

## ЛЕКЦІЯ № 4

### ТЕМА: НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОБЛАДНАННЯ ПОТОКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ

#### ПЛАН

- 1 Напрямки розвитку технологічного обладнання в харчовій промисловості
- 2 Класифікація робочих органів технологічного обладнання.
- 3 Види розрахунків конструктивних елементів обладнання
- 4 Основні техніко-економічні показники технічного рівня та ефективності технологічних машин

Розвиток харчової промисловості потребує подальшої інтенсифікації технологічних процесів, зменшення витрат палива, електроенергії на їх виконання, витрат металів та інших конструкційних матеріалів на виготовлення машин та апаратів.

Харчова промисловість включає кілька важливих, складних і самостійних галузей: цукрову, спиртову, хлібопекарну, м'ясо-молочну, пиво-безалкогольну та багато інших специфічних видів виробництва харчових продуктів (кондитерське, макаронне, борошномельне).

Підприємства харчової промисловості в переважній більшості розташовуються поблизу сировинних баз. Там функціонують олієжирова, чайна, рибна та консервна промисловість.

Технічна база підприємств харчової промисловості за останні роки дуже змінилася. Поряд з обладнанням, змонтованим в попередні роки, з'явилися зразки обладнання, виготовлені українськими машинобудівними заводами, поставлені зарубіжними фірмами, сумісними підприємствами. Періодичні та постійно діючі виставки пропонують нові зразки різноманітного обладнання для виготовлення пакування та зберігання харчових продуктів.

Випуск високоякісної харчової продукції можливий тільки за умов використання сучасних видів технологічного обладнання. Досягнення високих технічних показників у його роботі забезпечує добре знання суті фізико-хімічних процесів, які відбуваються на різних стадіях виробництва, будови технологічного обладнання та прийомів раціональної його експлуатації. Це полегшує оцінку досконалості обладнання, сприяє підвищенню його надійності та довговічності, забезпечує правильний вибір потужності та режиму роботи.

### **1.1 Напрямки розвитку технологічного обладнання в харчовій промисловості**

Харчова промисловість є важливою галуззю народного господарства країни, суть якої полягає у своєчасній переробці рослинної та тваринної сировини і забезпечення масового виробництва продуктів харчування. Вона включає також виробництво продуктів у розфасованому і запакованому вигляді, що забезпечує вдосконалення системи торгівлі та зниження витрат на товарообіг.

У харчовій промисловості високими темпами впроваджується технічний прогрес. Виробництво харчових продуктів ставиться на конвеєрну основу. Окремі технологічні операції і окремі машини включаються в безперервнодіючі потокові лінії, де режими і параметри процесів контролюються і регулюються автоматизованими пристроями і системами, в яких задіяна техніка

У всіх основних галузях харчової і переробної промисловості поряд із прогресивним новітнім обладнанням використовують обладнання старих моделей з низькою продуктивністю. Кращому, більш ефективному використанню обладнання сприяє його технічне удосконалення та модернізація.

**Модернізація обладнання** – це внесення конструктивних змін у діюче на підприємстві обладнання з метою наближення його експлуатаційних якостей до рівня сучасної техніки.

**Основні шляхи модернізації обладнання такі:**

1. збільшення продуктивності;
2. поліпшення експлуатаційних показників;
3. зниження собівартості.

Це може бути досягнуто поліпшенням технічних характеристик машини (підвищенням потужності, швидкохідності, твердості, поліпшенням кінематичної схеми для сполучення ходів і т.д.); розширенням технологічної можливості машини (збільшенням кількості виконуваних операцій, поліпшенням якості і розширенням асортименту продукції); підвищенням ступеня автоматизації машини і включенням її в автоматичну поточкову лінію (створенням автоматичних завантажувальних пристроїв, дистанційного керування, сигналізації, регулювання); підвищенням довговічності машини і надійності її роботи.

*Прискорення технологічного процесу завдяки збільшенню швидкостей робочих органів*

Для збільшення продуктивності машини необхідно підвищити швидкохідність її робочих органів. Цього можна досягнути, зменшивши передаточне число привода з заміною або без заміни електродвигуна. При цьому не слід прагнути до широкого діапазону регулювання, тому що це різко ускладнює конструктивне рішення і підвищує трудомісткість робіт із модернізації.

#### *Інтенсифікація технологічного режиму*

Під час модернізації апарата в ньому слід створити певні умови (режим роботи), що забезпечують більш швидкий перебіг процесу: підвищений тиск, більш високу температуру і швидкість руху речовини, більш інтенсивне переміщення або перемішування різних речовин.

#### *Інтенсивність механічних процесів*

Інтенсивність механічних та гідромеханічних процесів можна прискорити, наприклад, за допомогою низькочастотних коливань (вібрацій), що сприяють очищенню фільтруючих елементів апарата без його розбирання (фільтрація), зменшенню тертя під час руху матеріалу об поверхню (центрифугування), створенню в рідині коливань (перемішування, мийка коренеплодів), зменшенню зусилля різання (подрібнення коренеплодів) та ін.

