Число вальців $Z_v$ , шт.	Частота обертання водила $n_v$ , об/хв.
1	1,6	10	1	300
2	1,8	11	2	310
3	2,0	12	3	320
4	2,2	13	1	330
5	2,4	14	2	340
6	2,6	15	3	350
7	2,8	16	1	305
8	3,0	17	2	310
9	3,2	18	3	315
10	3,4	19	1	320
11	3,5	20	2	325
12	3,4	18	3	330
13	3,2	16	1	335
14	3,0	14	2	340
15	2,8	12	3	350
16	2,6	10	1	345
17	2,4	12	2	340
18	2,2	14	3	335
19	2,0	15	1	330
20	1,8	14	2	325
21	1,6	13	3	320
22	1,8	12	1	315
23	2,0	11	2	310
24	2,2	10	3	305
25	2,4	12	2	300

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Обладнання переробних і харчових виробництв: навч. посіб. / М. О. Свірень, І. М. Осипов, М. М. Коваленко, І. М. Косенко. - Кіровоград : КОД, 2016. - 272 с.
2. Технологічне обладнання малих харчових та переробних виробництв. У 3-х ч. Ч.3. Технологічне обладнання малих хлібопекарських і макаронних виробництв: навч. посіб. / О.І. Черевко, В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна та ін.; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2013. – 96 с.
3. Богомоллов О.В., Гурський П.В., Богомоллова В.П. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств: - Х.: Еспада, 2005. – 432 с.
4. Берник П.С., Стецько З.А., Паламарчук І.П. та ін. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: Навч посібник. Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка“, 2004. – 336 с.
5. Закалов О.В., Закалов І.О. Технологічне обладнання харчових виробництв:— Тернопіль., 2000, - 406 с.
6. Заплетніков І.М., Мирончук В.Г., Кудрявцев В.М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв: навч. посібник. К.: “Кафедра”, “Центр учбової літератури”, 2012.
7. Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / За ред. В.Г. Мирончука. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
8. Мирончук В.Г., Орлов Л.О. та інші. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. – Вінниця, 2004. – 282с.
9. Сай В.А. Технологічне обладнання харчових виробництв (Курс лекцій). Електронний посібник. Довідка № 20. Луцьк: Луцький НТУ, 2018.
11. Теплообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва : навчальний посібник / І.П. Паламарчук [та ін.]. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2006. – 368 с
12. Петько В.Ф., Гапонюк О.І., Петько Є.В., Ульяницький А.В. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерських виробництв. Підручник. / За ред. О.І. Гапонька – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 432 с.
13. Рвачов В.В., Гуртовий М.В. Технологічне обладнання харчових виробництв (Механічне обладнання): Навч. пос. для студ. мех. факультетів. - Одеса:Астропринт, 2005. - 352 с.
14. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. — 2-е видання, доп. та випр. — Х.: Світ Книг, 2014. — 495 с.

## Зміст

### Передмова

1. Будова, принцип роботи і розрахунок механізмів для видалення легких та важких домішок.....	4
2. Будова, принцип роботи і розрахунок мийних машин.....	15
3. Будова, принцип роботи і розрахунок обладнання для просіювання сипких харчових продуктів.....	25
4. Будова, принцип роботи робочих органів обладнання для подрібнення харчових продуктів та розрахунок обладнання для подрібнення харчових продуктів.....	36
5. Будова і принцип роботи центрифуг та розрахунок центрифуги з циліндрично-конічним ротором.....	51
6. Будова, принцип роботи пресів та розрахунок преса для виготовлення макаронних виробів.....	60
7. Будова і принцип роботи та розрахунок поверхневих теплообмінних апаратів.....	74
8. Конструкція та розрахунки параметрів камерної сушарки.....	91
9. Будова і принцип роботи та розрахунок дифузійних апаратів.....	105
10. Будова, принцип роботи та розрахунок промислових печей.....	120
11. Будова, принцип роботи та розрахунок параметрів автоклава.....	131
12. Будова, принцип роботи та розрахунок параметрів прес-гранулятора.....	144
Використана література	

T38 Технологічне обладнання галузі [Текст]: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Харчові технології» галузі знань 18 Виробництво та технології спеціальності 181 Харчові технології денної та заочної форм навчання / уклад. В. Сай. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – 158 с.

Методичне видання складено відповідно до робочої програми курсу «Технологічне обладнання галузі», містить методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технологічне обладнання галузі» і рекомендовану літературу.

Комп'ютерний набір та верстка: В. Сай

Підп. до друку 2021 р.  
Формат 60×84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.  
Ум. друк. арк. \_\_\_\_ . Обл.-вид. арк. \_\_\_\_  
Тираж \_\_\_\_ . Зам. № \_\_\_\_

Інформаційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету  
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75  
Друк – ІВВ Луцького НТУ

