

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Чернігівська політехніка»

# **Інноваційний інжиніринг харчових виробництв**

**Методичні вказівки**  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Інноваційний інжиніринг харчових виробництв»  
для здобувачів другого рівня вищої освіти  
за спеціальністю 181 «Харчові технології»  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»

**Затверджено**  
на засіданні кафедри  
«Автомобільний транс-  
порт та галузеве маши-  
нобудування»  
Протокол № 13  
від 14.06.2021 р.

Чернігів НУ «Чернігівська політехніка» 2021

Інноваційний інжиніринг харчових виробництв. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів другого рівня вищої освіти за спеціальністю 181 «Харчові технології» освітньо-професійної програми «Харчові технології». / Укл.: Кальченко В.В., Пасов Г.В., Цибуля С.Д. – Чернівці: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – 24 с.

Укладачі:

Кальченко Володимир Віталійович  
доктор технічних наук, професор  
Пасов Геннадій Володимирович  
кандидат технічних наук, доцент  
Цибуля Сергій Дмитрович  
доктор технічних наук, професор

Відповідальний за випуск:

Кальченко В.І., завідувач кафедри  
«Автомобільний транспорт та галузеве  
машинобудування»,  
доктор технічних наук, професор

Рецензент:

Следнікова О.С., кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Автомобільний транспорт  
та галузеве машинобудування»  
національного університету  
«Чернігівська політехніка»

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## Розрахунок молоткастої дробарки

### 1.1 Мета роботи

Вивчення теоретичних основ процесу подрібнення твердих матеріалів; знайомство з класифікацією дробарок, їх конструкціями і принципом роботи; виконання розрахунку молоткастої дробарки.

### 1.2 Завдання

Виконати розрахунок молоткастої дробарки, якщо задані:  $D$  – діаметр ротора дробарки, м;  $v$  – мінімальна окружна швидкість молотків, м/с; конструктивні розміри молотка прямокутної форми з одним отвором (рис. 6.3) :  $a$  – довжина, м;  $b$  – ширина, м;  $\delta$  – висота, м;  $c$  – відстань від центру тяжіння молотка до осі підвісу, м;  $l$  – відстань від осі підвісу до кінця молотка, м; I - I, II - II, III - III – перерізи молотка.

### 1.3 Теоретична частина

Процеси подрібнення (рисунок 1.1) умовно розділяють на дроблення (велике, середнє і дрібне) і подрібнення (тонке і надтонке).

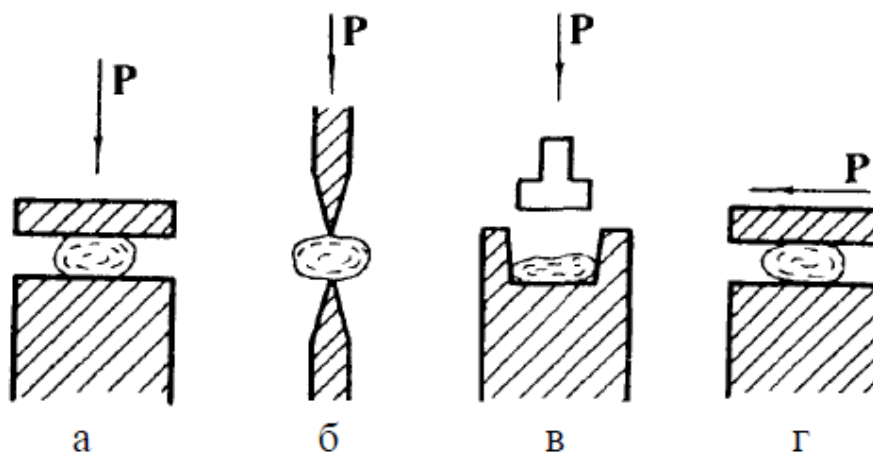


Рисунок 1.1 – Способи подрібнення матеріалів:

*а – розчавлювання; б – розколювання; в – удар; г – стирання.*

У більшості випадків ці види дії на матеріал використовують у комбінованій формі; при цьому, зазвичай, основне значення має один з них, що обумовлено конструкцією машини для подрібнення. Так, дроблення твердих і крихких матеріалів роблять розчавлюванням, розколюванням і ударом, твердих і в'язких – розчавлюванням і стиранням.

Результат подрібнення характеризується мірою подрібнення, що дорівнює відношенню середнього характерного розміру  $D$  шматка матеріалу до подрібнення до середнього характерного розміру  $d$  шматка після подрібнення

$$i = \frac{D}{d}, \quad (1.1)$$

Подрібнення здійснюється під дією зовнішніх сил, що долають сили взаємного зчеплення часток матеріалу. При дробленні шматки твердого матеріалу спочатку піддаються об'ємній деформації, а потім руйнуються по ослаблених дефектами (макро- і мікротріщинами) перерізах з утворенням нових поверхонь. Робота, що корисно витрачається на дроблення, витрачається на об'ємну деформацію руйнованих шматків і на утворення нових поверхонь. Повна робота  $A$ , Дж, зовнішніх сил при дробленні описується рівнянням Ребиндера

$$A = K + \frac{\sigma_p^2 V}{2E} m_y + k_R \Delta S \alpha, \quad (1.2)$$

де  $K$  – енергія, що витрачається на процеси деформації і утворення продуктів зносу робочих органів подрібнюючої машини, Дж;

$\sigma_p$  – напруження руйнування подрібнюваного матеріалу, Н/м<sup>2</sup>;

$V$  – об'єм подрібнюваного матеріалу, м<sup>3</sup>;

$E$  – модуль пружності подрібнюваного матеріалу, Н/м<sup>2</sup>;

$m_y$  – число циклів деформацій часток подрібнюваного матеріалу;

$k_R$  – енергія, що витрачається на утворення 1 м<sup>2</sup> нової поверхні для цього матеріалу, Дж;

$\Delta S = (S_K - S_H)$  – новостворена поверхня ( $S_K$ ,  $S_H$  – відповідно загальна поверхня матеріалу до і після подрібнення), м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує процес утворення нової поверхні

$$\alpha = (S_K / S_H)^n, \quad (1.3)$$

тут  $n$  – показник ступеня, залежний від умов подрібнення.

За призначенням машини для подрібнення умовно діляться на дробарки великого, середнього і дрібного дроблення і млина тонкого і надтонкого подрібнення.

