

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра агроінженерії**

**Енергоефективні та ресурсощадні технології переробних
і тваринницьких підприємств:**

**конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня
вищої освіти ОПП «Агроінженерія»
спеціальності Н7 «Агроінженерія»
денної та заочної форм здобуття вищої освіти**

**Миколаїв
2026**

УДК 620.91:631.371

E61

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 22.09.26, протокол № 1.

Укладач:

О. А. Горбенко – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет

Рецензенти:

О. С. Садовий – канд.техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет

С. М. Галімов – канд. с.г. наук, доцент, директор СГПП «Техмед-Юг»

© Миколаївський національний аграрний університет, 2026

© Горбенко О. А., 2026

Зміст

Лекція 1. Енергоефективність та ресурсощадні технології: сутність, структура та функції	4
Лекція 2. Теоретичні основи енергоспоживання технологічних процесів переробних підприємств	9
Лекція 3. Енергоефективна механізація очищення зерна і насіння	14
Лекція 4. Енергоефективні технології вентилювання та сушіння зерна.....	35
Лекція 5. Ресурсощадне транспортування зерна та продуктів його переробки	66
Лекція 6. Енергоефективні та ресурсощадні технології олійних виробництв.....	99
Лекція 7. Енергоефективні та ресурсощадні технології підприємств з переробки плодоовочевої продукції.....	126
Лекція 8. Енергоефективні та ресурсощадні технології тваринницьких підприємств	145

Лекція 1. Енергоефективність та ресурсощадні технології: сутність, структура та функції

1. Поняття енергоефективності та ресурсощадних технологій

Енергоефективність – це властивість технологічного процесу чи обладнання забезпечувати випуск продукції заданої кількості та якості за мінімально можливих питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів. Важливо розрізняти енергоефективність як відносний показник (співвідношення корисного ефекту до витрачених ресурсів) і енергозбереження як процес цілеспрямованого зниження абсолютних обсягів споживання енергії. Підприємство може одночасно нарощувати обсяги виробництва й підвищувати енергоефективність, якщо темпи зростання продуктивності випереджають темпи зростання енергоспоживання.

Ресурсощадні технології – це сукупність технічних, технологічних та організаційних рішень, спрямованих на зниження витрат сировини, матеріалів, енергії, води та інших ресурсів на одиницю продукції без погіршення її якісних характеристик. Ресурсощадність охоплює ширше коло ресурсів, ніж власне енергоефективність, оскільки включає також раціональне використання сировини, допоміжних матеріалів, води та трудових ресурсів, які часто взаємопов'язані з енергетичними витратами.

У сучасній практиці енергетичного менеджменту розрізняють три рівні реалізації енергоефективних заходів: організаційні (не потребують капітальних вкладень – оптимізація графіків роботи обладнання, усунення холостого ходу), маловитратні (модернізація окремих вузлів, встановлення приладів обліку) та капіталомісткі (повна заміна технологічного обладнання, впровадження когенераційних установок). Послідовність впровадження зазвичай починається з організаційних заходів як найбільш швидко окупних.

2. Рівні енергоспоживання переробних і тваринницьких підприємств

Аналіз енергоспоживання підприємства здійснюється на чотирьох ієрархічних рівнях: агрегат (окрема машина чи

установка – сушарка, компресор, насос, електродвигун), технологічна лінія (сукупність агрегатів, об'єднаних єдиним технологічним процесом – наприклад, лінія пастеризації молока), цех (сукупність ліній одного виробничого призначення, що мають спільну систему енергозабезпечення) та підприємство в цілому (сукупність цехів разом з допоміжними та обслуговуючими енергетичними системами – котельнею, компресорною станцією, трансформаторною підстанцією).

На рівні агрегату основним показником є питомі витрати енергії на одиницю виконаної роботи. На рівні технологічної лінії до цього показника додається облік витрат енергії на допоміжні операції (транспортування, проміжне зберігання), що не є частиною основного технологічного процесу, але супроводжують його. На рівні цеху й підприємства в цілому враховуються також витрати на підтримання мікроклімату виробничих приміщень, освітлення та втрати в розподільчих мережах.

Перехід від нижчого рівня до вищого супроводжується накопиченням системних втрат, які неможливо виявити при аналізі окремого агрегату: нерівномірність завантаження обладнання протягом доби, невідповідність встановленої потужності трансформаторів фактичному навантаженню, втрати в трубопроводах і кабельних лініях. Тому комплексний енергетичний аудит підприємства завжди включає аналіз усіх чотирьох рівнів у їх взаємозв'язку.

3. Функціональні зв'язки між елементами енергетичної системи підприємства

Елементи енергетичної системи підприємства пов'язані трьома основними типами зв'язків: матеріально-енергетичними (потoki електроенергії, теплоти, палива, стисненого повітря між джерелами та споживачами), інформаційними (дані приладів обліку, сигнали систем автоматичного регулювання, звітність енергетичного моніторингу) та організаційно-управлінськими (регламенти енергетичного менеджменту, розпорядження щодо режимів роботи

обладнання, планово-попереджувальне обслуговування енергетичних мереж).

Раціональна організація цих зв'язків дає змогу перерозподіляти енергетичні потоки між підрозділами підприємства. Типовим прикладом є використання скидної теплоти одного технологічного процесу (наприклад, охолодження молока) для попереднього підігріву води чи повітря, необхідних іншому процесу (миття обладнання, опалення приміщень). Такі внутрішні енергетичні зв'язки між цехами часто залишаються нереалізованим резервом підвищення енергоефективності через відсутність системного погляду на підприємство як на єдину енергетичну систему.

Особливої уваги потребують зв'язки між енергетичною системою підприємства та зовнішнім середовищем – енергопостачальними організаціями, тарифною політикою, погоднокліматичними умовами. Договірні відносини з постачальниками електроенергії та газу (заявлена потужність, графіки навантаження, штрафні санкції за перевищення лімітів) суттєво впливають на економічну доцільність тих чи інших внутрішніх енергетичних рішень підприємства.

4. Показники енергетичної ефективності функціонування систем

До основних показників енергетичної ефективності належать: питомі витрати енергії на одиницю продукції (розраховуються окремо для кожного виду енергоносія), коефіцієнт корисного використання енергії (енергетичний ККД), частка вторинних та відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі підприємства, а також енергоємність виробництва – узагальнюючий показник, що характеризує ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів галуззю чи підприємством у цілому за певний період.

Показники енергоефективності доцільно розглядати в динаміці – порівнюючи їх значення за послідовні звітні періоди, що дає змогу виявляти тенденції поліпшення чи погіршення енергетичних характеристик виробництва та своєчасно виявляти негативні

відхилення, спричинені технічними несправностями або порушенням технологічних регламентів.

Крім абсолютних та відносних показників енергоефективності, важливе значення мають структурні показники – частка кожного виду енергоносія у загальному енергетичному балансі підприємства. Аналіз структури енергоспоживання дає змогу визначити пріоритетні напрями впровадження енергоощадних заходів.

5. Роль енергоефективних технологій у розвитку переробної та тваринницької галузей

Впровадження енергоефективних та ресурсощадних технологій у переробній і тваринницькій галузях дає змогу знизити собівартість продукції, підвищити конкурентоспроможність підприємств в умовах зростання цін на енергоносії та зменшити негативний вплив на довкілля через скорочення викидів парникових газів. В умовах лібералізації енергетичних ринків питання енергоефективності набуває стратегічного значення для економічної стійкості підприємств агропромислового комплексу.

Особливого значення підвищення енергоефективності набуває для традиційно енергоємних процесів переробної галузі – сушіння зерна та плодоовочевої продукції, пастеризації й стерилізації молочної продукції, охолодження та зберігання швидкопсувної продукції, а також для тваринницьких підприємств – підтримання мікроклімату тваринницьких приміщень.

Розвиток енергоефективних технологій в агропромисловому комплексі тісно пов'язаний із загальносвітовими тенденціями декарбонізації економіки та вимогами міжнародних торговельних партнерів щодо вуглецевого сліду продукції, що створює додаткові стимули для системного впровадження енергоефективних рішень не лише з міркувань економії витрат, а й для збереження доступу до експортних ринків.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте ієрархічні рівні енергоспоживання переробних і тваринницьких підприємств.

2. Які функціональні зв'язки існують між елементами енергетичної системи підприємства?
3. Назвіть основні показники енергетичної ефективності виробничої системи.
4. Яку роль відіграють енергоефективні технології у розвитку переробної та тваринницької галузей?
5. Як обчислюється енергоємність виробництва і для чого вона використовується?
6. Які рівні реалізації енергоефективних заходів виділяють в енергетичному менеджменті?
7. Чому структура енергоспоживання за видами ресурсів важлива для планування енергоаудиту?

Лекція 2. Теоретичні основи енергоспоживання технологічних процесів переробних підприємств

1. Поняття енергоспоживання технологічного процесу та його структура

Енергоспоживання технологічного процесу – це сукупні витрати паливно-енергетичних ресурсів, необхідні для виконання всіх операцій перетворення сировини на готову продукцію, включно з підготовчими, основними та завершальними операціями. Структурно енергоспоживання поділяють на технологічне (безпосередньо витрачене на зміну фізичних чи хімічних властивостей продукту) та нетехнологічне (втрати в мережах передачі енергії, витрати на власні потреби обладнання, освітлення, вентиляцію виробничих приміщень).

У складі технологічного енергоспоживання додатково виділяють корисні витрати (безпосередньо реалізовані в зміні властивостей продукту відповідно до технологічного регламенту) та надлишкові витрати (перевищення теоретично необхідного рівня внаслідок недосконалості обладнання, порушення режимів або невідповідності фактичного навантаження проєктному). Саме надлишкові витрати становлять основний резерв підвищення енергоефективності технологічного процесу.

Кількісне співвідношення між технологічним і нетехнологічним енергоспоживанням суттєво відрізняється залежно від типу виробництва: для безперервних енергоємних процесів (сушіння, випарювання) частка технологічного енергоспоживання зазвичай перевищує 80%, тоді як для дискретних, малопотужних виробництв частка нетехнологічних витрат може сягати 30–40% загального енергоспоживання.

2. Етапи формування енергоємних технологічних операцій

Формування енергоємної операції передбачає послідовне визначення: необхідного виду енергії (теплової, електричної, механічної) відповідно до фізичної природи технологічного ефекту, розрахункової кількості енергії для досягнення заданого технологічного результату, вибору обладнання з урахуванням його

паспортної енергоефективності та встановлення режимних параметрів, що мінімізують питомі витрати енергії за одночасного збереження вимог до якості продукції.

На етапі попереднього проєктування енергоємної операції визначається теоретично необхідна (мінімальна) кількість енергії виходячи з фізичних законів. Фактичні витрати енергії завжди перевищують теоретичний мінімум на величину, що визначається коефіцієнтом корисної дії конкретного обладнання та неминучими тепловими втратами в навколишнє середовище.

Важливим етапом є також узгодження енергоємної операції з іншими операціями технологічного процесу за часом виконання та потужністю споживання, оскільки одночасний запуск кількох потужних споживачів може призводити до перевищення договірної потужності підприємства зі сплатою штрафних санкцій.

3. Взаємозв'язок технологічних і енергетичних процесів переробки сировини

Технологічні параметри процесу переробки (температура, тривалість витримки, вологість, тиск) безпосередньо визначають енергетичні витрати процесу: підвищення температури сушіння скорочує тривалість процесу, але збільшує питомі витрати теплової енергії на одиницю видаленої вологи через зростання теплових втрат у навколишнє середовище пропорційно різниці температур.

Оптимізація технологічного процесу з енергетичної точки зору потребує узгодження технологічних вимог до якості продукції з мінімізацією енерговитрат, що часто є суперечливими цілями. Прикладом такого компромісу є вибір режиму пастеризації молока: короткочасна високотемпературна пастеризація забезпечує кращий смаковий профіль продукту, проте потребує значно вищої миттєвої теплової потужності обладнання.

Специфічним аспектом взаємозв'язку технологічних і енергетичних процесів у переробній галузі є вплив якості вихідної сировини на енергоємність переробки: сировина з підвищеною вологістю чи забрудненістю потребує додаткових витрат енергії на попередню підготовку.