#### *Заходи щодо поліпшення експлуатаційних якостей обладнання*

Поліпшити експлуатаційні якості обладнання можна вживши заходів для підвищення довговічності деталей і механізмів, що забезпечують скорочення простоїв обладнання через ремонт, підвищивши безпеку обслуговування обладнання і поліпшивши санітарний стан робочих місць.

#### *Заходи щодо зниження собівартості обладнання*

Для зниження собівартості обладнання проводиться заміна дорогих або дефіцитних матеріалів більш дешевими, зменшення маси деталей, підвищення технологічності конструкції машини та ін.

## **1.2 Класифікація робочих органів**

### **1. Робочі органи різальних пристроїв**

Різальні пристрої складаються з живильника, ножів і частини для відведення (приймача нарізаного продукту). Застосовуються вони для подрібнення різних харчових продуктів (м'яса, шпика, сиру і ін.), розділення їх на шматки, пласти, кубики і інші форми.

Для цих цілей використовуються ріжучі робочі органи з **лезами**.

#### **Різання буває:**

1. вільним і обмеженим,
2. рубаючим і ковзаючим (похилим).

При **вільному** різанні ніж, що уклинюється, вільно віджимає частини продукту в сторони; при **обмеженому** – із зусиллям.

При **рубаючому** різанні лезу або продукту повідомляють зустрічний поступальний рух з деякою швидкістю.

При **похилому** різанні лезо уклинюється в продукт і ковзає по поверхні розділу.

## 2. Робочі органи молоткових і пальцевих дробарок

Молоткові дробарки застосовуються в тих випадках, коли необхідно отримати відносно добре подрібнений однорідний продукт без подальшого вживання сортувальних пристроїв.

Молоткові дробарки ефективні при подрібненні крихких продуктів (зерно, кість, лід, сіль, цукор) і менш ефективні при подрібненні продуктів з великим вмістом жиру.

Продукт в молоткових дробарках подрібнюється ударами молотків по частках продукту, ударами часток об кожух дробарки і в результаті стирання часток. Найбільшого поширення набули дробарки з вільно підвішеними молотками.

Для подрібнення і емульгування харчових продуктів знаходять вживання машин, робочі органи яких є дисками з пальцями або ріжучими зубами.

Пальці (зуби) розташовуються по кільцевих колах перпендикулярно торцевим поверхням дисків.

Прикладами машин з такими робочими органами є машина для тонкого подрібнення м'яса, дисковий подрібнювач для зерен, дезінтегратори та інші.

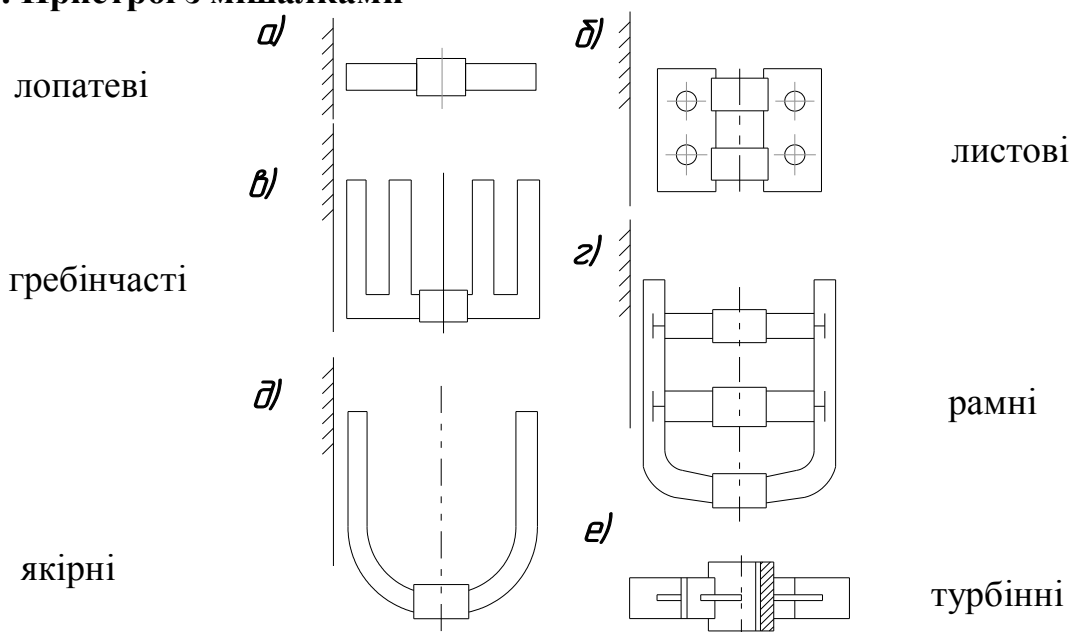
## 3 Робочі органи вальцьових пристроїв

Вальцьові пристрої застосовуються для виконання технологічних операцій дроблення, перетирання, помелу, віджимання і ін.

Робочими органами вальцьових пристроїв є **вальці**, що встановлені з невеликим зазором і обертаються з однаковими або різними швидкостями назустріч один одному. Вальці мають бути міцними, жорсткими, зносостійкими і теплопровідними, відбалансованими, із циліндричною поверхнею, з цапфами, виконаними з високою точністю співвісності. Шорсткість поверхонь вальців повинна відповідати їх технологічному призначенню. Поверхня вальців може бути і рифленою (з нарізкою).