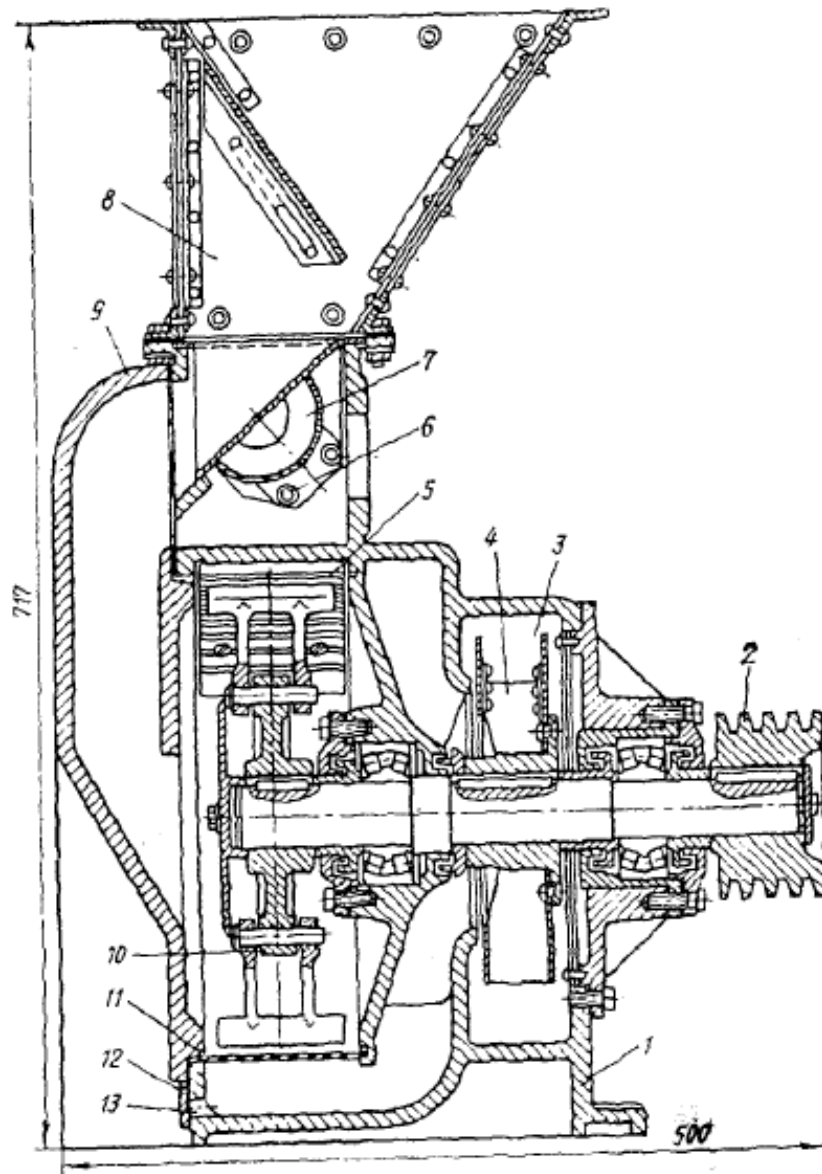
За основним способом механічної дії на матеріал машини для подрібнення можна розділити на такі що, розколюють, роздавлюють, розтирають-роздавлюють, ударні, ударно-розтираючі і колоїдні подрібнювачі.

Залежно від конструкції розрізняють щічні, конусні, валкові і молоткасті дробарки, дезінтегратори і дисмембратори, барабанні, кільцеві (роліко-маятникові), кульові вібраційні струминні млини.

На харчових підприємствах велике поширення отримали молоткасті дробарки – машини ударної дії, використовувані для отримання високосперсної суміші подрібнених часток. Вони ефективні при руйнуванні крихких матеріалів (цукру-піску, солі, зерна та ін.) і менш ефективні при подрібненні вологих продуктів з високим вмістом жиру. У таких машинах руйнування продукту відбувається в результаті ударів по ньому сталевих

молотків, ударів часток продукту об кожух дробарки і стирання їх об штамповане сито, що є основною частиною корпусу дробарки.

Молоткаста дробарка (рисунок 1.2) для отримання високодисперсної суміші подрібнених часток влаштована таким чином.



*Рисунок 1.2 – Молоткаста дробарка:*

*1 – корпус, 2 – шків, 3 – камера для колеса вентилятора, 4 – колесо вентилятора, 5 – нерухома дека, 6 – коробка для магнітів, 7 – постійні магніти, 8 – приймальний бункер, 9 – кришка, 10 – ротор, 11 – сито, 12 – планка, 13 – щілина для подачі повітря.*

У корпусі 1 змонтовані ротор 10 з молотками і на одному валу з ним колесо вентилятора 4; змінне сито 11 і нерухома дека 5. Колесо вентилятора обертається в камері 3 корпуси дробарки. На корпусі розташований приймальний бункер 8, а у бункері – засувка для регулювання кількості продукту, що поступає. Для очищення початкового продукту від метало-

домішок в латунній коробці 6 встановлені постійні магніти 7. У передній стінці корпусу передбачені щілини 13 для додаткової подачі повітря в дробарку. Величина цих щілин регулюється спеціальною планкою 12. Ротор 10 дробарок приводиться в обертання від електродвигуна через клинопасову передачу і шків 2. Наявність кришки 9 в корпусі і консольне розташування ротора дозволяють легко замінювати молотки і сита при зношуванні робочих поверхонь.

#### 1.4 Розрахункова частина

Щоб на вал і підшипники не передавалися імпульси від молотків, квадрат радіусу інерції молотка  $r_c$  відносно точки його підвісу до диска має дорівнювати відстані з від центру тяжіння молотка до осі підвісу, помноженому на відстань  $l$  від тієї ж осі підвісу до кінця молотка, тобто

$$r_c^2 = c \cdot l, \quad (1.4)$$

де  $c$  – відстань від центру тяжіння молотка до осі підвісу, м;

$l$  – відстань від осі підвісу до кінця молотка, м.

Для дотримання цієї умови координати точки підвісу пластинчатого молотка прямокутної форми з одним отвором (рисунок 6.3) визначаємо по рівнянню

$$c = \frac{(a^2 + b^2)}{6 \cdot a}, \quad (1.5)$$

де  $a$  і  $b$  – відповідно довжина і ширина молотка, м (рисунок 1.3).

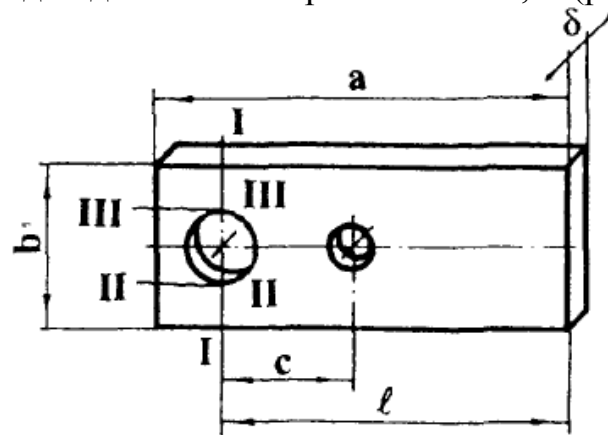


Рисунок 1.3 – Молоток прямокутної форми з одним отвором

Квадрат радіусу інерції молотка відносно його центру тяжіння,  $m^2$

$$r_{ц.м}^2 = (a^2 + b^2) / 12. \quad (1.6)$$

Квадрат радіусу інерції молотка відносно його осі підвісу,  $m^2$

$$r_o^2 = r_{ц.м}^2 + c^2. \quad (1.7)$$

Відстань від кінця молотка до його осі підвісу, м

$$l = c + 0,5 \cdot a, \quad (1.8)$$

Перевірка забезпечення безударної роботи молотка

$$r_c^2 = c \cdot l, \quad (1.9)$$

Конструктивне призначення відстані від осі підвісу молотка до осі ротора (щоб уникнути порушення стійкої роботи молоткастої дробарки ця відстань має бути більше відстані від кінця молотка до його осі підвісу), м

$$l_0 > l \quad \text{або} \quad l_0 = l + (3 \div 6) \cdot 10^{-3}, \quad (1.10)$$

Радіус найбільш віддаленої від осі ротора точки молотка  $R_l$ , м

$$R_l = l_0 + l, \quad (1.11)$$

Частота обертання ротора  $\omega$ ,  $c^{-1}$

$$\omega \geq v / R_l, \quad (1.12)$$

Відцентрова сила інерції молотків  $F$ , Н

$$F = G_M \cdot \omega^2 \cdot R_c \quad (1.13)$$

де  $G_M = V_M \rho_M$  – маса молотка, кг;

$V_M$  – об'єм молотка,  $m^3$ ;

$\rho_M = 7800 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі;

$R_c = (l_0 + c)$  – радіус кола розташування центрів тяжіння молотків, м.