4. Паливно-енергетичне забезпечення технологічних процесів

Паливно-енергетичне забезпечення включає системи електропостачання, системи теплопостачання (котельні установки, системи утилізації скидного тепла) та системи газопостачання підприємства. Кожна із цих систем характеризується власними показниками надійності, резервування та вартості одиниці енергії, що суттєво впливає на вибір енергоносія для конкретного технологічного процесу.

Надійність і безперебійність паливно-енергетичного забезпечення є критичною умовою стабільності технологічних процесів, особливо для безперервних виробництв, де навіть короткочасна перерва енергопостачання може призвести до втрати всієї партії продукції. Це зумовлює необхідність резервування критичних енергетичних систем.

Вибір оптимального енергоносія для конкретної технологічної операції визначається не лише вартістю одиниці енергії, а й зручністю регулювання, екологічними вимогами та наявною інфраструктурою підприємства.

5. Критерії енергетичної ефективності технологій переробки

Основними критеріями оцінювання енергетичної ефективності технологій переробки є: питомі витрати енергії на тонну продукції, коефіцієнт використання теплоти (для теплових процесів), частка регенерованої (утилізованої) енергії у загальному енергетичному балансі процесу та відповідність фактичних питомих витрат нормативним показникам енергоемності.

Порівняльний аналіз енергетичної ефективності різних технологічних варіантів переробки однієї й тієї самої сировини має враховувати не лише питомі витрати енергії, а й вплив технології на якість готової продукції, оскільки економія енергії не повинна досягатися за рахунок неприйняттого зниження якісних характеристик продукту.

У практиці енергетичного аудиту переробних підприємств застосовується поняття технічно досяжного рівня енергоефективності – мінімально можливих питомих витрат енергії

за умови використання найкращих доступних технологій (Best Available Techniques, BAT) для даного виду переробки.

Для технолога переробного підприємства розуміння структури енергоспоживання технологічного процесу є основою для прийняття обґрунтованих рішень при виборі режимів роботи обладнання: знання того, яка частка витрат є технологічно необхідною, а яка – надлишковою, дає змогу зосередити зусилля саме на усуненні надлишкових витрат, не намагаючись «економити» на технологічно обґрунтованих витратах ціною погіршення якості продукції.

Практичне застосування коефіцієнта використання теплоти є типовим завданням при прийманні нового сушильного чи теплообмінного обладнання в експлуатацію: порівняння паспортного (заявленого виробником) значення коефіцієнта з фактично виміряним під час пусконаладжувальних робіт дає змогу виявити недоліки монтажу чи налаштування обладнання ще до початку його повноцінної промислової експлуатації.

На підприємствах АПВ України типовою є ситуація значного зношування теплотехнічного обладнання, встановленого ще кілька десятиліть тому, тому аналіз структури енергоспоживання за категоріями «корисне – надлишкове» є першим практичним кроком у більшості програм модернізації, що дає змогу економічно обґрунтовано визначити пріоритетність заміни того чи іншого виду обладнання.

Контрольні питання

1. Дайте визначення енергоспоживання технологічного процесу та охарактеризуйте його структуру.
2. Які етапи включає формування енергоємної технологічної операції?
3. У чому проявляється взаємозв'язок технологічних і енергетичних процесів переробки сировини?
4. Що включає паливно-енергетичне забезпечення технологічних процесів?

5. Назвіть критерії оцінювання енергетичної ефективності технологій переробки.
6. Як обчислюється коефіцієнт використання теплоти технологічного процесу?
7. У чому різниця між корисними та надлишковими витратами енергії технологічного процесу?
8. Як якість вихідної сировини впливає на енергоємність її переробки?

Лекція 3. Енергоефективна механізація очищення зерна і насіння

1. Енергетична ефективність машин для очищення зерна.

Очищення зерна і насіння є одним із найважливіших етапів післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції. Від якості очищення значною мірою залежать збереженість зерна, його технологічні властивості, посівні якості насіння, ефективність подальшого сушіння, зберігання та переробки.

Зернова маса після збирання є неоднорідною сумішшю, до складу якої входять основна культура, насіння бур'янів, зерно інших культур, соломисті частинки, половинки зерна, пил, ґрунтові домішки, органічні рештки та інші сторонні компоненти. Домішки відрізняються від основного зерна за розмірами, формою, густиною, аеродинамічними властивостями, шорсткістю поверхні, кольором та іншими фізико-механічними характеристиками.

Метою очищення є максимально повне видалення небажаних компонентів із зернової маси при мінімальних втратах основного продукту та мінімальних витратах енергії. Тому сучасна механізація очищення повинна базуватися не лише на забезпеченні високої продуктивності машин, а й на принципах енерго- та ресурсоефективності.

Енергоефективність процесу очищення означає отримання необхідного рівня чистоти зерна з найменшими питомими витратами електричної та іншої енергії. При цьому необхідно враховувати не тільки електроенергію, яку безпосередньо споживають електродвигуни, вентилятори та приводи робочих органів, а й енерговитрати допоміжного обладнання: транспортерів, норій, аспіраційних систем, вентиляторів, компресорів, дозаторів та систем автоматизації.

Основне завдання енергоощадного очищення можна сформулювати так: забезпечити необхідну якість очищення та продуктивність при мінімальному споживанні енергії, мінімальних втратах зерна і раціональному використанні обладнання.

Енергетична ефективність машини характеризує, наскільки раціонально використовується енергія для виконання технологічної операції.

Для зерноочисного обладнання основними показниками енергоефективності є:

- встановлена потужність електродвигунів;
- фактична споживана потужність;
- продуктивність машини;
- питомі енерговитрати;
- якість очищення;
- втрати повноцінного зерна з відходами;
- коефіцієнт використання встановленої потужності;
- ступінь завантаження робочих органів;
- тривалість роботи обладнання;
- енерговитрати на транспортування та аспірацію.

Найбільш зручним показником є питомі енерговитрати.

Питомі енерговитрати можна визначити за формулою:

$$e = W / Q,$$

де:

e – питомі енерговитрати, кВт·год/т;

W – витрачена електрична енергія, кВт·год;

Q – кількість очищеного зерна, т.

Якщо відома середня споживана потужність:

$$e = P / Q_p,$$

де:

P – середня споживана потужність, кВт;

Q_p – продуктивність машини, т/год.

Таким чином, збільшення продуктивності за незмінної потужності призводить до зменшення питомих енерговитрат. Однак надмірне підвищення продуктивності може погіршити якість очищення, збільшити кількість проходів матеріалу та втрати зерна. Тому головним завданням є пошук оптимального режиму.

У сучасному зерноочисному господарстві застосовують машини, які використовують різні фізичні властивості компонентів зернової суміші.

До основних видів зерноочисного обладнання належать:

1. сепаратори;
2. повітряно-решітні машини;
3. аспіраційні колонки;
4. трієри;
5. каменевідбірники;
6. пневматичні сортувальні столи;
7. калібрувальні машини;
8. машини для очищення насіння від специфічних домішок;
9. магнітні сепаратори;
10. комбіновані зерноочисні агрегати;
11. транспортне та допоміжне обладнання.

Кожен тип машини використовує певну відмінність між зерном і домішками.

Повітряно-решітні машини є одними з найбільш поширених машин для первинного та вторинного очищення зерна.

Принцип їх роботи ґрунтується на поєднанні двох способів сепарації:

- просіювання через решета;
- розділення частинок повітряним потоком.

Решета розділяють матеріал за геометричними розмірами. Через отвори проходять частинки, розміри яких менші за відповідний розмір отворів, тоді як більші частинки переміщуються по поверхні решета.

Повітряний потік використовується для відділення легких домішок. Пил, луска, частинки соломи та інші легкі компоненти виносяться повітрям, тоді як основна маса зерна залишається в робочій зоні.

Енергетична ефективність повітряно-решітних сепараторів значною мірою залежить від правильної організації повітряного режиму. Надмірна швидкість повітря збільшує споживання енергії

вентилятора та може спричинити винесення повноцінного зерна у відходи. Недостатня швидкість повітря призводить до погіршення очищення.

Аспірація призначена для відокремлення легких домішок від зернового матеріалу.

До таких домішок належать:

- пил;
- частинки соломи;
- оболонки;
- луска;
- легке насіння бур'янів;
- дрібні органічні частинки.

Основним енергоспоживачем аспіраційної системи є вентилятор.

Потужність вентилятора залежить від продуктивності повітряного потоку та створюваного ним тиску. Орієнтовно:

$$P = Q_v \cdot \Delta p / \eta,$$

де:

Q_v – об'ємна продуктивність вентилятора, м³/с;

Δp – перепад тиску, Па;

η – загальний ККД вентилятора та привода.

Отже, економія енергії в аспіраційних системах досягається не простим зменшенням продуктивності вентилятора, а оптимізацією повітряного режиму.

Основними способами зменшення енерговитрат є:

- герметизація повітропроводів;
- усунення підсмоктування повітря;
- правильний підбір вентилятора;
- використання частотного регулювання;
- очищення фільтрів;
- оптимізація кількості повітря;
- автоматичне регулювання повітряного потоку залежно від навантаження.

Сита є одним із головних робочих органів зерноочисних машин.

Ефективність сит залежить від:

- форми отворів;
- розміру отворів;
- площі живого перерізу;
- матеріалу сита;
- товщини металу;
- кута нахилу;
- швидкості переміщення зернового шару;
- товщини шару зерна;
- вологості зерна;
- засміченості.

Для різних культур і видів домішок необхідно використовувати відповідні сита. Неправильний вибір сит призводить до зниження якості очищення та збільшення енерговитрат.

Засмічення отворів сит особливо негативно впливає на процес. Зменшується ефективна площа просіювання, збільшується товщина шару матеріалу, погіршується розділення компонентів. У результаті машина може споживати майже ту саму потужність, але очищати меншу кількість зерна.

Тому регулярне очищення та своєчасна заміна сит є важливими заходами енергозбереження.

Трієри застосовують для очищення зерна за довжиною частинок.

Основним робочим органом є циліндрична поверхня з комірками. Частинки певної довжини потрапляють у комірки, піднімаються разом із циліндром і виводяться окремо.

Трієри ефективно використовують для видалення:

- коротких домішок;
- довгих домішок;
- насіння інших культур;
- деяких видів насіння бур'янів.

Енергоефективність трієра залежить від:

- швидкості обертання циліндра;
- кута нахилу;
- завантаження;
- типу комірок;
- вологості зерна;
- тривалості перебування матеріалу в робочій зоні.

Надмірне завантаження трієра може спричинити погіршення контакту частинок із комірками. У такому разі продуктивність може зростати, але якість очищення зменшується.

Каменевідбірники призначені для видалення мінеральних домішок, насамперед каміння.

Їхня робота ґрунтується на різниці густини та аеродинамічних властивостей компонентів.

Для роботи таких машин необхідна енергія для:

- створення повітряного потоку;
- забезпечення коливального руху робочої поверхні;
- транспортування матеріалу.

Надмірний повітряний потік збільшує енергоспоживання та може спричинити винесення зерна. Тому повітря необхідно подавати тільки в необхідній кількості.

Пневматичні сортувальні столи використовують відмінності в густині, формі та аеродинамічних властивостях частинок.

Зернова маса розміщується на робочій поверхні, через яку проходить повітря. Одночасно поверхня здійснює коливальні рухи.

У результаті частинки різної густини переміщуються по-різному та можуть бути розділені.

Енергетичні витрати сортувальних столів пов'язані переважно з:

- приводом коливального механізму;
- роботою вентилятора;
- транспортними операціями.

Оптимізація режиму повітряного потоку є основним способом зменшення енергоспоживання.

Для підготовки насіння важливим є його калібрування за розміром, формою, густиною та іншими характеристиками.

Якісно відкаліброване насіння має більш однорідні властивості, що позитивно впливає на подальше протруювання, висів та отримання рівномірних сходів.

Енергоефективність калібрування забезпечується:

- правильним підбором сит;
- оптимальною швидкістю подачі;
- мінімальною кількістю повторних проходів;
- автоматичним контролем навантаження;
- використанням комбінованих машин.