Порожнисті вальці застосовуються у разі потреби створення теплообміну (нагрівання або охолодження продукту).

## 4. Пристрої з мішалками



## Рисунок 1 – Мішалки, що обертаються

Механічні пристрої для перемішування рідких харчових продуктів розділяються на пристрої з мішалками, що обертаються, і що коливаються.

**Мішалки, що обертаються, підрозділяються на:**

1. лопатеві (рис. 1, а),
2. листові (рис. 1, б),
3. гребінчасті (рис. 1, в),
4. рамні (рис. 1, г),
5. якірні (рис. 1, д),
6. пропелерні,
7. турбінні (рис. 1, е).

**Лопаті лопатевих мішалок** (рис 1, а) найчастіше розташовують в осьовій площині валу і рідше – похило до неї.

Основні розміри лопатевих мішалок вибирають залежно від в'язкості рідини, що перемішування. При перемішуванні рідини в глибоких судинах для кращого перемішування в короткий термін на валу мішалки встановлюють декілька рядів лопатей. Основна перевага лопатевих мішалок полягає в їх простоті і дешевизні, недолік – в недостатності осьового переміщення рідини.

**У листових мішалках** (рис 1, б) квадратної і прямокутної форми часто роблять отвори, які сприяють створенню в рідині струменів, що прискорюють процес перемішування.

**Гребінчасті мішалки** (рис. 1, в) складаються з вертикальних і горизонтальних лопатей.

Для запобігання круговому руху рідини можна використовувати дві гребінчасті мішалки із зустрічним обертанням лопатей і проходженням гребенів однієї мішалки між гребенями іншої.

**Рамні мішалки** (рис. 1, г) виготовляють з ряду жорстко зв'язаних між собою вертикальних і горизонтальних лопатей.

**Якірні мішалки** (рис. 1, д) – це лопатеві або рамні, нижня частина яких виконана за формою перетину судини (дуга кола, еліпса і ін.).

**Пропелерні мішалки** бувають двух-, трьох- і багатолопатевими.

В більшості випадків застосовуються трилопатеві пропелери. Лопаті пропелерів виконують з гвинтовими поверхнями. Проектують їх зазвичай на підставі експериментальних даних. Діаметр пропелера приймається в 3 – 4 рази меншим діаметру судини.

**Турбінні мішалки** (рис. 1, е) нагадують собою робоче колесо водяної турбіни з лопатками.

Такі мішалки можуть мати одне або декілька робочих коліс. Число лопаток робочого колеса коливається від 4 до 16. Форма лопаток і їх розташування (пряме або похиле) визначається характером рідини і метою перемішування.

## 5. Шнек

**Шнеки (спеціальні гвинти)** широко застосовуються в різного роду пристроях: транспортерах, живильниках, дозаторах, пресах та інше.

Види шнеків:

1. з прямою гвинтовою поверхнею (рис. 2, а);
2. з косою гвинтовою поверхнею (рис. 2, б);
3. з кривою гвинтовою поверхнею (рис. 2, в, г);
4. із змінним кроком (рис. 2, д);
5. із змінним діаметром (рис. 2, е).