Діаметр осі підвісу молотка  $d$ , м

$$d = 1,36 \sqrt[3]{F \cdot \delta / [\sigma]_u}, \quad (1.14)$$

де  $[\sigma]_u = 10^8 \text{ Па}$  – максимальне напруження, що допускається, при вигині.

Товщина ротора  $H$ , м

$$H \geq \frac{F}{d [\sigma]_{cm}}, \quad (1.15)$$

де  $[\sigma]_{cm} = 8 \cdot 10^7 \text{ Па}$  – допустиме напруження, що допускається на зминання.

Мінімальний розмір перемички між отворами під осі підвісу і зовнішньою кромкою диска  $h_{min}$ , м

$$h_{min} \geq \frac{0,5F}{\delta \cdot [\sigma]_{cd}}, \quad (1.16)$$

де  $[\sigma]_{cd} = 175 \cdot 10^6 \text{ Па}$  – допустима межа напруження, що виникає при зрушенні (здви́г).

Зовнішній радіус диска  $R_0$

$$R_0 = l_0 + 0,5d + h_{min}. \quad (1.17)$$

Діаметр валу в небезпечному перерізі у шківів  $d_0$ , м

$$d_o = 0,052 \sqrt[3]{N / \omega}. \quad (1.18)$$

Продуктивність молоткастої дробарки  $Q$ , кг/с

$$Q = K_1 \rho_n D^2 L \omega, \quad (1.19)$$

де  $K_1$  – емпіричний коефіцієнт, який залежить від типу і розмірів отворів ситової поверхні, фізико-механічних властивостей сировини (вид, міцність, геометричні розміри та ін.);

$K_1 = (1,3 \dots 1,7) \cdot 10^{-4}$  для сит з розміром отворів до 3 мм;

$K_1 = (2,2 \dots 5,2) \cdot 10^{-4}$  для лускатих сит з розміром отворів від 3 до 10 мм (менші величини  $K_1$  приймають для сит з меншими розмірами отворів);

$\rho_n$  – густина продукту що, подрібнюється, кг/м<sup>3</sup>;

$L$  – довжина ротора дробарки, м;  $L = (0,32 \dots 0,64) \cdot D$ .

Потужність електродвигуна молоткастої дробарки  $N$ , кВт

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot \rho_n \cdot D^2 \cdot L \cdot \omega, \quad (1.20)$$

де  $K_2 = (6,4 \dots 10,5)$  – емпіричний коефіцієнт, що враховує міру подрібнення продукту (меншого значення  $K_2$  набувають при грубому подрібненні, а більше – при тонкому).

Визначимо напруження, що виникає в молотку від відцентрової сили. Напруження при одновісному розтягуванні, що виникає в перерізі I - I (дивись рисунок 1.3), Па

$$\sigma_{I-I} = \frac{F}{(b-d) \cdot \delta}, \quad (1.21)$$

Напруження, що допускається, при цьому визначається по формулі

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}, \quad (1.22)$$

де  $n$  – запас міцності ( $n = 5$  – для молотка)

$\sigma_T$  – межа текучості,  $\sigma_T = 950 \cdot 10^6$  Па.

Напруження руйнування  $\tau$ , Па, в перерізах II - II і III - III (дивись рисунок 1.3)

$$\tau = \frac{F}{\delta \cdot (a-c-d)}, \quad (1.23)$$

Напруження зминання  $\sigma_{см}$ , Па, що виникає в молотку

$$\sigma_{см} = \frac{F}{\delta \cdot d}, \quad (1.24)$$

Розрахункові значення напружень на розтягування, зрушення і зминання порівнюють з гранично допустимими значеннями напружень для сталі 30ГХС.

### 1.5 Контрольні питання

1. Які способи подрібнення матеріалів ви знаєте?
2. Яка класифікація видів дроблення матеріалів в залежності від міри подрібнення?



3. Що називається мірою подрібнення?
4. Під дією яких сил здійснюється подрібнення?
5. На що витрачається робота, що супроводжує подрібнення матеріалу?
6. Як класифікують машини для подрібнення? Яка коротка характеристика кожного типу машини?
7. У яких галузях харчової промисловості використовуються дробарки?
8. Які види напружень виникають в молотку дробарки і процесі подрібнення?
9. Яка основна умова, що усуває передачу ударних імпульсів від молотків на вал і підшипники дробарки?
10. Як в молоткастих дробарках регулюється міра подрібнення матеріалу?

Таблиця 1.1 – Варіанти індивідуальних завдань

Номер варіанта	$D$ , м	$b$ , м	$a$ , м	$v$ , м/с	$\delta$ , м	Марка дробилки
1	0,031	0,035	0,080	78	0,008	А1-КДО
2	0,032	0,035	0,080	78	0,008	
3	0,033	0,035	0,080	79	0,008	
4	0,034	0,035	0,080	79	0,008	
5	0,035	0,035	0,081	80	0,008	
6	0,035	0,036	0,081	80	0,008	
7	0,034	0,036	0,081	81	0,008	ДДК
8	0,034	0,036	0,081	81	0,009	
9	0,033	0,036	0,081	82	0,009	
10	0,033	0,036	0,082	82	0,009	
11	0,032	0,036	0,082	83	0,009	
12	0,032	0,037	0,082	83	0,009	
13	0,031	0,037	0,082	84	0,009	А1-КДП
14	0,031	0,037	0,082	84	0,009	
15	0,031	0,037	0,083	83	0,009	
16	0,032	0,037	0,083	83	0,009	
17	0,032	0,037	0,083	82	0,008	
18	0,032	0,038	0,083	82	0,008	
19	0,033	0,038	0,083	81	0,008	ДДМ
20	0,033	0,038	0,084	81	0,008	
21	0,034	0,038	0,084	80	0,008	
22	0,034	0,038	0,084	80	0,008	
23	0,035	0,039	0,085	79	0,009	
24	0,035	0,039	0,085	79	0,009	
25	0,036	0,039	0,085	78	0,009	

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### Розрахунок гомогенізатора

#### 2.1 Мета роботи

Вивчення теоретичних основ процесу гомогенізації, знайомство з класифікацією гомогенізаторів, вивчення пристрою і принципу дії плунжерного гомогенізатора і придбання практичних навичок за розрахунком плунжерних гомогенізаторів.