Якість очищення безпосередньо пов'язана з режимами роботи машини.

До основних режимних параметрів належать:

- продуктивність;
- швидкість руху матеріалу;
- частота коливань;
- амплітуда коливань;
- швидкість обертання робочих органів;
- витрата повітря;
- тиск повітря;
- положення заслінок;
- товщина шару зерна;
- кут нахилу робочих поверхонь.

Неправильний режим може мати два основних наслідки:

1. недостатню якість очищення;
2. надмірні енергетичні витрати та втрати зерна.

Наприклад, при надмірній подачі зерна на сито збільшується товщина шару. Частинки гірше контактують із поверхнею сита, тому частина домішок не видаляється.

Зменшення подачі, навпаки, може покращити якість очищення, але при цьому машина працюватиме з неповним завантаженням, а питомі енерговитрати на тонну можуть зрости.

Отже, необхідно підтримувати оптимальну продуктивність, за якої досягається необхідна якість очищення при мінімальних питомих витратах енергії.

2. Ресурсоощадні технології підготовки зерна.

Ресурсоощадна технологія передбачає комплексне використання матеріальних, енергетичних і технічних ресурсів.

Основними напрямками ресурсозбереження є:

- зменшення енерговитрат;
- зменшення втрат зерна;
- зниження кількості відходів;
- скорочення кількості повторних проходів;
- зменшення витрат повітря;
- ефективне використання сит;
- раціональне використання транспортного обладнання;
- автоматичне регулювання продуктивності;
- своєчасне технічне обслуговування машин.

Повітряні системи є одними з найбільш енергоємних компонентів зерноочисних комплексів.

Енергозбереження досягається за рахунок:

1. визначення мінімально необхідної швидкості повітря;
2. регулювання витрати повітря;
3. використання частотних перетворювачів;
4. герметизації систем;
5. очищення фільтрів;
6. оптимального проектування повітропроводів;
7. автоматичного регулювання заслінок;
8. вимикання вентиляційного обладнання під час простоїв.

Необхідно уникати ситуації, коли вентилятор постійно працює на максимальній продуктивності незалежно від фактичного навантаження.

Наприклад, якщо зерноочисна машина працює лише на 60 % номінальної продуктивності, потреба в повітрі також може бути нижчою. Автоматичне регулювання дає можливість узгодити витрату повітря з фактичною кількістю зерна.

Для кожного виду зерна необхідно підбирати відповідний комплект сит.

Основні принципи:

- використовувати сита відповідного типорозміру;
- не допускати їх засмічення;
- контролювати стан робочої поверхні;
- регулярно перевіряти пошкодження;
- не використовувати сита з невідповідними отворами;
- забезпечувати рівномірний розподіл зерна по ширині сита.

Ефективне використання сит дозволяє зменшити кількість повторних проходів зерна через машину.

Втрати повноцінного зерна з відходами є одним із найважливіших показників ефективності очищення.

Причинами втрат можуть бути:

- надмірна швидкість повітря;
- неправильне налаштування сит;
- надмірне завантаження;
- неправильне регулювання робочих органів;
- механічне пошкодження зерна;
- незадовільний технічний стан машини;
- неправильне налаштування транспортних систем;
- надмірне видалення кондиційного зерна у відходи.

Необхідно регулярно контролювати склад відходів. Якщо у відходах міститься значна кількість повноцінного зерна, це свідчить про неправильний режим роботи.

Повторне очищення зерна потребує додаткових:

- електричних витрат;
- часу;
- транспортних операцій;
- роботи вентиляторів;
- роботи приводів;
- трудових ресурсів.

Тому технологічну схему потрібно організовувати таким чином, щоб основний обсяг зерна очищався за мінімальну кількість проходів.

Для цього застосовують комбіновані машини, у яких декілька принципів сепарації реалізуються послідовно в одному агрегаті.

Важливим є також правильне попереднє очищення. Видалення великих і легких домішок на першій стадії зменшує навантаження на наступні машини.

Повністю уникнути утворення відходів під час очищення неможливо, оскільки сторонні домішки необхідно видалити.

Однак необхідно забезпечити, щоб до відходів потрапляла мінімальна кількість цінного зерна.

Відходи доцільно розділяти за складом. Це дозволяє:

- повторно вилучати зерно;
- використовувати окремі фракції;
- зменшувати кількість утилізаційних відходів;
- підвищувати загальний вихід готового продукту.

Зерноочисний комплекс включає значну кількість транспортних машин:

- норії;
- стрічкові транспортери;
- шнекові транспортери;
- скребкові транспортери;
- самопливні трубопроводи.

Транспортне обладнання також споживає електроенергію.

Зниження енерговитрат можливе шляхом:

- скорочення довжини транспортних трас;
- використання самопливу там, де це можливо;
- правильного підбору продуктивності;
- уникнення перевантаження;
- зменшення кількості пересипань;
- автоматичного вимкнення порожніх транспортерів;
- регулярного обслуговування підшипників і приводів.

Особливо важливим є узгодження продуктивності транспортних і технологічних машин.

Якщо транспортер має продуктивність, значно вищу за потребу технологічної лінії, його електродвигун може працювати нерационально. Якщо продуктивність недостатня, виникає перевантаження та ризик зупинки лінії.

3. Автоматизація та оптимізація процесів очищення.

Автоматизація є одним із найефективніших способів підвищення енергоефективності.

Автоматизована система може контролювати:

- продуктивність;
- рівень завантаження;
- струм електродвигунів;
- потужність;
- швидкість обертання;
- витрату повітря;
- тиск у повітропроводах;
- рівень зерна в бункерах;
- температуру підшипників;
- стан сит;
- аварійні режими.

Система автоматизації отримує інформацію від датчиків і відповідно змінює параметри обладнання.

Наприклад, якщо продуктивність зерноочисної машини зменшується, система може автоматично знизити витрату повітря. Якщо подача зерна збільшується, вентиляційна система може збільшити повітряний потік.

Електродвигун зерноочисної машини повинен працювати в оптимальному діапазоні навантаження.

Контроль навантаження дозволяє:

- запобігати перевантаженню;
- зменшувати аварійні зупинки;
- підтримувати стабільну продуктивність;
- економити електроенергію;

- підвищувати довговічність обладнання.

Одним із простих способів контролю є вимірювання струму електродвигуна.

Збільшення струму може свідчити про:

- перевантаження;
- збільшення подачі зерна;
- засмічення робочого органу;
- несправність механізму;
- підвищення опору руху.

Автоматична система може при цьому зменшити подачу матеріалу або змінити режим роботи.

Частотні перетворювачі дають можливість регулювати швидкість обертання електродвигунів.

Вони особливо ефективні для:

- вентиляторів;
- насосів;
- транспортерів;
- шнеків;
- приводів машин.

Перевагою частотного регулювання є можливість пристосування продуктивності обладнання до фактичного навантаження.

Для вентиляторів зниження частоти обертання може суттєво зменшувати споживання енергії, тому регулювання повітряного потоку зміною швидкості вентилятора часто ефективніше, ніж постійна робота на номінальній швидкості з дроселюванням заслінкою.

Оптимальна продуктивність – це така продуктивність, за якої забезпечується необхідна якість очищення та мінімальні питомі енерговитрати.

Система автоматичного керування може підтримувати її за допомогою:

- регулювання подачі зерна;
- зміни швидкості транспортерів;

- зміни швидкості вентиляторів;
- регулювання заслінок;
- зміни частоти обертання робочих органів.

Наприклад, якщо струм двигуна перевищує допустиме значення, система автоматично зменшує подачу зерна. Після стабілізації навантаження подача може поступово збільшуватися.

Такий принцип дозволяє використовувати машину близько до оптимального режиму без постійного втручання оператора.

Енергоефективність не можна оцінювати лише за кількістю спожитої електроенергії.

Якщо зменшити витрати енергії шляхом надмірного зниження продуктивності або повітряного потоку, але при цьому якість очищення стане незадовільною, така технологія не буде ефективною.

Тому необхідно одночасно контролювати:

- вміст домішок після очищення;
- втрати зерна;
- продуктивність;
- питомі енерговитрати.

Важливим показником є коефіцієнт ефективності очищення.

У спрощеному вигляді його можна оцінювати через співвідношення кількості видалених домішок до їх початкового вмісту.

Для комплексної оцінки зерноочисної машини доцільно використовувати систему показників:

1. Продуктивність – т/год. Показує кількість зерна, яку машина може очистити за одиницю часу.

2. Питомі енерговитрати – кВт·год/т. Характеризують кількість електроенергії, необхідної для очищення однієї тони зерна.

3. Ступінь очищення – %. Характеризує ефективність видалення домішок.

4. Втрати зерна – %. Показують частку повноцінного зерна, що потрапляє у відходи.

5. Вихід кондиційного зерна – %. Показує частку якісного продукту після очищення.

6. Експлуатаційні витрати. Включають витрати на електроенергію, технічне обслуговування, ремонт, заміну сит та інших робочих органів.

Рекуперація означає повернення частини енергії, яка в іншому випадку була б втрачена. У зерноочисних комплексах можливості рекуперації можуть бути пов'язані з:

- гальмуванням електроприводів;
- транспортними системами;
- вентиляційними системами;
- використанням тепла;
- повторним використанням очищеного повітря в окремих технологічних процесах.

Для звичайних зерноочисних машин можливості електричної рекуперації часто обмежені, оскільки більшість приводів працює в режимах, де енергія гальмування невелика.

Більш перспективним напрямом може бути комплексне енергетичне використання відпрацьованих потоків і тепла, особливо в інтегрованих комплексах післязбиральної обробки, де очищення поєднане із сушінням. Енергоефективність потрібно оцінювати не тільки для окремої машини, а для всього зерноочисного комплексу.

Наприклад, лінія може включати:

приймальний бункер → норія → попередній очищувач → аспірація → основний сепаратор → трієр → калібрувальна машина → транспортне обладнання → бункер готового зерна.

Енергетична ефективність такої системи залежить від узгодженості всіх машин.

Якщо одна машина має високу продуктивність, але інша є «вузьким місцем», виникають простой або накопичення зерна.

Тому необхідно:

- узгоджувати продуктивність машин;
- мінімізувати транспортування;
- уникати непотрібного повторного очищення;

- забезпечувати автоматичну синхронізацію;
- вимикати обладнання під час відсутності матеріалу.

Підвищене енергоспоживання зерноочисного комплексу може бути спричинене:

- перевантаженням машини;
- недовантаженням;
- неправильно підібраними робочими органами;
- забрудненням сит;
- неправильним повітряним режимом;
- негерметичністю аспіраційної системи;
- зношенням деталей;
- несправністю підшипників;
- неправильним натягом транспортерів;
- недостатнім технічним обслуговуванням;
- неоптимальним маршрутом транспортування;
- роботою обладнання вхолосту;
- частими повторними проходами зерна.

Тому боротьба з енерговитратами повинна починатися з визначення їх конкретних причин.

Технічний стан машини безпосередньо впливає на її енергетичну ефективність.

Необхідно регулярно:

- очищати робочі органи;
- перевіряти підшипники;
- контролювати стан ременів;
- перевіряти ланцюгові передачі;
- змащувати вузли відповідно до вимог виробника;
- очищати вентиляційні системи;
- перевіряти стан сит;
- контролювати герметичність аспірації;
- перевіряти електродвигуни;
- контролювати з'єднання та кабелі.

Несправний або зношений механізм створює додатковий опір і потребує більшої потужності.

Економічний ефект від енергозбереження формується за рахунок:

- зменшення витрат електроенергії;
- зменшення втрат зерна;
- скорочення витрат на обслуговування;
- збільшення продуктивності;
- зменшення простоїв;
- підвищення якості готової продукції.

Річну економію електроенергії можна приблизно визначити:

$$\Delta W = (e_1 - e_2) \cdot M,$$

де:

ΔW – річна економія електроенергії, кВт·год;

e_1 – питомі енерговитрати до впровадження заходу, кВт·год/т;

e_2 – питомі енерговитрати після впровадження, кВт·год/т;

M – річний обсяг очищення, т.