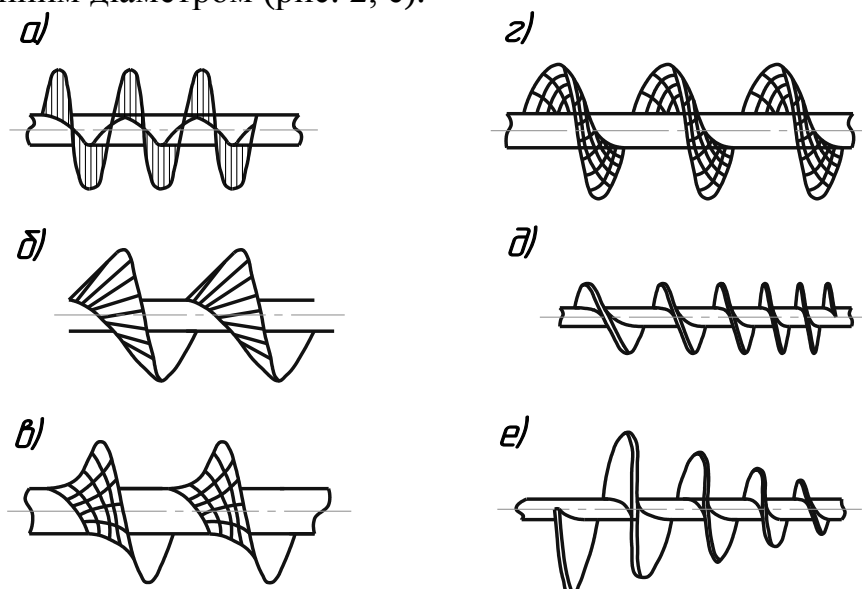


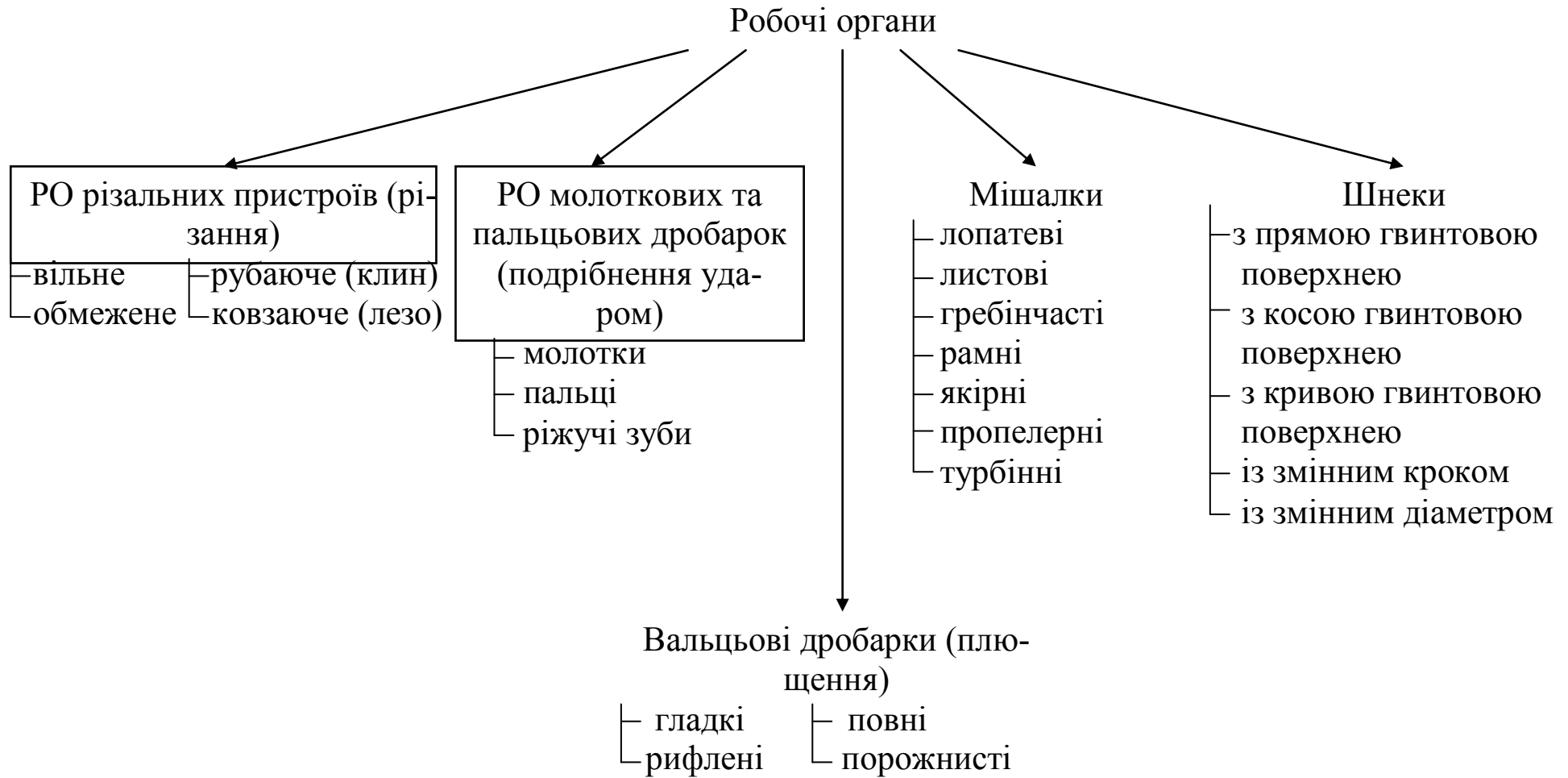
Рисунок 2 – Схеми шнеків з гвинтовою поверхнею: а – прямою; б – косою; в, г – кривою; д – із змінним кроком; е – із змінним діаметром

Шнеки можуть виконуватися як з безперервною гвинтовою поверхнею, так і з переривчастою.

Гвинтові поверхні утворюються як слід від руху утворюючою (прямої, кривої) довкола і уздовж деякої осі.

Кожен такий пристрій є циліндричним кожухом, усередині якого розташовано один або два шнеки. Кожух має приймальний бункер і спеціальним чином оформлений вихідний отвір (матриця, сопло, мундштук).

**Основними перевагами шнекових пристроїв є:** компактність, незначна вартість, зручність розташування місць завантаження і розвантаження, простота виготовлення, відходу, регулювання завантаження і вивантаження.



### 1.3 Види розрахунків конструктивних елементів обладнання

#### Технологічні розрахунки

Технологічні розрахунки проводять для визначення витрати сировини і виходу готової продукції. Вони необхідні для встановлення розмірів і продуктивності машини або апарату. Основою технологічного розрахунку виявляється матеріальний баланс, що складається відповідно до закону збереження матерії.