#### 2.2 Завдання

Виконати розрахунок гомогенізатора, якщо задані:  $D$  – діаметр плунжера, м;  $S$  – хід плунжера, м;  $\omega$  – кутова швидкість обертання колінчастого валу, рад/с;  $z$  – число плунжерів, шт.;  $P$  – тиск гомогенізації, Па.

#### 2.3 Теоретична частина

Гомогенізацією називається процес подрібнення рідких і пюреподібних харчових продуктів за рахунок пропускання під великим тиском з високою швидкістю через вузькі кільцеві щілини. В результаті дії на продукт різних гідродинамічних чинників відбувається дроблення твердих часток продуктів і їх інтенсивна механічна обробка.

Гомогенізація не лише змінює дисперсність білкових компонентів продукту, але і впливає на фізико-хімічні властивості продукту (щільність, в'язкість та ін.).

Гомогенізатори підрозділяються на клапанні, дискові або відцентрові і ультразвукові. Основним чинником, що визначає конструкцію гомогенізаторів, є кількість плунжерів. За цією ознакою гомогенізатори, що випускаються, можна підрозділити на одно-, трьох- і п'ятиплунжерні.

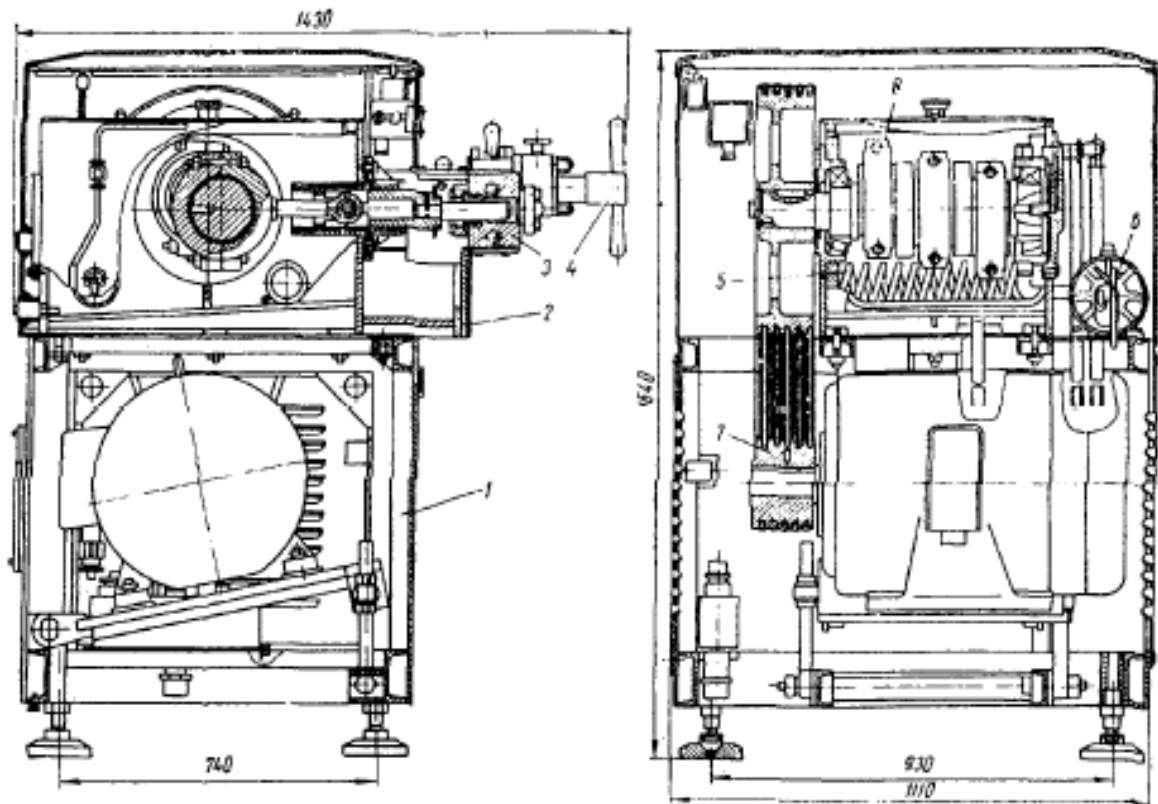
Найбільше поширення отримали клапанні гомогенізатори, основними вузлами яких є насос високого тиску і гомогенізуюча голівка.

Гомогенізатор (рисунок 2.1) включає станину, корпус, привід, кривошипно-шатуновий механізм, плунжерний блок, двохступінчасту гомогенізуючу голівку, манометричний пристрій, запобіжний клапан системи мащення і охолодження.

Усередині станини встановлений електродвигун на плиті, яка міняє своє положення за рахунок повороту відносно осі, закріпленої з одного боку плити. Станина має чотири регульовані ніжки з підкладками. Згори на ній укріпленний корпус, в якому поміщаються кривошипно-шатуновий механізм, система охолодження, фільтр системи мащення.

Корпус виконаний у вигляді резервуару з похилим дном для стікання оливи. Рівень оливи в нім повинен знаходитися на такій висоті, щоб кривошипно-шатуновий механізм своєю великою голівкою міг діставати його

при обертанні колінчастого валу і розбризкувати у напрямі повзунової групи.



*Рисунок 2.1 – Гомогенізатор:*

*1 – станина; 2 – корпус; 3 – плунжерний блок; 4 – гомогенізуюча голівка; 5 – система охолодження; 6 – система мащення; 7 – привід; 8 – кривошипно-шатуновий механізм*

Кривошипно-шатуновий механізм перетворить обертальний рух, переданий клинковою стрічковою передачею від електродвигуна, в зворотно-поступальний рух плунжерів. На колінчастому валу кривошипно-шатунового механізму встановлені ведений шків і шатуни. Вал обертається в конічних упорних підшипниках, зовнішні кільця яких підискаються кришками.

Система охолодження складається з патрубків для підведення і відведення води, трубчастого змійовика, укладеного по дну корпусу, і трубки з отворами, встановленої над плунжерами. Воду підводять через вхідні патрубки і подають до плунжерів. Частина води проходить в змійовику, охолоджує оливу і потім відводиться з гомогенізатора.

Продуктивність гомогенізатора регулюється частотою обертання електродвигуна і колінчастого валу та зміною ексцентриситету кривошипа.

Основними робочими органами гомогенізуючої голівки є сідло і клапан, від конструкції яких залежить міра дисперсності часток при гомогенізації. Клапанна щілина може бути гладкою і хвилеподібною з постійним

або змінним перерізом. Для подолання опору при проходженні через вузьку щілину продукт подається під великим тиском (до 20 МПа). Сила, що прикладається при подачі продукту, піднімає клапан, і між ним і сідлом утворюється вузький канал, через який протікає рідина. Клапан залишається над сідлом в плаваючому стані, і внаслідок зміни гідродинамічних умов, висота каналу постійно міняється.

Сила, з якою клапан притискається до сідла, створюється найчастіше пружиною, в деяких конструкціях – оливою під тиском, і може регулюватися. Вона визначається тиском, з яким здійснюється подача продукту.

Рівень подрібнення залежить від тиску, конструкції гомогенізуючої голівки, рівномірності подачі, стану і попередньої обробки продукту.

За типом гомогенізуючої голівки гомогенізатори можна підрозділити на одно-, двох- і багатоступінчасті. Гомогенізуюча голівка є вузлом гомогенізатора, де безпосередньо відбувається диспергування оброблюваного середовища.