Економію коштів:

$$E = \Delta W \cdot C,$$

де:

C – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Якщо впровадження енергоощадної технології потребує інвестицій, визначають строк їх окупності:

$$T = I / E(p),$$

де:

T – строк окупності, років;

I – інвестиції, грн;

$E(p)$ – річний економічний ефект, грн/рік.

Чим менший строк окупності за прийнятного рівня ризику та необхідної якості очищення, тим привабливішим є захід.

Припустимо, зерноочисна машина має продуктивність 10 т/год і споживає в середньому 30 кВт.

Питомі енерговитрати:

$$e = 30 / 10 = 3 \text{ кВт·год/т.}$$

Якщо після оптимізації режиму роботи продуктивність збільшилась до 12 т/год, а середня потужність становить 31 кВт, то:

$$e = 31 / 12 = 2,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Таким чином, абсолютна потужність збільшилася, але питомі енерговитрати зменшилися.

Це важливий принцип оцінювання: *вища споживана потужність не завжди означає нижчу енергоефективність*. Необхідно порівнювати потужність із фактичною продуктивністю та якістю очищення.

Основними принципами є:

1. забезпечення необхідної якості очищення;
2. вибір оптимальної продуктивності;
3. мінімізація питомих енерговитрат;
4. раціональне використання повітря;
5. правильний вибір сит;
6. мінімізація втрат повноцінного зерна;
7. скорочення повторних проходів;
8. оптимізація транспортних операцій;
9. автоматичне регулювання режимів;
10. контроль фактичного навантаження;
11. своєчасне технічне обслуговування;
12. комплексна оцінка енергетичних та економічних показників.

Подальший розвиток зерноочисних технологій пов'язаний із цифровізацією та інтелектуальним керуванням.

Перспективними є:

- автоматичне визначення складу зернової маси;
- сенсорний контроль якості;
- автоматичне регулювання повітряних потоків;
- частотне керування електроприводами;
- дистанційний моніторинг обладнання;
- прогнозування технічного стану;
- автоматичне очищення сит;
- системи енергетичного моніторингу;
- оптимізація роботи комплексу в реальному часі.

Використання датчиків і цифрових систем дозволяє переходити від фіксованих режимів роботи до адаптивного керування.

Адаптивна система змінює параметри обладнання залежно від:

- виду культури;
- вологості;
- засміченості;
- продуктивності;
- якості очищення;
- фактичного навантаження.

Це дає можливість працювати ближче до оптимального режиму протягом усього технологічного циклу.

Підвищення енергоефективності зерноочисного комплексу доцільно здійснювати за такою послідовністю:

1. Визначити фактичне енергоспоживання. Необхідно виміряти потужність основних електродвигунів та тривалість їх роботи.

2. Визначити продуктивність. Потрібно встановити фактичну кількість зерна, очищеного за одиницю часу.

3. Розрахувати питомі енерговитрати. Визначають кількість кВт·год на одну тонну продукції.

4. Оцінити якість очищення. Визначають кількість залишкових домішок і втрати зерна.

5. Визначити найбільш енергоємні операції. Особливу увагу приділяють вентиляторам, транспортерам та основним приводам.

6. Оптимізувати режими. Регулюють подачу зерна, повітря, швидкість робочих органів.

7. Автоматизувати регулювання. Встановлюють датчики, частотні перетворювачі та автоматичні системи керування.

8. Повторно оцінити показники. Порівнюють продуктивність, якість, втрати та питомі енерговитрати до і після модернізації.

Енергоефективна механізація очищення зерна і насіння є важливою складовою сучасного післязбирального комплексу. Її основною метою є отримання якісного очищеного зерна при мінімальних витратах енергії та ресурсів.

Найбільший вплив на енергоефективність мають:

- продуктивність машини;
- правильний вибір режимів роботи;
- повітряні потоки;
- стан і тип сит;
- навантаження робочих органів;
- кількість повторних проходів;
- транспортне обладнання;
- технічний стан машин;
- автоматизація;
- узгодженість усіх елементів технологічної лінії.

Необхідно пам'ятати, що мінімальне споживання електроенергії саме по собі не є головним критерієм. Енергоефективним є такий процес, який забезпечує *необхідну якість очищення, високу продуктивність, мінімальні втрати зерна та найменші питомі витрати енергії*.

Особливо перспективним напрямом є автоматизація. За допомогою датчиків, частотного регулювання та автоматичних систем керування можна підтримувати оптимальне завантаження машин, регулювати повітряні потоки, уникати перевантажень і роботи обладнання вхолосту.

Економічна ефективність енергоощадних технологій визначається не лише зниженням витрат електроенергії, а комплексним результатом: скороченням експлуатаційних витрат, зменшенням втрат зерна, підвищенням продуктивності, стабілізацією якості та збільшенням загального виходу кондиційного продукту.

Таким чином, сучасна енергоефективна технологія очищення повинна розглядатися як цілісна автоматизована система, у якій зерноочисні машини, аспірація, транспортери, приводи та системи керування працюють узгоджено. Саме комплексний підхід дає змогу досягти максимальної економії енергії та ресурсів без погіршення якості очищення.

Контрольні питання:

1. Що розуміють під енергетичною ефективністю зерноочисної машини?
2. Які основні показники використовують для оцінювання енергоефективності?
3. Як визначають питомі енерговитрати зерноочисної машини?
4. Які основні типи машин застосовують для очищення зерна?
5. На якому принципі працює повітряно-решітний сепаратор?
6. Яке призначення аспіраційної системи?
7. Як швидкість повітря впливає на якість очищення та енергоспоживання?
8. Які фактори впливають на ефективність роботи сит?
9. Для чого застосовують трієри?
10. Яким чином можна зменшити втрати зерна з відходами?
11. Чому повторне проходження зерна збільшує ресурсні витрати?
12. Які переваги дає автоматичне регулювання продуктивності?
13. Для чого використовують частотні перетворювачі?
14. Які параметри можна контролювати автоматизованою системою?
15. Що таке питомі енерговитрати?
16. Як визначається економія електроенергії після модернізації?
17. Що таке строк окупності енергоощадного заходу?
18. Які основні причини підвищених енерговитрат зерноочисних машин?
19. Яке значення має технічне обслуговування для енергозбереження?
20. Чому енергоефективність необхідно оцінювати для всієї технологічної лінії, а не лише окремої машини?

21. Які можливості рекуперації енергії існують у зерноочисних комплексах?
22. Які перспективи цифровізації процесів очищення зерна?
23. Що таке оптимальний режим роботи зерноочисної машини?
24. Як співвідносяться продуктивність, якість очищення та питомі енерговитрати?
25. У чому полягає комплексний підхід до енергоефективної механізації очищення зерна?

Лекція 4. Енергоефективні технології вентилявання та сушіння зерна

1. Енергозберігальні режими вентилявання зерна.

Післязбиральна обробка зерна є важливою складовою технології виробництва та зберігання зернової продукції. Свіжозібране зерно часто має підвищену вологість, містить значну кількість домішок і характеризується підвищеною фізіологічною активністю. За несприятливих умов воно швидко нагрівається, втрачає якість, уражується мікроорганізмами та може самозігріватися. Тому після збирання необхідно забезпечити своєчасне охолодження, вентилявання, сушіння та доведення зерна до безпечної для зберігання вологості.

Вентилювання та сушіння є одними з найбільш енергоємних процесів післязбиральної обробки. Значна частина електроенергії витрачається на роботу вентиляторів, транспортерів, норій, систем автоматизації, а теплова енергія – на нагрівання сушильного агенту та випаровування води із зерна.

Енергоефективність цих процесів полягає не просто у зменшенні споживання електричної або теплової енергії. Основним завданням є отримання необхідного результату – охолодження або сушіння зерна до заданих параметрів – із мінімальними питомими енерговитратами та без погіршення якості продукції.

Рациональна організація вентилявання і сушіння повинна враховувати:

- початкову вологість зерна;
- температуру зерна;
- температуру та відносну вологість зовнішнього повітря;
- вид і сорт культури;
- призначення зерна;
- необхідну кінцеву вологість;
- товщину зернового шару;
- продуктивність вентилятора;
- опір зернової маси;
- температуру сушильного агенту;
- тривалість процесу;

- енергетичну ефективність обладнання;
- якість готового зерна.

Активне вентилявання – це примусове пропускання повітря через шар зернової маси за допомогою вентилятора.

Основними завданнями вентилявання є:

- охолодження зерна;
- вирівнювання температури;
- зниження інтенсивності дихання зерна;
- запобігання самозігріванню;
- видалення надлишкової вологи;
- підтримання стабільних умов зберігання;
- зменшення ризику розвитку плісняви та мікроорганізмів;
- тимчасове консервування свіжозібраного зерна.

Вентилювання може здійснюватися:

- зовнішнім атмосферним повітрям;
- підігрітим повітрям;
- охолодженим повітрям;
- повітрям, яке частково рециркулює;
- періодично або безперервно.

При цьому важливо правильно визначити, коли вентилявання доцільно проводити. Безконтрольне вентилявання не завжди є енергетично ефективним. Якщо атмосферне повітря має несприятливу температуру або високу відносну вологість, тривала його подача може не забезпечити необхідного ефекту, а іноді навіть збільшити вологість зерна.

Тому ефективне вентилявання повинно бути керованим процесом, параметри якого відповідають стану зерна та умовам навколишнього середовища.

Зернова маса складається з великої кількості окремих частинок, між якими існують повітряні проміжки. При пропусканні повітря через зерновий шар виникає аеродинамічний опір.

Повітря, проходячи через шар зерна, контактує з поверхнею зернівок і забезпечує тепло- та масообмін.

У процесі вентилявання відбуваються:

1. передача тепла між повітрям і зерном;
2. переміщення вологи;
3. охолодження або нагрівання зернової маси;
4. часткове випаровування води;
5. зміна температури та вологості повітря.

Ефективність процесу залежить від:

- швидкості руху повітря;
- температури повітря;
- відносної вологості;
- вологості зерна;
- температури зерна;
- товщини шару;
- рівномірності розподілу повітря.

Якщо повітря розподіляється нерівномірно, окремі ділянки зернової маси вентилуються недостатньо. У таких місцях можуть утворюватися локальні осередки нагрівання.

Основний принцип полягає у використанні мінімально необхідної кількості повітря протягом оптимального часу.

Недоцільно постійно працювати вентилятором на максимальній продуктивності, якщо для досягнення потрібного ефекту достатньо меншого повітряного потоку.

З іншого боку, надмірне зменшення подачі повітря може призвести до:

- збільшення тривалості процесу;
- нерівномірного охолодження;
- утворення зон підвищеної температури;
- погіршення зберігання;
- необхідності повторного вентилування.

Тому енергозберігальний режим – це не мінімальний режим роботи вентилятора, а оптимальний режим.

Продуктивність вентилятора визначається необхідною кількістю повітря, яка повинна пройти через зернову масу за одиницю часу.

Позначимо:

Q_v – об'ємна продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Чим більша площа насипу і товщина зернового шару, тим більшим може бути необхідний повітряний потік.

При виборі вентилятора необхідно враховувати:

- обсяг зерна;
- площу вентиляційної системи;
- висоту шару;
- культуру;
- вологість;
- опір зернового шару;
- конструкцію перфорованого днища;
- опір повітропроводів;
- фільтри та клапани;
- необхідну інтенсивність вентилявання.

Вентилятор повинен забезпечувати не тільки необхідну витрату повітря, а й відповідний тиск.

При проходженні повітря через зерно виникає опір.

Величина опору залежить від:

- культури;
- форми зернівок;
- вологості;
- засміченості;
- товщини шару;
- швидкості повітря;
- ущільнення зерна.

Чим вищий шар зерна, тим більший опір повітрю.

Підвищення швидкості повітря також збільшує необхідний тиск вентилятора.

Тому проектування системи має передбачати оптимальне співвідношення:

витрата повітря – тиск – енергоспоживання – ефективність процесу.

Потужність, необхідна для переміщення повітря, приблизно визначається:

$$P = Q_v \cdot \Delta p / \eta,$$

де:

P – споживана потужність, Вт або кВт;

Q_v – витрата повітря, м³/с;

Δp – перепад тиску, Па;

η – загальний коефіцієнт корисної дії вентилятора і привода.