Маса сировини, що надходить на переробку, рівна масі готового продукту і втрат:

$$\sum_{i=1}^n G_i = \sum_{j=1}^m G_j \quad (1)$$

де  $G_i$  – маса  $i$ -го компоненту сировини, що надходить, кг;

$G_j$  – маса готового  $j$ -го компоненту продукту (відходів), кг

У періодичних процесах матеріальний баланс складають на один цикл, для безперервних процесів – в одиницю часу. Залежно від поставленого завдання матеріальний баланс може бути складений для процесу в цілому або для окремих його стадій, для групи машин або однієї машини.

**Наприклад,** потрібно скласти матеріальний баланс при безперервній нормалізації молока в потоці сепаруванням з використанням сепаратора-нормалізатора.

**Рівняння матеріального балансу матиме вигляд**

$$G_M = G_{HM} + G_{CL} \quad (2)$$

у перерахунку на жир рівняння можна записати як

$$G_M X_M = G_{HM} X_{HM} + G_{VER} X_{VER} \quad (3)$$

де  $G_M$   $G_{HM}$   $G_{VER}$  – вихідна маса молока (більший відсоток жиру, ніж в нормалізованому), нормалізованого молока і вершків, кг;

$X_M$   $X_{HM}$   $X_{VER}$  – масова частка жиру в вихідному молоці, нормалізованому і вершках.

Вирішуючи дане рівняння, визначають масу нормалізованого молока.

На підставі матеріального балансу розраховують вихід продукту на одиницю вихідної сировини або одну з основних його складових у відсотках.

**Продуктивність машини** – кількість продукції, що випускається в одиницю часу.

Залежно від поставленого завдання розраховують дійсну, теоретичну або технологічну продуктивність.

**Дійсна продуктивність** – це кількість продукції, яку машина виробляє в одиницю часу протягом зміни з урахуванням втрат часу на простої (заміна інструменту, завантаження, миття, санітарна обробка і т. д.):

$$Q_d = \frac{Z}{t_{зм}} = \frac{1}{t_{ц} + t_{п} / t_{ц}} \quad (4)$$

де  $Z$  – кількість робочих циклів;

$t_{зм}$  – тривалість зміни с,

$t_{ц}$  – тривалість робочого циклу с ;

$t_{п}$  – тривалість простоїв с.

**Теоретична продуктивність** – це кількість продукції, яка може випустити машина при безперервній роботі:

$$Q_T = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \quad (5)$$

Ефективність і раціональність експлуатації машини (відносна величина втрат часу роботи) оцінюють по **коефіцієнту використання її теоретичної продуктивності**:

$$\eta = \frac{Q_{\text{д}}}{Q_T} = \frac{t_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}} + \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{ц}}}} < 1 \quad (6)$$

Продуктивність можна підвищити за рахунок збільшення одночасно оброблюваних об'єктів і ступеня операцій (конвейерно-роторні машини), що поєднуються, збільшенням швидкості робочих органів і поліпшення геометричних розмірів оброблюваних об'єктів.

**Технологічна продуктивність** – це максимально можливий випуск продукції в одиницю часу при безперервній обробці її в машині:

$$Q_{\text{ТХ}} = \eta \cdot Q_T \quad (7)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт використання теоретичної продуктивності/

Продуктивність залежно від розмірності одиниць продукції розрізняють **масову** (у  $\text{кг/с}$ ;  $\text{кг/год}$ ;  $\text{т/год}$ ), **об'ємну** (у  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\text{м}^3/\text{год}$ ), **штучну** (в  $\text{шт/с}$ ;  $\text{шт/год}$ ;  $\text{шт/хв}$ ):

$$Q = \frac{V}{t_{\text{тц}}} \quad (8)$$

де  $V$  – ємність обладнання,  $\text{м}^3$ ,  $\text{кг}$ ,  $\text{шт}$ ;

$t_{\text{тц}}$  – тривалість обробки продукту,  $\text{с}$

$$t_{\text{тц}} = \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{ср}}} \quad (9) \text{де}$$

$L_{\text{п}}$  – шлях продукту в машині,  $\text{м}$ ;

$v_{\text{ср}}$  – середня швидкість руху продукту,  $\text{м/с}$ ).

**Коефіцієнт безперервності обробки** розраховують по формулі

$$\eta' = \frac{Q_{\text{ТХ}}}{\eta \cdot Q_T} \quad (10)$$

У машинах, що працюють **циклічно**, коефіцієнт  $\eta'$  знаходиться в діапазоні  $0 < \eta' < 1$ .

У машинах **безперервної дії**  $\eta' = 1$ .

**Технологічну продуктивність** підвищують за рахунок прискорення процесу обробки, збільшення коефіцієнта безперервності (скорочення часу на зупинки, холостий хід робочих органів), збільшення коефіцієнта використання (зменшення позациклових втрат часу, збільшення змінності, краща організація виробництва).

### Енергетичні розрахунки

В результаті енергетичних розрахунків визначають потрібну для приводу машини потужність, по якій вибирають електродвигун.

Для визначення потужності  $N$  (кВт) транспортних систем використовують формули:

при поступальному переміщенні вантажу

$$N = \frac{Fv}{1000}; \quad (11)$$

при обертальному русі

$$N = \frac{M\omega}{1000} \quad (12)$$

де  $F$  – сила опору (тягове зусилля),  $H$ ;

$v$  – швидкість переміщення робочого органу (тягового елемента),  $m/s$ ;

$M$  – обертальний момент на відомому валу,  $H\cdot m$ ;

$\omega$  – кутова швидкість відомого валу,  $rad/s$ .