Двоступінчата голівка (рисунок 2.2) складається з корпусу 3 і клапанного пристрою, основними частинами якого є сідло клапана 1 і клапан 2. Клапан пов'язаний з штоком, на виступ якого давить пружина 6. Сила стикування пружини регулюється шляхом переміщення накидної гайки 5 з штурвалом, яка разом з пружиною, штоком 7 і втулкою 8 утворюють пристрій 4, що натискає. Рідина, що нагнітається насосом під тарілку клапана, давить на тарілку і відтискає клапан від сідла, долаючи опір пружини. У щілину, що утворюється між клапаном і сідлом, заввишки від 0,05 до 2,50 мм проходить з великою швидкістю рідину, гомогенізуючись при цьому.

#### 2.4 Розрахункова частина

Продуктивність плунжерного гомогенізатора  $G$ , м<sup>3</sup>/с

$$G = 0,25 \cdot D^2 \cdot S \cdot \omega \cdot z \cdot \eta_H, \quad (2.1)$$

де  $D$  – діаметр плунжера, м;

$S$  – хід плунжера, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання колінчастого валу, рад/с;

$z$  – число плунжерів, шт.;

$\eta_H$  – ККД насоса ( $\eta_H = 0,80 \div 0,90$ ).

Потужність електродвигуна гомогенізатора  $N$ , кВт

$$N = \frac{G \cdot P}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.2)$$

де  $P$  – тиск гомогенізації, Па;

$\eta$  – ККД гомогенізатора ( $\eta = 0,75 \div 0,85$ ).

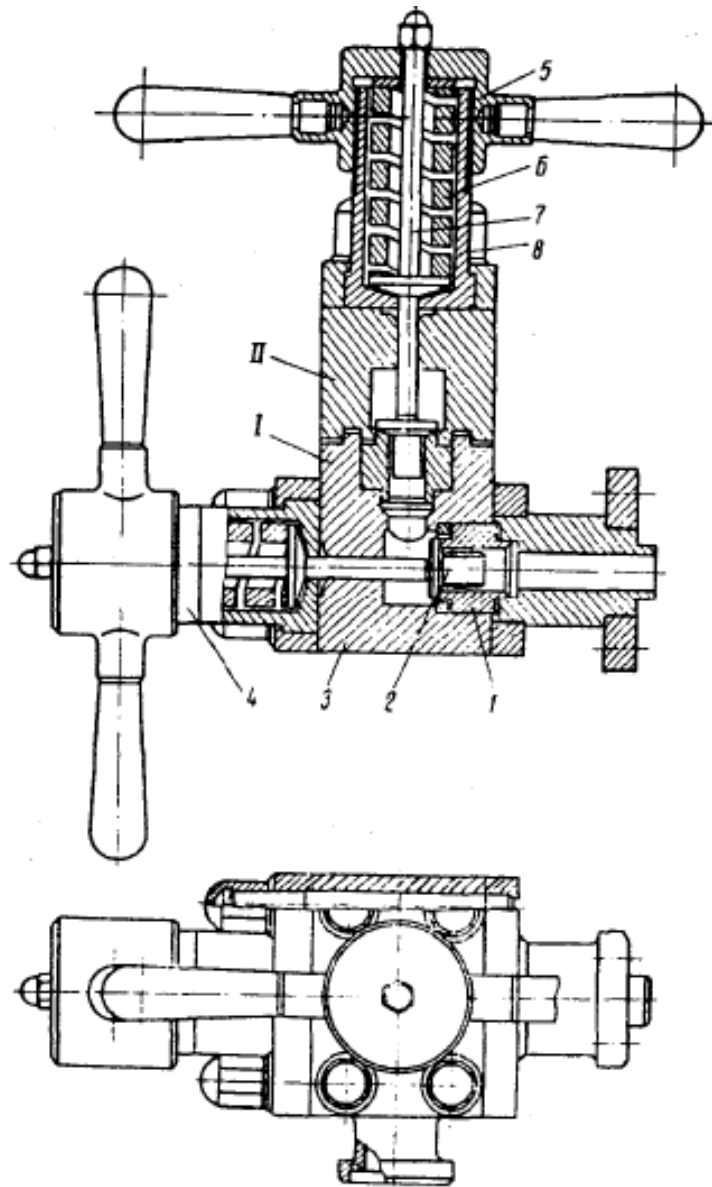


Рисунок 2.2 – Гомогенізуюча голівка:

*I* – перший ступінь; *II* – другий ступінь; 1 – сідло клапана; 2 – клапан;  
3 – корпус; 4 – натискний пристрій; 5 – накидна гайка; 6 – пружина; 7 – шток; 8 – стакан.

Товщина тарілки клапана  $h_{\text{кл}}$ , м

$$h_{\text{кл}} = 0,43 \cdot d_{\text{кл}} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} \quad (2.3)$$

де  $d$  – діаметр клапана, м

$P$  – тиск гомогенізації, Па;

$[\sigma]$  – напруження, що дозволяється для матеріалу клапану ( $24 \cdot 10^7$  Па).

$$d_{\text{кл}} = \sqrt{1,27 \cdot \left( \Delta F + \frac{G}{6 \cdot v_{\text{д}} \cdot z} \right)} \quad (2.4)$$

де  $\Delta F$  – площа перерізу хвостовика, м;

$v_d$  – швидкість рідини в сідлі, що допускається, м/с (для всмоктуючого клапана – 2 м/с, а для нагнітального – 5...8 м/с).

$$\Delta F = \pi \cdot r_k^2, \quad (2.5)$$

тут  $r_k$  – радіус хвостовика,  $r_k = (4 \div 5) \cdot 10^{-3}$ , м.

Пружину нагнітального клапана розраховують, виходячи з необхідного зусилля  $P_{пр}$  при закритому клапані

$$P_{пр} = \frac{G \cdot \omega \cdot M \cdot (1 + \lambda)}{14 \cdot d_{кл}^2 \cdot z}, \quad (2.6)$$

де  $M$  – маса клапана, кг ( $M = 0,4$  кг);

$\lambda$  – відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна ( $\lambda = 0,15 \dots 0,20$ );

$d_{кл}$  – діаметр клапана, м.

Сила стискування пружини при робочій деформації  $P_d$ , Н

$$P_d = 1,5 \cdot P_{пр}, \quad (2.7)$$

Жорсткість пружини  $J$ , Н/м

$$J = (P_d - P_{пр}) / h, \quad (2.8)$$

де  $h$  – висота пружини, м ( $h = 0,10 \div 0,14$  м).

При гомогенізації частина механічної енергії перетворюється на теплоту, внаслідок чого відбувається підвищення температури продукту  $\Delta t$ , К

$$\Delta t = \frac{P}{c \cdot \rho}, \quad (7.9)$$

де  $P$  – тиск гомогенізації, Па;

$c = 3880$  Дж/(кг·К) – питома теплоємність молока;

$\rho = 1033$  кг/м<sup>3</sup> – густина молока, кг/м<sup>3</sup>.

Середній діаметр жирових кульок, м, в діапазоні зміни тиску від 2,0 до 20,0 МПа визначається по формулі Н.В. Барановського

$$d_{ср} = \frac{3,8 \cdot 10^6}{\sqrt{P}}, \quad (2.10)$$

де  $P$  – тиск гомогенізації, МПа.