З формули видно, що енергоспоживання збільшується зі збільшенням витрати повітря та тиску.

Тому одним із головних напрямів енергозбереження є зменшення непотрібного опору системи та забезпечення тільки необхідної витрати повітря.

Для вентилявання зерна важливе значення має відносна вологість атмосферного повітря.

Холодне повітря може мати низький абсолютний вміст води, навіть якщо його відносна вологість є високою. Після нагрівання відносна вологість зменшується, і повітря отримує здатність поглинати додаткову вологу.

Тому доцільність вентилявання необхідно оцінювати не лише за температурою, а за сукупністю параметрів:

- температура;
- відносна вологість;
- вологовміст;
- температура зерна;
- необхідна кінцева вологість.

Автоматизовані системи можуть визначати, чи є зовнішнє повітря придатним для вентилявання.

Одним із способів енергозбереження є періодична робота вентиляторів.

Замість безперервного вентилявання можна використовувати цикли:

вентилювання → пауза → контроль → вентилявання.

Переваги:

- зменшення часу роботи вентилятора;
- зниження споживання електроенергії;

- можливість використання сприятливих погодних умов;
- поступове вирівнювання температури;
- зменшення ризику надмірного висушування.

Однак тривалість пауз повинна бути такою, щоб не створювати небезпеку локального нагрівання.

У деяких умовах для охолодження зерна доцільно використовувати періоди, коли температура атмосферного повітря нижча.

Наприклад, у прохолодний період доби можна отримати необхідний ефект охолодження при менших витратах енергії, ніж при використанні механічного охолодження.

Водночас автоматизована система повинна оцінювати вологість повітря. Сам факт зниження температури не означає, що повітря завжди придатне для вентилявання.

Традиційно продуктивність вентилятора може регулюватися заслінками.

Проте дроселювання повітря може призводити до додаткових втрат.

Ефективнішим способом є частотне регулювання електродвигуна.

Зміна частоти обертання дозволяє:

- змінювати продуктивність вентилятора;
- зменшувати витрати електроенергії;
- плавно адаптувати систему до навантаження;
- уникати різких пускових режимів;
- автоматично підтримувати заданий тиск або витрату

повітря.

Особливо важливе частотне регулювання при змінному навантаженні.

Значна частина енергії може втрачатися через негерметичність системи.

Місцями підсмоктування повітря можуть бути:

- нещільні з'єднання;
- тріщини;

- несправні заслінки;
- отвори;
- неякісні ущільнення;
- пошкоджені повітропроводи.

Через це вентилятор переміщує додатковий обсяг повітря, який не бере участі в технологічному процесі.

Герметизація дозволяє зменшити необхідну потужність вентилятора.

Навіть потужний вентилятор не забезпечить ефективного процесу, якщо повітря розподіляється нерівномірно.

Причинами нерівномірності можуть бути:

- неправильна конструкція повітророзподільної системи;
- нерівномірна товщина шару;
- ущільнення зерна;
- засмічення перфорованої поверхні;
- неправильне розташування каналів.

Нерівномірність призводить до того, що частина зерна залишається недостатньо охолодженою або висушеною.

Основними енергозберігальними режимами є:

1. Періодичне вентилявання

Вентилятор працює циклічно, що зменшує сумарний час роботи.

2. Вентилювання за сприятливих погодних умов

Використовується повітря, яке має необхідні температурно-вологісні характеристики.

3. Регулювання швидкості вентилятора

Забезпечує подачу повітря відповідно до фактичної потреби.

4. Автоматичне включення

Вентилятор запускається лише тоді, коли умови є оптимальними.

5. Зональне вентилявання

Повітря подається лише до необхідної частини зернового шару.

6. Контроль температури

Вентиляція запускається при досягненні заданої температури зерна.

7. Оптимізація повітропроводів

Зменшення аеродинамічного опору скорочує енергоспоживання.

Питомі електричні енерговитрати можна визначити:

$$e_e = W / M,$$

де:

e_e – питомі електровитрати, кВт·год/т;

W – витрачена електроенергія, кВт·год;

M – маса вентильованого зерна, т.

Електрична енергія:

$$W = P \cdot t,$$

де:

P – середня потужність, кВт;

t – тривалість роботи, год.

Отже:

$$e_e = P \cdot t / M.$$

Цей показник дозволяє порівнювати різні режими вентильовання.

2. Ресурсощадні технології сушіння.

Сушіння – це процес видалення вологи із зерна за рахунок передачі тепла та масообміну між зерном і сушильним агентом.

Сушіння необхідне для:

- доведення зерна до безпечної вологості;
- тривалого зберігання;
- запобігання самозігріванню;
- зменшення активності мікроорганізмів;
- підвищення стабільності зерна;
- забезпечення необхідної якості під час зберігання та переробки.

Сушіння є значно більш енергоємним процесом, ніж просте вентильовання, оскільки необхідно витратити значну кількість

теплової енергії на нагрівання зерна, повітря та випаровування води.

Сушіння відбувається завдяки переміщенню вологи з внутрішніх шарів зернівки до поверхні та подальшому випаровуванню.

Сушильний агент передає зерну тепло.

Частина тепла витрачається на:

- нагрівання зерна;
- нагрівання вологи;
- випаровування води;
- нагрівання повітря;
- нагрівання конструктивних елементів;
- компенсацію теплових втрат.

Тому основним завданням енергоефективного сушіння є максимальне використання теплоти для випаровування вологи та мінімізація теплових втрат.

Зерносушарки можуть класифікуватися за різними ознаками.

За характером переміщення зерна:

- шахтні;
- колонкові;
- барабанні;
- камерні;
- модульні;
- рециркуляційні.

За організацією руху сушильного агенту:

- прямоточні;
- протитечійні;
- перехресного потоку;
- змішаного потоку.

За режимом роботи:

- періодичні;
- безперервні.

У шахтних сушарках зерно переміщується вертикально вниз, а сушильний агент проходить через зерновий шар.

Перевагами можуть бути:

- висока продуктивність;
- безперервність процесу;
- можливість автоматизації;
- компактність;
- ефективне використання тепла.

Недоліками можуть бути:

- ризик нерівномірного сушіння;
- підвищені вимоги до рівномірності подачі;
- можливість локального перегрівання;
- складність забезпечення однакової якості за неправильного налаштування.

У барабанних сушарках зерно переміщується разом із обертанням барабана.

Вони забезпечують інтенсивний контакт зерна із сушильним агентом.

Переваги:

- інтенсивний теплообмін;
- можливість обробки різних матеріалів;
- відносна простота конструкції.

Недоліки:

- можливі механічні пошкодження;
- значні теплові втрати;
- необхідність контролю температури;
- енерговитрати на обертання барабана.

Ресурсоощадне сушіння передбачає:

- мінімальну необхідну температуру сушильного агенту;
- оптимальну швидкість проходження зерна;
- правильну тривалість сушіння;
- максимальне використання теплоти;
- повторне використання тепла;
- рециркуляцію частини повітря;
- мінімізацію теплових втрат;
- запобігання пересушуванню;

- автоматичне регулювання процесу.

Особливо важливо не пересушувати зерно.

Пересушування означає видалення більшої кількості вологи, ніж необхідно для забезпечення заданої кінцевої вологості.

Наслідки:

- зайві витрати тепла;
- збільшення тривалості сушіння;
- зниження продуктивності;
- додаткові механічні навантаження;
- погіршення технологічних властивостей окремих культур;
- можливе зниження якості насіння;
- економічні втрати через зайве видалення вологи.

Наприклад, якщо зерно необхідно довести до певної нормативної вологості, зниження вологості значно нижче цього рівня не забезпечує пропорційної користі, але потребує додаткової енергії.

Тому автоматичне визначення кінцевої вологості є важливою умовою енергоефективності.

Температура сушильного агенту має принципове значення.

З підвищенням температури:

- збільшується інтенсивність випаровування;
- скорочується тривалість сушіння;
- потенційно збільшується продуктивність.

Але надмірне підвищення температури може призвести до:

- перегрівання зерна;
- пошкодження зародка;
- зниження схожості насіння;
- погіршення якості білків;
- зниження технологічних властивостей;
- утворення тріщин;
- нерівномірного висушування.

Тому температура сушильного агенту повинна відповідати призначенню зерна.

Для продовольчого, фуражного та насіннєвого зерна можуть застосовуватися різні температурні режими.

Насіннєве зерно є особливо чутливим до перегрівання, оскільки необхідно зберегти життєздатність зародка та високу схожість.

Для продовольчого зерна важливо зберегти:

- харчові властивості;
- якість білків;
- технологічні характеристики;
- колір;
- запах;
- структуру зернівки.

Тому режим сушіння завжди повинен вибиратися з урахуванням кінцевого призначення зерна.

Ефективність сушіння характеризують питомими тепловими витратами.

Вони можуть визначатися як:

$$q = Q / M_v,$$

де:

q – питомі теплові витрати;

Q – загальна теплова енергія, витрачена на сушіння;

M_v – маса випаруваної води.

Також використовують показник енергії на тону висушеного зерна:

$$e_t = Q / M.$$

Питомі витрати дозволяють порівнювати різні сушарки та технологічні режими.

Теплова енергія, що надходить до сушарки, розподіляється між корисними витратами та втратами.

У спрощеному вигляді:

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

де:

Q_n – підведена теплова енергія;

Q_1 – теплота випаровування вологи;

Q_2 – теплота нагрівання зерна;

Q_3 – теплота, що виходить із відпрацьованим повітрям;

Q_4 – теплові втрати через конструкції.

Основна мета енергоефективної сушарки – збільшити частку Q_1 та зменшити непотрібні складові втрат.

Відпрацьовані гази та повітря після сушильної камери часто мають підвищену температуру.

Якщо цю теплоту просто викидати в атмосферу, значна частина енергії втрачається.

Для її використання можуть застосовуватися:

- теплообмінники;
- рециркуляційні системи;
- рекуператори;
- попередній підігрів свіжого повітря;
- попередній підігрів сушильного агенту.

Наприклад, відпрацьоване тепле повітря може передавати частину тепла холодному повітрю через теплообмінник.

Таким чином зменшується потреба в паливі.

Частину відпрацьованого повітря можна повертати в сушильний процес.

Переваги:

- зменшення теплових втрат;
- зниження витрат палива;
- підвищення теплового ККД;
- стабілізація температурного режиму.

Однак повна рециркуляція не завжди доцільна, оскільки відпрацьоване повітря містить підвищену кількість вологи.

Якщо його повністю повернути в процес, здатність сушильного агенту поглинати додаткову вологу може зменшитися.

Тому використовується часткова та контрольована рециркуляція.

До вторинних енергетичних ресурсів належить енергія, яка утворюється як побічний продукт основного технологічного процесу.

У зерносушарках такими ресурсами можуть бути:

- теплота відхідних газів;
- тепло нагрітих поверхонь;
- тепло відпрацьованого повітря;
- теплота охолоджувального повітря;
- тепло від інших технологічних установок.

Їх використання дозволяє зменшити витрати первинного палива.

Теплові втрати через стінки та інші конструктивні елементи можуть бути значними.

Для їх зменшення використовують:

- теплоізоляційні матеріали;
- герметичні конструкції;
- теплоізовані повітропроводи;
- ущільнення дверей та люків;
- мінімізацію відкритих гарячих поверхонь.

Ефективна теплоізоляція дозволяє направити більшу частину енергії на сушіння зерна.

У безперервних сушарках тривалість перебування зерна в робочій зоні залежить від швидкості його переміщення.

Якщо зерно рухається надто швидко:

- воно може не досягти потрібної вологості;
- доведеться здійснювати повторне сушіння.

Якщо зерно рухається надто повільно:

- збільшується тривалість процесу;
- зменшується продуктивність;
- збільшуються енерговитрати;
- зростає ризик пересушування.

Тому необхідно підтримувати оптимальну швидкість переміщення зерна.

Після виходу із сушарки зерно часто має підвищену температуру.

Перед зберіганням його необхідно охолодити.

Охолодження може здійснюватися:

- атмосферним повітрям;
- активним вентиляванням;
- у спеціальній охолоджувальній зоні сушарки.