Номінальну потужність електродвигуна  $N_d$  (кВт) визначають по формулі

$$N_d = \frac{N}{\eta} \quad (13)$$

де  $N$  – потужність приводу машини,  $kW$ ;

$\eta$  – загальний ККД в елементах передачі ( $\eta_1 \eta_2 \dots \eta_i$  – ККД в  $i$ - передачі,  $\eta = 0,7 - 0,85$ ).

### Кінематичні розрахунки

Кінематичні розрахунки зводяться до розробки кінематичної схеми машини, відповідно до якої конструюють її вузли і деталі і розраховують передачі. На кінематичній схемі зображають всі механізми і ланки машини, що беруть участь в русі і розподілі потоків енергії.

Передачі приводу вибирають з урахуванням умов роботи, терміну служби, габаритів, надійності, вартості і т.д.

Основною кінематичною характеристикою передачі є **передавальне число**, яке встановлюють з рівняння

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{k_2}}{M_{k_1} \eta}. \quad (14)$$

де  $\omega_1, \omega_2$  – кутова швидкість привідного і відомого валів,  $rad/s$ ;

$n_1, n_2$  – частота обертання привідного і відомого валів,  $s^{-1}$ ;

$M_{k_1}, M_{k_2}$  – обертовий момент на привідному і відомому валах;

$\eta$  – ККД приводу.

Загальне передавальне число  $u_{заг}$  визначають з рівняння

$$u_{заг} = \frac{n_d}{n_{p,o}} = \sum_{i=1}^n u_i \quad (15)$$

де  $n_d$  – частота обертання валу електродвигуна,  $s^{-1}$ ;

$n_{p,o}$  – частота обертання робочого органу машини,  $s^{-1}$ ;

$u$  – передавальне число із ступенів передач, що послідовно передають рух.

Враховуючи попередні рівняння, загальне передавальне число розбивають по окремих ступенях, виходячи з середніх значень передавальних чисел для різних передач. Після цього розраховують елементи передач (число зубів коліс або зірочок, діаметри шківів і т. д.).

В результаті розрахунків **частота обертання вихідного валу має погрішність  $\Delta n$  (%) по відношенню до заданого**, яку визначають таким чином:

$$\Delta n = \frac{n - n_{\phi}}{n} 100 \quad (16)$$

де  $n$  – задана частота обертання,  $\text{с}^{-1}$ ;

$n_{\phi}$  – фактична (розрахункова) частота обертання,  $\text{с}^{-1}$ .

Якщо  $n_{\phi} = (n \pm 0,04n)$ , то передавальне число перераховують і змінюють за рахунок відкритих передач (зубчатою, пасовою, ланцюговою).

### Розрахунки на міцність

Розрахунки на міцність конструкції вузлів і деталей проводять з метою забезпечення працездатності машини.

**Під працездатністю розуміється** виконання машиною, вузлом, деталлю певних функцій протягом заданого часу без поломок і позапланових ремонтів. **Конструкцію вважають працездатною**, якщо вона задовольняє заданим параметрам: міцності, жорсткості, зносостійкості, вібростійкості, теплостійкості.

**При розрахунку деталі визначають її розміри**, що забезпечують працездатність. Розрахунки бувають **перевірочні** або **проектні**.

У **перевірочному розрахунку** визначають запас міцності в небезпечних перетинах і порівнюють його з допустимим. В **проектному розрахунку** по заданих (або розрахованих) значеннях зовнішніх сил і пружних деформацій визначають матеріал, форму і розмір деталей.

В процесі розрахунку не всі значення параметрів бувають відомі, тому ними задаються виходячи з досвіду роботи, з урахуванням параметрів відомих конструкцій машин, що мають, аналогічні вузли і деталі.

**Розрахунок на міцність.** Розрахунок дозволяє забезпечити надійність роботи деталей машин і вузлів при мінімальній їх масі.

**Забезпечення міцності деталі досягається за наступної умови:**

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (17)$$

$$\tau \leq [\tau] \quad (18)$$

$$\frac{\sigma_{\Pi}}{\sigma} = n_p > [n] \quad (19)$$

де  $\sigma, \tau$  – розрахункова нормальна і дотична напруга в небезпечному перетині,  $\text{Н/м}^2$ ;

$[\sigma], [\tau]$  – нормальна і дотична напруга, що допускається, для вибраного матеріалу,  $\text{Н/м}^2$ ;

$\sigma_{\Pi}$  – гранична напруга в небезпечному перетині,  $\text{Н/м}^2$ ;

$n_p, [n]$  – розрахунковий і допустимий коефіцієнти запасу міцності.

### Розрахунок на жорсткість.

Проводять для обмеження пружних деформацій.