Розрахунок запобіжних клапанів можна звести до визначення прохідного перерізу сідла клапана з урахуванням в'язкості оброблюваної рідини. Для малов'язких рідин (молоко, соки) діаметр, м, прохідного перерізу сідла визначається по формулі

$$D_c = \frac{\sqrt{G}}{4 \sqrt{\frac{(P - P_B)}{\delta_B}}}, \quad (2.11)$$

де  $P_B$  – тиск всмоктування, МПа ( $P_B = 0,2$  МПа);

$\delta_B$  – відношення маси перекачуваної рідини до маси води (для молока  $\delta_B = 1,03$ ).

## 2.5 Контрольні питання

1. Що називається гомогенізацією?
2. Назвіть класифікацію гомогенізаторів.
3. Які види гомогенізуючих голівок використовуються в гомогенізаторах?
4. Як влаштований і працює гомогенізатор?
5. Які типи гомогенізаторів використовуються в промисловості?
6. Від яких чинників залежить міра гомогенізації?
7. Як регулюється продуктивність гомогенізатора?

Таблиця 2.1 – Варіанти індивідуальних завдань

Номер варіанта	$D$ , мм	$S$ , мм	$\omega$ , рад/с	$z$ , шт.	$p$ , МПа	Чертеж гомогениза- тора
1	25	10	36,1	5	25,5	КС-ОГА-10
2	35	60	38,1	3	20,3	
3	20	10	36,2	5	25,6	
4	30	60	38,2	3	19,8	
5	22	10	36,3	5	25,7	
6	32	60	38,3	3	19,9	АІ-ОГМ
7	24	10	36,4	5	25,1	
8	34	60	38,4	3	20,1	
9	21	10	36,5	5	25,4	
10	31	60	38,5	3	20,3	
11	23	10	36,6	5	25,9	КС-ОГА-10
12	33	60	38,6	3	20,4	
13	25	10	36,7	5	25,8	
14	35	60	38,7	3	20,5	
15	20	10	36,8	5	26,3	АІ-ОГМ
16	30	60	38,8	3	20,7	
17	22	10	36,9	5	24,9	
18	32	60	38,9	3	20,9	
19	25	10	36,1	5	26,0	"Кевац"
20	35	60	38,1	3	20,4	
21	20	10	36,2	5	26,7	
22	30	60	38,2	3	20,9	
23	22	10	36,3	5	22,6	
24	32	60	38,3	3	21,7	
25	20	10	36,4	5	26,3	

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### Розрахунок протиральної машини

#### 3.1 Мета роботи

Вивчення теоретичних основ процесу розподілу методом протирання, знайомство з класифікацією протиральних машин, їх пристроєм і принципом дії, придбання практичних навичок за розрахунком протиральних машин.

**3.2 Завдання:** виконати розрахунок протиральної машини, якщо задані: продуктивність машини  $Q$ , кг/с; вид го сировини, що переробляється; діаметр отворів в ситі  $d_c$ , мм; радіус бичів  $R$ , м; число бичів  $z$ , шт.; крок отворів каркаса  $a_{отв}$ , м; вміст м'якуша в продукті  $\theta$ , %.

#### 3.3 Теоретична частина

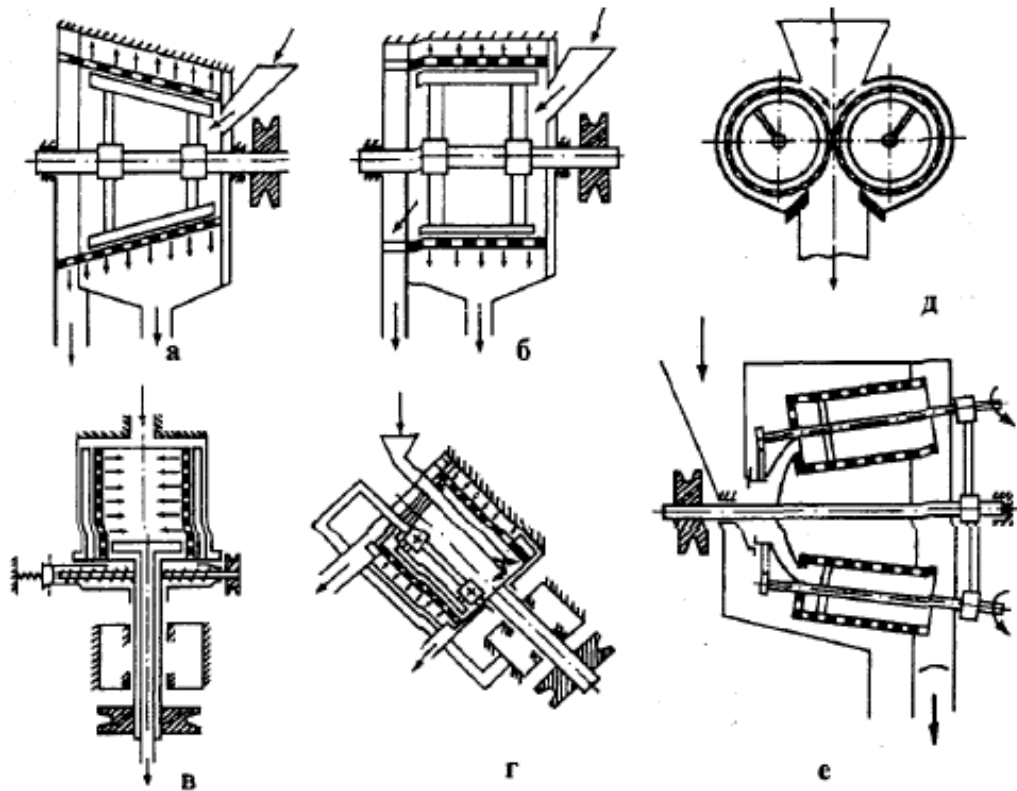
Протиральні машини використовуються у виробництві пюреподібних продуктів, соків, концентрованих томатопродуктів і інших рослинних напівфабрикатів. Вони служать для розподілу рослинної сировини на дві фракції: рідку з м'якушем, з якого виготовляються консервовані продукти, і тверду, таку, що є відходами (шкірка, насіння, кісточки, плодоніжки і тому подібне).

Протирання – це процес відділення маси плодоовочевої сировини від кісточок, насіння, шкірки шляхом продавлювання на ситах через отвори з діаметром 0,7...5,0 мм.

Фінішування – це додаткове, тонше подрібнення протертої маси шляхом пропускання через сито з діаметром отворів менше 0,4 мм. В процесі протирання або фінішування маса, що переробляється, потрапляє на поверхню бича, що рухається. Під дією відцентрової сили вона притискається до робочого сита. Напівфабрикат через отвори проходить у збірник, а відходи під дією сили, обумовленої кутом випередження бичів, просувається до виходу робочого сита.

Протиральні машини класифікуються за наступними ознаками: по числу барабанів – одинарні, здвоєні і потрійні; за принципом дії – бичеві і безбичеві; за формою барабанів - з циліндричним або конічним барабаном; за призначенням – для насінних плодів, для кісточкових плодів і універсальних; за способом регулювання продуктивності – з кутом випередження бичів, що змінюється, проміжком, що змінюється, між бичами і барабаном, частотою обертання ротора (рисунок 3.1), що змінюється.