Раціональне використання тепла передбачає, щоб теплова енергія, яка ще міститься в зерні, не втрачалася безконтрольно.

В окремих конструкціях теплота з охолоджувальної зони може використовуватися для попереднього нагрівання повітря, яке надходить до сушильної зони.

3. Порівняння традиційних і енергоефективних режимів за питомими енерговитратами та якістю готового зерна.

Автоматизація дозволяє підтримувати необхідні параметри процесу без постійного ручного втручання оператора.

Основні завдання автоматизованої системи:

- вимірювання температури;
- вимірювання вологості;
- контроль продуктивності;
- регулювання подачі зерна;
- регулювання подачі повітря;
- регулювання подачі тепла;
- контроль тиску;
- контроль стану вентиляторів;
- запобігання аварійним режимам;
- підтримання кінцевої вологості.

Температура є одним із найважливіших параметрів.

Датчики можуть встановлюватися:

- у зерновому потоці;
- у зерновому бункері;
- у сушильній камері;
- на вході сушильного агенту;
- на виході сушильного агенту;
- у повітропроводах;
- у силосах.

За даними датчиків автоматична система може визначати необхідність:

- збільшення нагрівання;
- зменшення нагрівання;
- збільшення подачі повітря;
- зменшення подачі повітря;
- зміни швидкості зерна.

Контроль вологості є основою автоматичного керування сушінням.

Вологоміри можуть визначати:

- початкову вологість;
- проміжну вологість;
- кінцеву вологість.

Якщо кінцева вологість вже досягла заданого рівня, система може:

- зменшити теплоподачу;
- змінити швидкість проходження зерна;
- перевести сушарку в інший режим;
- зупинити процес.

Це запобігає пересушуванню.

Подача теплової енергії може регулюватися автоматично.

Залежно від показників датчиків система може змінювати:

- подачу палива;
- потужність пальника;
- температуру сушильного агенту;
- співвідношення палива і повітря.

При зниженні вологості зерна потреба в тепловій енергії може змінюватися. Автоматичне регулювання забезпечує відповідність теплоподачі фактичній потребі. Вентилятор може бути обладнаний частотним перетворювачем.

Автоматична система може підтримувати:

- задану витрату повітря;
- заданий тиск;
- задану температуру;

- задану вологість сушильного агенту.

Якщо навантаження зменшується, швидкість вентилятора зменшується. Якщо навантаження збільшується, швидкість вентилятора збільшується. Таким чином усувається надлишкова витрата електроенергії. Подача зерна є одним із ключових параметрів.

Якщо подача надто велика:

- зерно недостатньо висушується;
- збільшується навантаження;
- погіршується якість.

Якщо подача надто мала:

- сушарка недовантажена;
- питомі витрати енергії зростають;
- зменшується продуктивність.

Автоматичне регулювання дозволяє підтримувати оптимальну подачу.

У спрощеному вигляді автоматична система складається з:

датчики → контролер → алгоритм керування → виконавчі механізми → технологічний процес → датчики.

Датчики вимірюють параметри.

Контролер порівнює їх із заданими значеннями.

Після цього система формує команду виконавчим механізмам.

Наприклад:

датчик вологості → контролер → регулювання пальника → зміна температури сушильного агенту.

Або:

датчик навантаження → контролер → частотний перетворювач → зміна швидкості вентилятора.

Автоматичне керування базується на принципі зворотного зв'язку.

Система постійно:

1. вимірює параметр;
2. порівнює його із заданим;
3. визначає відхилення;

4. змінює режим роботи;
5. повторно вимірює параметр.

Наприклад, якщо вологість готового зерна вища за задану, система може збільшити інтенсивність сушіння.

Якщо вологість нижча за необхідну, система зменшує інтенсивність, щоб не допустити пересушування.

Автоматична система вентиляювання може враховувати:

- температуру зерна;
- температуру зовнішнього повітря;
- відносну вологість;
- вологість зерна;
- тривалість попереднього вентиляювання;
- прогнозовані умови навколишнього середовища.

Вентилятор вмикається лише тоді, коли зовнішнє повітря може забезпечити бажаний результат.

Це дозволяє уникати непотрібного споживання електроенергії.

Час вентиляювання не повинен бути однаковим для всіх ситуацій.

Він залежить від:

- початкової температури;
- маси зерна;
- товщини шару;
- температури повітря;
- вологості повітря;
- продуктивності вентилятора;
- необхідної кінцевої температури.

Автоматична система може припинити вентиляювання після досягнення заданої температури.

Таким чином запобігається робота вентилятора вхолосту.

Автоматизована сушарка може мати декілька зон контролю.

Наприклад:

зона нагрівання → зона сушіння → зона охолодження.

Для кожної зони встановлюються відповідні датчики.

Система контролює:

- температуру;
- вологість;
- швидкість руху зерна;
- витрату повітря;
- температуру відпрацьованого повітря.

На основі цих даних визначається ефективність процесу.

Температура повітря на виході з сушарки є важливим непрямым показником процесу.

Якщо вихідне повітря має надмірно високу температуру, це може означати, що значна частина тепла не використовується ефективно.

Якщо температура занадто низька, можливе недостатнє нагрівання або надмірна подача зерна.

Тому контроль вихідної температури може використовуватися для оптимізації подачі тепла.

Вологість вихідного повітря характеризує кількість вологи, яка забирається із зерна.

За допомогою цього показника можна оцінювати:

- інтенсивність сушіння;
- ефективність використання повітря;
- необхідність зміни температури;
- необхідність зміни витрати повітря.

Поєднання вимірювання температури та вологості дає значно більше інформації, ніж контроль лише одного параметра.

Сучасні автоматизовані системи можуть використовувати алгоритми оптимізації.

Наприклад, система може аналізувати:

- поточну вологість;
- температуру;
- продуктивність;
- витрати палива;
- витрати електроенергії;
- якість готового зерна.

Після цього система вибирає режим, який забезпечує мінімальні питомі витрати при досягненні заданої якості.

Традиційна технологія часто передбачає:

- постійну швидкість вентилятора;
- фіксовану температуру сушіння;
- ручне регулювання;
- періодичний контроль вологості;
- роботу обладнання із запасом продуктивності;
- недостатнє використання теплоти відхідних газів;
- обмежене використання автоматизації.

Перевагою є простота.

Недоліками можуть бути:

- підвищене енергоспоживання;
- пересушування;
- нестабільна якість;
- нерівномірне сушіння;
- робота обладнання без оптимального навантаження.

Енергоефективний режим передбачає:

- автоматичний контроль вологості;
- автоматичний контроль температури;
- змінну продуктивність вентилятора;
- регулювання теплоподачі;
- частотне керування приводами;
- використання теплоти відхідних газів;
- теплоізоляцію;
- оптимізацію тривалості процесу;
- автоматичне припинення роботи після досягнення

заданих параметрів.

Для порівняння можна використовувати:

Електроенергія:

$$e_e = W_e / M$$

Теплова енергія:

$$e_t = Q_t / M$$

або:

$$q_v = Q_t / M_v,$$

де:

M – маса висушеного зерна;

M_v – маса випаруваної води.

Енергоефективна технологія повинна забезпечувати нижчі питомі витрати при збереженні або підвищенні якості.

Нехай традиційний режим сушіння забезпечує:

- продуктивність – 10 т/год;
- середню споживану електричну потужність – 30 кВт.

Питомі електровитрати:

$$e = 30 / 10 = 3 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Після оптимізації:

- продуктивність – 12 т/год;
- середня потужність – 31 кВт.

Тоді:

$$e = 31 / 12 = 2,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Отже, споживана потужність дещо збільшилася, але питомі витрати зменшилися приблизно на:

$$(3 - 2,58) / 3 \cdot 100 \approx 14 \text{ \%}.$$

Цей приклад демонструє, що основним критерієм є не абсолютна потужність, а кількість енергії, витрачена на одиницю продукції. Енергоефективний режим не повинен досягатися шляхом погіршення якості.

Необхідно контролювати:

- кінцеву вологість;
- рівномірність вологості;
- температуру зерна;
- схожість насіння;
- цілісність зернівок;
- технологічні властивості;
- відсутність ознак перегрівання.

Таким чином, правильне порівняння технологій має включати не лише енергетичні, а й якісні показники.

Енергетичну ефективність сушильно-вентиляційного комплексу необхідно оцінювати комплексно.

Основні показники:

1. продуктивність;
2. питомі електровитрати;
3. питомі теплові витрати;
4. кінцева вологість;
5. рівномірність сушіння;
6. втрати маси;
7. якість зерна;
8. витрати палива;
9. тривалість процесу;
10. експлуатаційні витрати.

Енергозбереження має не лише технологічний, а й економічний ефект.

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W = (e_1 - e_2) \cdot M,$$

де:

e_1 – питомі витрати до модернізації;

e_2 – питомі витрати після модернізації;

M – річний обсяг обробленого зерна.

Грошова економія:

$$E = \Delta W \cdot C,$$

де:

C – вартість електроенергії.

Для теплової енергії аналогічно:

$$E_t = (q_1 - q_2) \cdot M_v \cdot C_t,$$

де:

q_1, q_2 – питомі теплові витрати до і після модернізації;

M_v – маса випаруваної води;

C_t – вартість одиниці теплової енергії.

У вентиляванні:

- використання вентиляторів із високим ККД;
- частотне регулювання;

- автоматичне включення та вимикання;
- оптимізація витрати повітря;
- герметизація;
- зменшення опору повітропроводів;
- використання сприятливих погодних умов;
- періодичне вентилявання;
- контроль температури та вологості.

У сушінні:

- оптимізація температури;
- недопущення пересушування;
- автоматичний контроль кінцевої вологості;
- теплоізоляція;
- рекуперація тепла;
- використання теплоти відхідних газів;
- часткова рециркуляція;
- оптимізація швидкості руху зерна;
- регулювання теплоподачі;
- використання ефективних пальників;
- контроль температури відпрацьованого повітря.

Подальший розвиток технологій сушіння і вентилявання пов'язаний із переходом від фіксованих режимів до адаптивних.

Адаптивна система повинна самостійно враховувати зміну:

- вологості зерна;
- температури зерна;
- температури навколишнього повітря;
- відносної вологості;
- продуктивності;
- теплового навантаження;
- енергетичних витрат.

Перспективними є:

- цифрові датчики вологості;
- безперервний контроль температури;
- інтелектуальні системи керування;
- автоматична оптимізація сушіння;

- прогнозування кінцевої вологості;
- дистанційний моніторинг;
- автоматичний енергетичний аудит;
- цифрові моделі зерносушарок;
- системи рекуперації;
- частотно-регульовані приводи.

Ефективний технологічний процес можна організувати за такою послідовністю:

1. Визначення початкової вологості. Вологість зерна визначають перед початком процесу.

2. Визначення температури зерна. Оцінюється необхідність попереднього охолодження або нагрівання.

3. Визначення необхідної кінцевої вологості. Вона залежить від культури та призначення зерна.

4. Вибір температурного режиму. Температуру сушильного агенту встановлюють з урахуванням допустимого нагрівання зерна.

5. Встановлення продуктивності. Швидкість проходження зерна через сушарку встановлюється відповідно до його вологості.

6. Регулювання подачі повітря. Вентилятор працює з продуктивністю, необхідною для ефективного тепло- та масообміну.

7. Контроль температури. Система постійно контролює температуру сушильного агенту та зерна.

8. Контроль вологості. Визначається фактична кінцева вологість.

9. Коригування режиму. Якщо зерно недостатньо висушене – процес посилюється. Якщо воно досягло необхідної вологості – інтенсивність зменшується.

10. Охолодження. Після сушіння зерно охолоджується до температури, придатної для зберігання.

Розглянемо спрощену систему.

Початкова вологість зерна – підвищена.

Датчик вологості передає інформацію контролеру.

Контролер порівнює її із заданою кінцевою вологістю.

Якщо різниця велика:

- підтримується вища інтенсивність сушіння;
- пальник працює на необхідній потужності;
- вентилятор підтримує потрібну витрату повітря;
- швидкість проходження зерна підтримується на відповідному рівні.

У міру висушування зерна його вологість зменшується.

Контролер отримує нові дані.