**Забезпечення необхідної жорсткості деталі досягається при дотриманні умов**

$$\Delta l \leq [\Delta l] \quad (24)$$

$$\delta \leq [\delta] \quad (25)$$

$$\psi \leq [\psi] \quad (26)$$

$$\varphi \leq [\varphi] \quad (27)$$

де  $\Delta l, [\Delta l]$  – переміщення розрахункове і допустиме, *м*;

$\delta, [\delta]$  – згин розрахунковий і допустимий, *м*;

$\psi, [\psi]$  – кут повороту перетину при вигині розрахунковий і допустимий, *град*;

$\varphi, [\varphi]$  – кут закручування розрахунковий і допустимий, *град*.

Іноді для забезпечення заданої жорсткості збільшують коефіцієнт запасу міцності і обмежуються розрахунком міцності

**Розрахунок на зносостійкість.** Вибирають розміри контактуючих поверхонь, при яких дотримується умова

$$\sigma_k \leq [\sigma] \quad (28)$$

де  $\sigma_k, [\sigma]$  – питоме розрахункове напруження на поверхнях, що труться, і припустиме (визначене експериментально контактне напруження, *Па*).

**При розрахунку на вібростійкість** перевіряють умови відсутності резонансу при тривалому режимі роботи:

$$\lambda_c \neq \lambda_b \quad (29)$$

де  $\lambda_c, \lambda_b$  – частота коливань конструкції власна і вимушена, *Гц*.

**При тепловому розрахунку** визначають температуру нагріву (охолодження) деталей і вибирають способи забезпечення умови

$$\theta \leq [\theta] \quad (30)$$

де  $\theta, [\theta]$  – середня розрахункова і допустима температури деталі °C.

Розрахункову температуру деталі  $\theta$  визначають з умови теплового балансу:

## 1.4 Основні техніко-економічні показники технічного рівня та ефективності технологічних машин

### Економічні основи конструювання машин

Економічний фактор відіграє важливу роль у конструюванні, а саме конструкції не мають затуляти основної мети конструювання – збільшення економічного ефекту машини.

Головне значення має те, що **економічний ефект визначається** корисною віддачею машини та сумою експлуатаційних витрат за весь період роботи машини. Вартість машини є лише однією, не завжди головною складовою цієї суми.

Економічно спрямоване конструювання має враховувати весь комплекс факторів, що визначають економічність машини та вірно оцінювати відносно значення цих факторів.

**Головними факторами**, що визначають економічність машини, є корисна віддача машини, надійність, витрати на оплату праці операторів, витрати енергії та вартість ремонту.

**Коефіцієнт використання машини** представляє собою відношення часу фактичної роботи машини за певний період до тривалості цього періоду.

**Середній коефіцієнт використання за період експлуатації**

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{h}{H} \quad (31)$$

де  $h$  – фактичний час роботи машини за цей період;

$H$  – період експлуатації машини.

Якщо машина працює до повного вичерпування свого механічного ресурсу, то фактичний час роботи машини за цей період  $h$  представляє собою **довговічність** машини  $D$  (загальний можливий її наробіток за період експлуатації).

Тоді

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{D}{H} \quad (32)$$

Величина  $\eta_{\text{вик}}$  для машин, що працюють за календарним режимом, залежить головним чином від:

1. числа робочих змін,
2. холостого часу (простій через несправність машини, недовантаження через порушення виробничого ритму).

При роботі в одну, дві та три зміни середнє значення коефіцієнту використання відповідно складає  $\eta_{\text{вик}} = 0,2; 0,4; 0,6$ ; при річній безперервній роботі  $\eta_{\text{вик}} = 0,95 \dots 1$ . У машині сезонного використання коефіцієнт знижується до  $0,05 \dots 0,1$ .

**Рентабельність** машини  $q$  це відношення корисної віддачі машини  $Om$  за певний період до суми витрат  $P$  за той самий період

$$q = \frac{Om}{P} \quad (33)$$

$$P = En + Mt + In + Po + Ob + Rm + Hk + Am \quad (34)$$

Сума витрат в загальному випадку складається з вартості:  $En$  – витраченої енергії;  $Mt$  – матеріалів та заготовок;  $In$  – інструмента;  $Po$  – оплати праці операторів;  $Ob$  – технічного обслуговування;  $Rm$  – ремонту;  $Hk$  – накладні витрати;  $Am$  – амортизаційні витрати.

Величина  $q$  має бути більша 1, або машина працюватиме збитково. ( $q > 1$ )

**Економічний ефект.**

**Річний економічний ефект** (річний прибуток)

$$Q = Om - P = Om \left(1 - \frac{P}{Om}\right) = Om \left(1 - \frac{1}{q}\right) \quad (35)$$

де  $Om$  – річна віддача, грн./рік;

$P$  – сума експлуатаційних витрат, грн./рік.

**Сумарний економічний ефект  $\Sigma Q$**  за весь період служби машини (загальний прибуток) дорівнює різниці сумарної віддачі  $\Sigma Om$  та суми витрат  $\Sigma P$  за період служби

$$\Sigma Q = \Sigma Om - \Sigma P \quad (36)$$

Чи згідно до формули (34)

$$\Sigma Q = \Sigma Om - (\Sigma En + \Sigma Mt + \Sigma In + \Sigma Po + \Sigma Ob + \Sigma Pm + \Sigma Hk + \Sigma Am) \quad (37)$$

Віддача машини та експлуатаційні витрати, за виключенням амортизаційних та ремонтних, пропорційні тривалості фактичної роботи за період експлуатації. Підвищення віддачі може виражатись у збільшенні числа одиниць продукції чи у збільшенні вартості кожної одиниці (підвищення якості продукції, збільшення обсягів операцій, що виконуються над заготовкою).