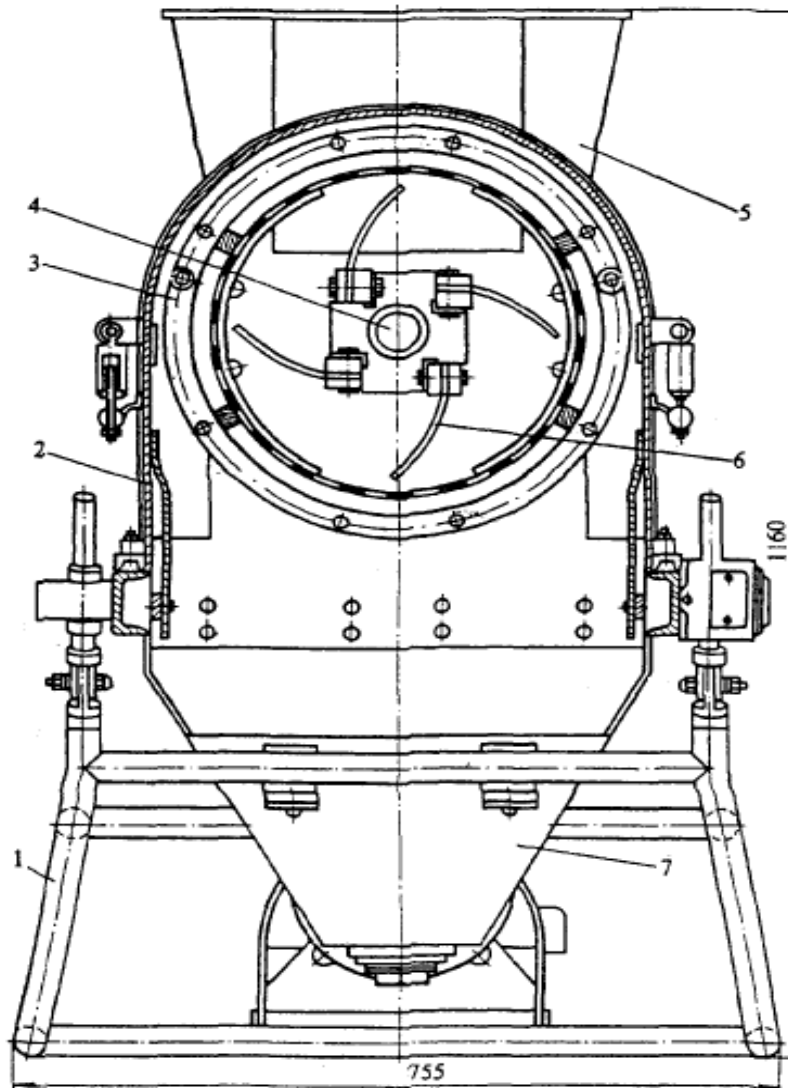


*Рисунок 3.1 – Основні конструктивні схеми протиральних машин:  
 а – з конічним сітчастим барабаном; б – з циліндричним сітчастим барабаном; в – з вертикальним сітчастим барабаном, що обертається, при зовнішній подачі сировини; г – з похилим сітчастим барабаном, що обертається, і внутрішньою подачею сировини; д – двохбарабанна безбичева протиральна машина; е – трьохбарабанна безбичева протиральна машина*

Основними робочими органами протиральних машин є сітчастий барабан, бичевий пристрій, пристрої завантаження сировини на бичі і видалення відходів з барабана.

Протиральна машина (рисунок 3.2), призначена для відділення кісточок плодів (яблук, слив і так далі) від м'якуша, складається з корпусу 2, станини 1, петельного валу 4, завантажувального бункера 5, збірника 7 і приводу. У середині корпусу машини на двох підшипниках ковзання обертається петельний вал з чотирма рядами петель 6 і встановлена сітка 3 з отворами діаметром 5 мм, укріплена для жорсткості в каркасі. Вал приводиться в обертання від електродвигуна через редуктор.

Плоди поступають в машину через завантажувальний бункер. Потрапивши в порожнину, що утворюється ситом, плоди розбиваються петельним валом і відкидаються на сітку.



*Рисунок 3.2 – Протиральна машина:  
 1 – станина; 2 – корпус; 3 – сітка; 4 – петельний вал; 5 – завантажувальний бункер; 6 – петлі; 7 – збірник.*

Рідка фаза плодів і м'якуш проходить крізь сито в порожнину між ситом і корпусом, звідки стікають у збірник. Кісточки просуваються до вихідного лотка і по ньому сходять в тару.

Протиральні машини повинні забезпечувати якісний розподіл маси на напівфабрикат і відходи, високу питому продуктивність, мінімальну кількість відходів, низьку питому витрату енергії, однорідний і досить тонкий дисперсний склад протертого напівфабрикату, максимальну міру подрібнення.

До недоліків протиральних машин слід віднести невисоку експлуатаційну надійність, обумовлену нерівномірним зносом і швидким виходом з ладу сіток; нерівномірні навантаження на ротор внаслідок неоднакового проміжку між бичем і сіткою циліндра; низьку питому протиральну здат-

ність. Перспективними конструкціями протиральних машин є машини з сітчастим барабаном, що обертається, і нерухомими бичами.

### 3.4 Розрахункова частина

Діаметр трубопроводу для підведення оброблюваної маси в машину  $d_3$ , м

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot v_{np}}}, \quad (3.1)$$

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

$\rho$  – густина маси, що перероблюється, кг/м<sup>3</sup> (таблиця. 8.1);

$v_{np}$  – швидкість маси в завантажувальній трубі машини, м/с (рекомендується  $v_{np} = 0,5 \dots 1,0$  м/с).

Кутова швидкість обертання бичевого валу  $\omega$ , рад/с

$$\omega = \sqrt{\frac{Fr \cdot g}{R}}, \quad (3.2)$$

де  $Fr$  – чинник розділення ( $Fr = 200 \dots 300$ );

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення сили тяжіння;

$R$  – радіус бичів, м.

Таблиця 3.1 – Параметри сировини, що переробляється

Продукт	Густина маси, що перероблюється $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Масова доля м'якуша в продукті $\theta$ , %	Енергія, що витрачається на утворення 1 м <sup>2</sup> поверхні, $W$ , Дж/м <sup>2</sup>
Яблука	1070	25...40	15,0...18,5
Томати	1090	20... 30	8,0.. .12,0
Морква	1130	27...46	19,8...22,4
Груші	1060	27...45	19,0...21,8
Сливи	1040	18...28	12,0...15,0
Виноград	1030	17...26	9,0...12,0

Живий переріз каркаса сітчастого барабана при круглих отворах в каркасі:

$$\varphi_6 = \frac{d_{отв}^2}{a_{отв}^2}, \quad (3.3)$$

де  $d_{отв}$  – діаметр отворів каркаса, м;  $d_{отв} = (8 \dots 12) \cdot 10^{-3}$  м;

$a_{отв}$  – крок отворів каркаса, м.