Після досягнення необхідного рівня:

- зменшується теплова потужність;
- може змінюватися продуктивність вентилятора;
- зерно переходить у зону охолодження;
- система не допускає подальшого непотрібного нагрівання.

Такий принцип забезпечує економію енергії та стабільність якості.

До основних причин підвищених енерговитрат належать:

- завелика продуктивність вентилятора;
- надмірний тиск;
- негерметичність;
- забруднення фільтрів;
- неправильна конструкція повітропроводів;
- нерівномірний розподіл повітря;
- тривала робота без необхідності;
- відсутність автоматичного керування;
- неправильний вибір режиму;
- робота обладнання вхолосту;
- несправність двигуна або вентилятора.
- надмірна температура сушильного агенту;
- пересушування;
- надмірна тривалість сушіння;
- погана теплоізоляція;
- викидання теплого повітря без рекуперації;
- низький ККД теплогенератора;

- нерівномірний рух зерна;
- неправильне співвідношення повітря і тепла;
- відсутність автоматичного контролю;
- неоптимальна швидкість зерна;
- повторне сушіння через неправильний режим.

Вентилювання та сушіння не можна розглядати як повністю незалежні процеси.

Вентилювання може бути:

- підготовчим етапом;
- способом охолодження;
- засобом часткового видалення вологи;
- завершальним етапом після сушіння.

Раціональне поєднання цих процесів дозволяє зменшити загальну потребу в тепловій енергії.

Наприклад, якщо зерно можна частково охолодити або видалити частину вологи атмосферним повітрям, то сушарка працюватиме менший час.

Раціональна технологічна схема може мати вигляд:

приймання зерна → очищення → визначення вологості → попереднє вентилявання → сушіння → охолодження → контроль вологості → зберігання.

На кожному етапі здійснюється контроль.

Наприклад:

датчик вологості → визначення необхідності сушіння;

датчик температури → визначення необхідності вентилявання;

датчик вологості після сушарки → регулювання тривалості сушіння;

датчик температури → регулювання подачі тепла;

датчик тиску → регулювання вентилятора.

Сучасне обладнання повинно забезпечувати:

- високу продуктивність;
- низькі питомі енерговитрати;
- рівномірне сушіння;

- точний контроль вологості;
- мінімальні теплові втрати;
- можливість автоматичного регулювання;
- надійність;
- безпечність;
- простоту технічного обслуговування;
- можливість інтеграції з іншими машинами.

Енергозберігальні режими вентилявання та ресурсоощадні технології сушіння є важливими складовими ефективної післязбиральної обробки зерна.

Активне вентилявання забезпечує охолодження та часткове видалення вологи з зернової маси. Його енергоефективність залежить від правильного вибору продуктивності вентилятора, тиску, швидкості повітря, тривалості роботи та умов навколишнього середовища.

Основним принципом енергозбереження є подача тільки необхідної кількості повітря протягом оптимального часу. Надмірне вентилявання призводить до зайвого споживання електроенергії, а недостатнє – до погіршення умов зберігання.

Важливим способом підвищення ефективності є використання частотно-регульованих вентиляторів, автоматичного керування, герметичних повітропроводів та рівномірного розподілу повітря.

Сушіння зерна є значно більш енергоємним процесом, оскільки для випаровування вологи необхідна значна кількість теплової енергії. Тому ресурсоощадна технологія повинна передбачати оптимальну температуру сушильного агента, правильну тривалість процесу, недопущення пересушування та максимальне використання теплоти.

Одним із найефективніших заходів є використання теплоти відхідних газів. За допомогою теплообмінників, рекуператорів та часткової рециркуляції можна повернути частину теплової енергії до процесу.

Автоматизація дозволяє значно підвищити енергетичну ефективність. Використання датчиків температури та вологості дає

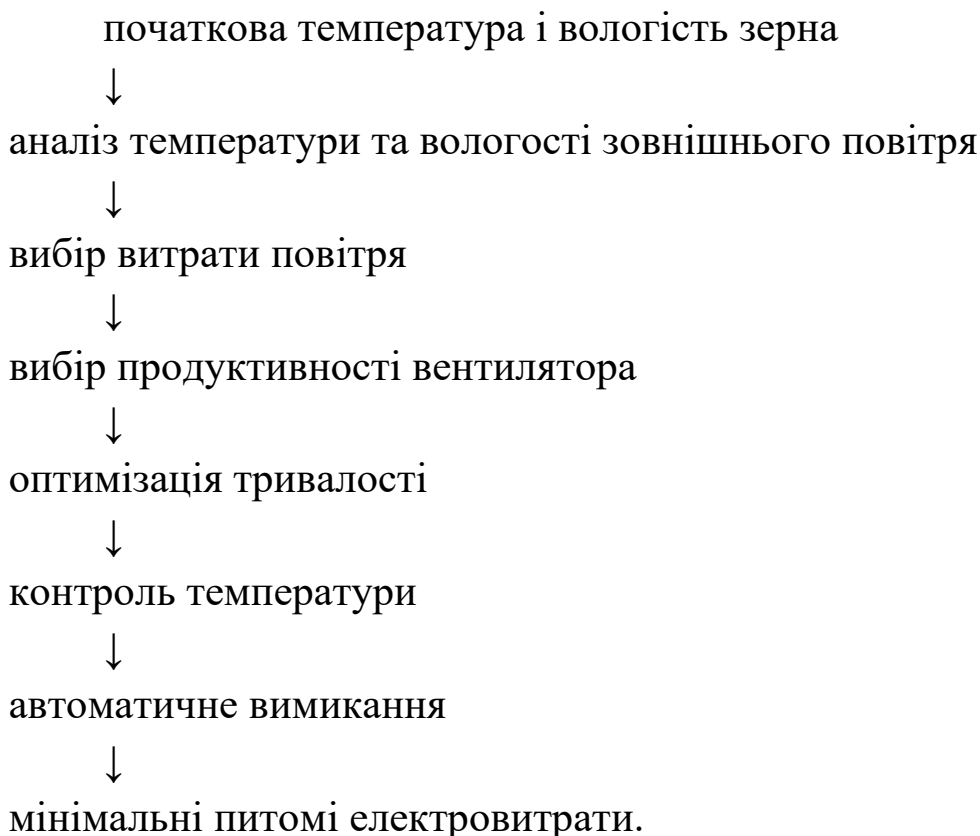
можливість контролювати процес у реальному часі. Автоматичні системи можуть регулювати подачу зерна, повітря та тепла відповідно до фактичного стану матеріалу.

Головним критерієм енергоефективності є не абсолютне зменшення потужності, а зниження питомих енерговитрат при збереженні необхідної якості зерна.

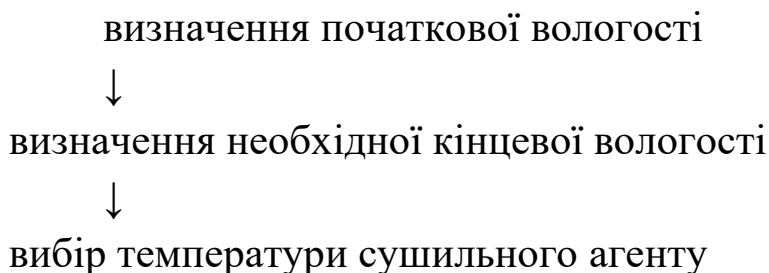
Отже, сучасна енергоефективна система вентилявання і сушіння повинна базуватися на комплексному підході:

точний контроль → оптимальний режим → мінімальні втрати → рекуперація енергії → автоматичне регулювання → висока якість зерна → мінімальні питомі енерговитрати.

Енергоефективне вентилявання:



Ресурсоощадне сушіння:



↓
оптимізація подачі зерна
↓
оптимізація витрати повітря
↓
використання теплоти відхідних газів
↓
рекуперація та рециркуляція
↓
контроль вологості
↓
охолодження
↓
зберігання.

Автоматизована система:

датчики температури + датчики вологості + датчики тиску +
датчики навантаження
↓
контролер
↓
аналіз фактичного стану
↓
регулювання вентилятора + регулювання теплогенератора +
регулювання подачі зерна
↓
стабільний технологічний режим
↓
зниження питомих енерговитрат
↓
збереження якості зерна.

Контрольні питання:

1. Що таке активне вентилювання зерна?
2. Які основні завдання вентилювання?

3. Які параметри визначають ефективність вентиляювання?
4. Як визначають продуктивність вентилятора?
5. Що таке аеродинамічний опір зернової маси?
6. Як опір зернової маси впливає на енергоспоживання?
7. Як визначають питомі електровитрати при вентиляюванні?
8. Чому не можна постійно використовувати максимальну продуктивність вентилятора?
9. Що таке періодичне вентиляювання?
10. Які переваги дає частотне регулювання вентиляторів?
11. Чому важлива герметичність повітропроводів?
12. Як температура та вологість атмосферного повітря впливають на вентиляювання?
13. Що таке сушіння зерна?
14. Які основні типи зерносушарок застосовуються в сільському господарстві?
15. Які основні витрати теплової енергії виникають під час сушіння?
16. Що таке питомі теплові витрати?
17. Чому небезпечне пересушування зерна?
18. Як температура сушильного агенту впливає на якість зерна?
19. Чим відрізняються режими сушіння продовольчого та насіннєвого зерна?
20. Що таке теплота відхідних газів?
21. Як можна використовувати теплоту відхідних газів?
22. Що таке рекуперація тепла?
23. Які переваги дає часткова рециркуляція повітря?
24. Для чого застосовується теплоізоляція сушарок?
25. Яке значення має швидкість руху зерна через сушарку?
26. Для чого потрібні датчики температури?
27. Для чого використовуються датчики вологості?
28. Як працює система автоматичного регулювання?
29. Що таке зворотний зв'язок у системі керування?
30. Як автоматизація запобігає пересушуванню?

31. Як автоматично регулюється подача тепла?
32. Як автоматично регулюється продуктивність вентилятора?
33. У чому полягає різниця між традиційним та енергоефективним режимами?
34. Як визначають питомі енерговитрати сушіння?
35. Які показники необхідно враховувати під час оцінювання енергоефективності?
36. Чому якість зерна повинна враховуватися разом із енергетичними показниками?
37. Які основні причини підвищених енерговитрат при сушінні?
38. Які основні причини підвищених енерговитрат при вентиляванні?
39. Які перспективи автоматизації сушіння та вентилявання?
40. У чому полягає комплексний підхід до енергозбереження під час післязбиральної обробки зерна?

Лекція 5. Ресурсоощадне транспортування зерна та продуктів його переробки

1. *Енергоефективні транспортні системи зернопереробних підприємств.*

Транспортування є невід'ємною частиною практично кожного технологічного процесу на зернопереробному підприємстві. Зерно після приймання необхідно перемістити до машин очищення, сушіння, сортування, зберігання або переробки. Після очищення зерно транспортується до наступних технологічних операцій, а продукти переробки – борошно, крупи, висівки, побічні продукти та відходи – також повинні переміщуватися між окремими ділянками підприємства.

Транспортні операції безпосередньо не змінюють основних властивостей зерна, але вони істотно впливають на:

- продуктивність підприємства;
- загальні енергетичні витрати;
- надійність технологічної лінії;
- тривалість технологічного процесу;
- втрати зерна;
- кількість утворених відходів;
- механічне пошкодження зернівок;
- якість кінцевого продукту;
- собівартість продукції.

Особливістю зернопереробних підприємств є значна кількість транспортних операцій. Одне й те саме зерно може багаторазово переміщуватися між різними технологічними машинами. Тому навіть відносно невеликі енергетичні витрати окремої транспортної машини при великій кількості таких машин формують значну частину загального енергоспоживання підприємства.

Ресурсоощадне транспортування – це організація переміщення зерна та продуктів його переробки з мінімальними витратами енергії, матеріалів, часу та праці при забезпеченні необхідної продуктивності, збереженні якості продукції та мінімізації втрат.

Головний принцип ресурсоощадного транспортування можна сформулювати так:

Потрібно переміщувати необхідну кількість продукції на необхідну відстань із мінімальними енергетичними витратами та мінімальною кількістю перевантажень.