**Термін окупності  $H_{ок}$**  визначається як період служби, при якому сумарний економічний ефект дорівнює вартості машини

$$C = H_{ок} \cdot \eta_{вик} (Om - P) - Am \quad (38)$$

де  $P$  – річні експлуатаційні витрати,

$$P = En + Mt + In + Po + Ob + Hk \quad (39)$$

Витрати на ремонт, як правило, досить малі у перші роки експлуатації і йми нехтують.

Витрати на амортизацію за термін окупності

$$Am = \frac{C \cdot H_{ок}}{H} = \frac{C \cdot H_{ок} \cdot \eta_{вик}}{D} \quad (40)$$

де  $H$  – період служби машини.

Після підстановки  $Am$  рівняння (8)

$$H_{ок} = \frac{C}{\eta_{вик} (Om - P - \frac{C}{D})} \quad (41)$$

**Коефіцієнт експлуатаційних витрат** – відношення суми витрат за весь період роботи машини до її вартості.

$$k = \frac{\Sigma P}{C} \quad (42)$$

**Коефіцієнт вартості машини** – процентне співвідношення вартості машини до суми витрат

$$c = \frac{C}{\Sigma P} 100\% = \frac{1}{k} 100\% \quad (43)$$

### Основні терміни та визначення з надійності обладнання

**Працездатність** – стан машини, при якому вона здатна виконувати задані функції з можливими перервами на ремонт до повного зруйнування, при якому відновлення втраченої працездатності стає неможливим або економічно не вигідним.

**Справність** – стан машини, при якому вона відповідає основним і другорядним вимогам нормативно-технічної документації.

**Відмова** – стан машини, що полягає у порушенні її працездатності. Відмови здебільшого пов'язані із руйнуванням деталей або їх поверхні. Відмови можуть

бути повними або частковими, коли зберігається можливість часткового використання -виробу.

**Наробка на відмову** – це середній час роботи машини до першої відмови, а для відновлювальних машин вводиться ще показник середній час між двома сусідніми відмовами.

**Безвідмовність** – це властивість машини зберігати працездатність без вимушених перерв протягом заданої наробки.

**Довговічність** – це властивість машини зберігати свою працездатність до кінцевого стану з необхідними перервами на технічне обслуговування та ремонт.

**Ремонтопридатність** – пристосованість машини до попередження, виявлення і усунення відмов і неполадок за допомогою технічного обслуговування і ремонту.

Сукупність властивостей безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності визначає загальну надійність машини.

**Збереженість** – властивість машини зберігати експлуатаційні показники після строку транспортування, зберігання та монтажу.

**Середній технологічний ресурс** – середня наробка машини до кінцевого стану; він являє собою суму часу безвідмовної роботи машини за період експлуатації до зруйнування або іншого граничного стану.

Ресурс машини можна виражати також величинами, пропорційними машинному часу – числом циклів, кількістю кілометрів пробігу, масою виробленої продукції.

**Технологічність машин і апаратів** – сукупність властивостей конструкції, що визначають її відповідність прогресивній технології машинобудування, заданим умовам виробництва, які забезпечують найменші строки освоєння, тривалість виробничого циклу, затрати праці і матеріалів.

**Критеріями оцінки технологічності машин і апаратів є:**

1) **коефіцієнт конструктивного сприймання**, що визначається відношенням кількості деталей, взятих з освоєних машин, до загальної кількості деталей машини, за винятком нормалізованих

$$K_1 = \frac{n_1 + n_2}{n_0 - n_3} \quad (44)$$

де  $n_0$  – загальна кількість деталей в машині;

$n_1$  – кількість деталей, взятих з базової конструкції;

$n_2$  –кількість деталей, взятих з інших конструкцій;

$n_3$  – кількість стандартизованих і нормалізованих деталей;

2) **коефіцієнт нормалізації** – визначає степінь застосування стандартизованих і нормалізованих деталей:

$$K_2 = \frac{n_3}{n_0} \quad (45)$$

Збільшення цього коефіцієнта знижує вартість машини;

3) **коефіцієнт повторності деталей** – виражає середню кількість деталей, які припадають на одну машину:

$$K_3 = \frac{n_0}{m} \quad (46)$$

де  $m$  – число однакових деталей.

Окрім цього до показників технологічності машин належать:

- **коефіцієнт використання матеріалу**, що виражає відношення чистої ваги машини до ваги матеріалів і заготовок, з яких вона виготовлена;
- **коефіцієнт взаємозамінності**, що показує зниження трудоемності зборки і ремонту машини за рахунок зменшення кількості деталей і вузлів, що обробляються під час роботи і при ремонті;
- **коефіцієнт раціонального використання заготовок** з лиття, штамповок і профільного матеріалу.