Живий переріз сит  $\varphi_c$  орієнтовно визначається залежно від діаметру отворів в ситі

діаметр отворів в ситі, мм	0,4	0,8	1,2	2,8
живий переріз сит, $\varphi_c$	0,134	0,165	0,196	0,305

Безрозмірна продуктивність  $q$  визначається за формулою:

$$q = \frac{0,0905 \cdot Q}{(\varphi_b \cdot \varphi_c \cdot \rho \cdot R^2 \cdot \sqrt{R \cdot g})}, \quad (3.4)$$

Довжина зони активного відділення рідкої фази при протиранні томатів  $l_1$ , м

$$l_1 = R \cdot 30,4 \cdot q^{0,29} \cdot Fr^{-0,53} \cdot z^{0,31}, \quad (3.5)$$

де  $z$  – число бичей, шт.

При протиранні яблучної або іншої маси, що переробляється, довжину зони активного відділення рідкої фази збільшують на 30%. Довжина зони відцентрового віджимання  $l_2$ , м

$$l_2 = 0,11 \cdot R \quad (3.6)$$

Довжина сітчастого барабана  $l$ , м

$$l = l_1 + l_2, \quad (3.7)$$

Тривалість перебування продукту в протиральній машині  $\tau$ , с

$$\tau = \frac{L}{v_1}, \quad (3.8)$$

де  $L$  – довжина бича, м (у розрахунку приймається  $L = 1$ );

$v_1$  – швидкість переміщення продукту уздовж бича, м/с

$$v_1 = 2 \cdot R \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.9)$$

тут  $R$  – радіус бичів, м;

$\omega$  – кутова швидкість бичевого валу, рад/с;

$\alpha$  – кут випередження бича, град ( $\alpha = 1,5 \dots 6,0^\circ$ ).

Потужність приводу протиральної машини, Вт, складається із наступних величин:

потужності, що витрачається на надання продукту швидкості

$$N_1 = 0,5 \cdot Q \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (3.10)$$

потужності, що витрачається на тертя маси об сито

$$N_2 = z \cdot m \cdot \omega^3 \cdot R^2 \cdot f, \quad (3.11)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя маси об сито ( $f = 0,2 \dots 0,9$ );

$m$  - маса сировини, що обертається спільно з бичем, кг

$$m = \gamma \cdot \rho \cdot l \cdot R^2, \quad (3.12)$$

тут  $\gamma$  – емпіричний коефіцієнт ( $\gamma = 0,05$ );

$l$  – довжина барабана, м;

потужності, що витрачається на подрібнення сировини

$$N_3 = Q \cdot W \cdot F_1, \quad (3.13)$$

де  $W$  – енергія, що витрачається на утворення  $1 \text{ м}^2$  нової поверхні, Дж/м<sup>2</sup> (таблиця 3.2);

$F_1$  – площа знову утвореної поверхні при переробці 1 кг сировини, м<sup>2</sup>/кг

$$F_1 = \left( \frac{2}{\rho \cdot d_2} - \frac{2}{\rho \cdot d_1} \right) \cdot \Theta \cdot 10^{-2}, \quad (3.14)$$

тут  $d_1$  – середній розмір часток до обробки;  $d_1 = (1,0 \dots 1,5) 10^{-3}$  м;  
 $d_2$  – середній розмір часток після обробки (при обробці маси на ситі з отворами діаметром  $d_c$  приймають  $d_2 = 0,3 \cdot d_c$ , м);  
 $\Theta$  – масова доля м'якуша в продукті % (див. табл. 8.1).

Загальна потужність приводу, Вт

$$N = k \cdot (N_1 + N_2 + N_3) / \eta_m, \quad (3.15)$$

де  $k = 1,5$  – коефіцієнт запасу потужності;

$\eta_m$  – механічний ККД приводу ( $\eta_m = 0,85 \dots 0,90$ ).

### 3.5 Контрольні питання

1. Який процес називається протиранням?
2. Як класифікуються протиральні машини?
3. У чому полягає відмінність фінішерів від протиральних машин?
4. Які види бичевих пристроїв відомі?
5. Які вимоги пред'являються до протиральних машин?
6. Який пристрій і принцип дії протиальної машини?
7. Які недоліки властиві протиральним машинам?

Таблиця 3.2 – Варіанти індивідуальних завдань

Номер варіанту	Продуктивність $G$ , кг/с	Вид сировини, що переробляється	Радіус бичей $R$ , м	Діаметр отворів у ситі $d_c$ , мм	Число бичей $z$ , шт.	Крок отворів карка- су, $a_{отв}$ , мм	Марка протиральної машини
1	0,30	Яблука	0,10	0,4	2	11	КПУ-М
2	0,31	Томати	0,11	0,4	2	11	
3	0,32	Морква	0,12	0,4	2	11	
4	0,33	Груші	0,17	0,4	2	11	
5	0,34	Сливи	0,15	0,4	2	11	
6	0,35	Виноград	0,20	0,4	2	11	ІПЗІ
7	0,40	Яблука	0,12	0,6	4	12	
8	0,41	Томати	0,13	0,6	4	12	
9	0,42	Морква	0,13	0,6	4	12	
10	0,43	Груші	0,16	0,6	4	12	
11	0,44	Сливи	0,12	0,6	4	12	А9-КИТ
12	0,45	Виноград	0,18	0,6	4	12	
13	0,36	Яблука	0,14	0,8	6	13	
14	0,37	Томати	0,15	0,8	6	13	
15	0,35	Морква	0,14	0,8	6	13	
16	0,39	Груші	0,15	0,8	6	13	Т1-КП2У
17	0,40	Сливи	0,11	0,8	6	13	
18	0,43	Виноград	0,16	0,8	6	13	
19	0,41	Яблука	0,16	1,0	8	14	Т1-КП2Т
20	0,34	Томати	0,17	Г2	8	14	
21	0,38	Морква	0,15	1,2	8	14	
22	0,32	Груші	0,14	1,2	8	14	
23	0,30	Сливи	0,13	1,2	8	14	
24	0,31	Виноград	0,14	1,2	8	14	
25	0,33	Яблука	0,18	1,2	10	15	

## Список використаної літератури

1. СОУ 15.8-37-00032744-004:2005. Хліб житній, житньо-пшеничний та пшенично-житній. Технічні умови.
2. СОУ 15.8-37-00389676-559:2007. Хліб із різних сортів пшеничного борошна та їх сумішей. Український асортимент.
3. ТУ У 15.8-00389676-001:2009. Вироби булочні національні. Технічні умови.
4. Гатилин Н.Ф. Проектирование хлебозаводов. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 374 с.
5. Головань Ю.П., Ильинский Н.А., Ильинская Т.Н. Технологическое оборудование хлебопекарных предприятий. – М.: Агропромиздат, 1988. – 382 с.
6. Гришин А.С., Покотило Б.Г., Молодых Н.Н. Дипломное проектирование предприятий хлебопекарной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1986. – 247 с.
7. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. – К.: Руслана, 1998. – 416 с.
8. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. – К.: Логос, 2002. – 365 с.
9. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: Держстандарт України, 1995.

## ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 Розрахунок молоткастої дробарки .....	3
Лабораторна робота №2 Розрахунок гомогенізатора .....	10
Лабораторна робота №3 Розрахунок протиральної машини .....	16
Список використаної літератури .....	23