Транспортне обладнання використовується для переміщення зерна, насіння, очищеного зерна, зернових сумішей, круп, борошна, висівків, лушпиння, відходів очищення та інших побічних продуктів переробки. Залежно від технологічної схеми та виробничих умов переміщення сировини й готової продукції може здійснюватися в горизонтальному, вертикальному або похилому напрямках, на значні відстані, між поверхами виробничих будівель, а також між окремими будівлями та технологічними дільницями. Для цього використовують різні типи транспортних машин.

Основними є:

1. норії;
2. стрічкові конвеєри;
3. скребкові конвеєри;
4. гвинтові конвеєри – шнеки;
5. пневматичні транспортні системи.

Кожен тип має власні переваги, недоліки та сферу раціонального застосування.

Транспортна система зернопереробного підприємства повинна забезпечувати:

- необхідну продуктивність;
- безперервність подачі;
- мінімальні втрати зерна;
- мінімальне травмування;
- низькі питомі енерговитрати;
- надійність;
- пожежо- та вибухобезпечність;
- простоту обслуговування;
- можливість автоматизації;
- санітарну відповідність;

- зручність очищення;
- довговічність.

Особливо важливо забезпечити відповідність продуктивності транспортного обладнання продуктивності технологічної лінії.

Якщо продуктивність транспортера недостатня, він стає **вузьким місцем** технологічної системи.

Якщо продуктивність транспортера надмірно велика, обладнання може працювати недовантаженим, а це часто призводить до збільшення питомих енерговитрат.

Норія – вертикальна транспортна машина, призначена переважно для переміщення зерна та інших сипких матеріалів у вертикальному напрямку.

Норії широко використовують на:

- елеваторах;
- зерноскладах;
- млинах;
- круп'яних підприємствах;
- комбикормових заводах;
- насінневих підприємствах;
- зерноочисних комплексах.

Головною перевагою норії є можливість піднімати значну кількість зерна на велику висоту при відносно компактній конструкції.

Основними елементами норії є:

- головка;
- башмак;
- вертикальний кожух;
- стрічка або ланцюг;
- ковші;
- привод;
- натяжний пристрій;
- завантажувальний пристрій;
- розвантажувальний пристрій.

Ковші закріплені на стрічці або ланцюзі.

При обертанні привода ковші захоплюють зерно в нижній частині норії, переміщують його вгору та вивантажують у верхній частині.

Енергія норії витрачається переважно на:

- піднімання зерна;
- подолання тертя;
- переміщення робочих органів;
- подолання опору при завантаженні та розвантаженні;
- подолання механічних втрат у приводі.

Теоретично мінімальна робота на вертикальне піднімання визначається:

$$A = m \cdot g \cdot H,$$

де:

A – робота, Дж;

m – маса зерна, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H – висота піднімання, м.

Реальні витрати енергії будуть більшими через механічні та аеродинамічні втрати.

Питомі електровитрати можуть визначатися:

$$e = W / M,$$

де:

e – питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

W – електроенергія, витрачена за певний час, кВт·год;

M – маса переміщеного зерна, т.

Для вертикального транспортування важливим фактором є висота підйому.

Чим більша висота, тим більша потенційна енергія, яку необхідно надати зерну.

До основних заходів належать:

- правильний вибір швидкості стрічки;
- оптимальне завантаження ковшів;
- недопущення просипання;
- правильне натягування стрічки;

- регулярне обслуговування підшипників;
- зменшення тертя;
- правильне регулювання розвантаження;
- використання енергоефективного двигуна;
- частотне регулювання;
- автоматичне вимкнення при відсутності продукту.

Особливо важливим є недопущення роботи норії без зерна.

Робота транспортера вхолосту призводить до споживання електроенергії без виконання корисної роботи.

Стрічковий конвеєр – транспортна машина, у якій вантаж переміщується стрічкою, що безперервно рухається.

Стрічкові конвеєри можуть використовуватися для:

- горизонтального транспортування;
- похилого транспортування;
- переміщення зерна;
- транспортування готової продукції;
- завантаження та розвантаження.

Основними елементами є:

- стрічка;
- приводний барабан;
- натяжний барабан;
- ролики;
- рама;
- привод;
- завантажувальний пристрій;
- розвантажувальний пристрій.

Зерно розміщується на стрічці та переміщується разом із нею.

До переваг належать:

- відносно низькі питомі енерговитрати;
- можливість транспортування на значні відстані;
- плавне переміщення;
- відносно низьке травмування зерна;
- можливість горизонтального і похилого транспортування;
- висока продуктивність;

- можливість автоматизації.

Стрічковий конвеєр є особливо ефективним при транспортуванні значних потоків зерна на горизонтальних або невеликих похилих ділянках.

До недоліків можна віднести:

- значні габарити;
- необхідність натягування стрічки;
- зношування стрічки;
- можливість просипання;
- обмеження при дуже крутих кутах нахилу;
- потребу в регулярному очищенні.

Енергоспоживання залежить від:

- довжини конвеєра;
- маси вантажу;
- швидкості стрічки;
- кута нахилу;
- стану роликів;
- коефіцієнта тертя;
- продуктивності;
- конструкції стрічки.

Важливим фактором є стан роликів.

Заклинений або пошкоджений ролик збільшує опір руху та може значно підвищувати навантаження на привод.

Скребковий конвеєр переміщує зерно або інший сипкий матеріал за допомогою тягового органа зі скребками.

Скребки переміщують матеріал уздовж жолоба.

Такі конвеєри можуть застосовуватися:

- горизонтально;
- похило;
- у складних трасах;
- для переміщення зерна;
- для переміщення відходів.

Основними частинами є:

- жолоб;

- тяговий ланцюг;
- скребки;
- привод;
- натяжний пристрій;
- завантажувальний пристрій;
- розвантажувальні пристрої.

Скребкові конвеєри характеризуються:

- компактністю;
- можливістю герметичного виконання;
- можливістю транспортування в складних умовах;
- можливістю декількох точок розвантаження;
- здатністю переміщувати різні сипкі матеріали.

Порівняно зі стрічковими транспортерами вони можуть мати:

- більший опір руху;
- більше механічних втрат;
- більший ризик травмування зерна;
- зношування ланцюга та скребків;
- підвищені вимоги до технічного обслуговування.

Тому їх необхідно використовувати там, де конструктивні переваги компенсують підвищені енерговитрати.

Шнек – це гвинтовий конвеєр, призначений для переміщення сипких матеріалів за допомогою обертального руху гвинтового робочого органа.

Основними частинами є:

- корпус;
- гвинтовий вал;
- витки;
- привод;
- підшипники;
- завантажувальний отвір;
- розвантажувальний отвір.

При обертанні гвинта зерно захоплюється витками та переміщується вздовж корпусу.

Шнеки можуть використовуватися для:

- горизонтального транспортування;
- похилого транспортування;
- дозування;
- переміщення відходів;
- подачі зерна до технологічних машин.
- компактність;
- простота конструкції;
- герметичність;
- можливість дозування;
- можливість встановлення під кутом;
- можливість використання для різних матеріалів.
- відносно високі механічні втрати;
- інтенсивніше тертя;
- можливе пошкодження зерна;
- зношування витків;
- підвищене споживання електроенергії при перевантаженні;
- обмеження щодо довжини.

Шнек доцільно використовувати на коротких ділянках, для дозування або там, де потрібна герметична конструкція.

Пневматичний транспорт передбачає переміщення зерна потоком повітря.

Для цього створюється необхідний перепад тиску або швидкість повітря.

Система складається з:

- вентилятора;
- повітропроводів;
- завантажувального пристрою;
- транспортного трубопроводу;
- циклонів або фільтрів;
- сепаратора;
- шлюзового затвора;
- системи очищення повітря.
- можливість складних трас;

- компактність;
- герметичність;
- можливість вертикального і горизонтального переміщення;
- можливість одночасного переміщення та аспірації;
- зменшення кількості механічних транспортних машин.

Основний недолік – значні витрати електроенергії на переміщення повітря.

Енергія витрачається на:

- роботу вентилятора;
- подолання опору повітропроводів;
- прискорення зерна;
- подолання опору циклонів;
- подолання опору фільтрів;
- подолання місцевих опорів.

Тому пневмотранспорт доцільно використовувати там, де його конструктивні переваги є важливішими за підвищене енергоспоживання.

Для зменшення енергоспоживання необхідно:

- оптимізувати діаметр трубопроводу;
- зменшити довжину траси;
- зменшити кількість поворотів;
- зменшити місцеві опори;
- підтримувати чистоту фільтрів;
- правильно вибирати вентилятор;
- використовувати частотне регулювання;
- автоматично регулювати подачу зерна;
- не допускати надлишкової швидкості повітря.

Надмірна швидкість повітря призводить до збільшення енерговитрат і може спричиняти додаткове травмування зерна. В таблиці 1 вказані порівняльні характеристики обладнання для транспортування.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики обладнання для транспортування

Вид транспортера	Основне застосування	Переваги	Основні недоліки
Норія	Вертикальне переміщення	Велика висота підйому, компактність	Необхідність вертикальної траси
Стрічковий конвеєр	Горизонтальне та похиле переміщення	Низькі втрати, висока продуктивність	Великі габарити
Скребковий конвеєр	Горизонтальне/похиле переміщення	Компактність, герметичність	Більше тертя
Шнек	Короткі ділянки, дозування	Простота, герметичність	Тертя, травмування
Пневмотранспорт	Складні траси	Гнучкість, герметичність	Високі енерговитрати

2. Оптимізація матеріальних потоків і зменшення втрат

Матеріальний потік – це безперервне або періодичне переміщення зерна та продуктів його переробки між технологічними операціями.

Раціональна організація матеріального потоку передбачає:

мінімальну довжину → мінімальну кількість перевантажень → мінімальну кількість поворотів → оптимальну продуктивність → мінімальні втрати.

При проектуванні зернопереробного підприємства необхідно розміщувати технологічне обладнання таким чином, щоб матеріал переміщувався найкоротшим можливим шляхом.

Наприклад:

приймання → очищення → сушіння → зберігання
має бути організовано так, щоб уникати непотрібного повернення зерна назад по технологічній лінії.

Невдале компонування призводить до:

- збільшення довжини конвеєрів;
- збільшення кількості приводів;
- збільшення кількості перевантажень;
- зростання енерговитрат;

- збільшення кількості точок можливого просипання.

Чим довша транспортна траса, тим більше:

- тертя;
- механічних втрат;
- енергоспоживання;
- кількість опор;
- кількість приводних елементів;
- потреба в технічному обслуговуванні.

Для пневматичних систем збільшення довжини трубопроводу особливо суттєво впливає на енергоспоживання через збільшення аеродинамічного опору.

Тому під час проектування необхідно прагнути до максимально компактного компонування.

Перевантаження – це передача матеріалу з однієї транспортної машини або технологічного обладнання до іншої.

Кожне перевантаження може спричиняти:

- втрати зерна;
- утворення пилу;
- механічне пошкодження;
- додаткове споживання електроенергії;
- збільшення кількості обладнання;
- додаткові точки обслуговування.

Тому бажано використовувати прямі транспортні зв'язки.

При транспортуванні зерно може пошкоджуватися через:

- удари;
- падіння з великої висоти;
- тертя;
- защемлення;
- неправильну швидкість транспортера;
- перевантаження;
- несправність обладнання.

Механічні пошкодження особливо небажані для:

- насіннєвого матеріалу;
- продовольчого зерна;

- зерна, призначеного для тривалого зберігання.

Пошкоджене зерно може мати:

- тріщини;
- подряпини;
- пошкоджений зародок;
- підвищену схильність до мікробіологічного псування.

Під час переходу з одного транспортера на інший зерно може падати з певної висоти.

Чим більша висота падіння, тим більша швидкість зерна перед контактом із поверхнею.

Для зменшення травмування необхідно:

- скорочувати висоту падіння;
- використовувати напрямні;
- застосовувати спеціальні пересипні пристрої;
- використовувати гнучкі елементи;
- зменшувати швидкість руху;
- уникати різких змін напрямку.

Пересипні пристрої повинні забезпечувати плавне переміщення зерна.

Неправильна конструкція може призводити до:

- ударів;
- завихрення;
- утворення пилу;
- зависання зерна;
- забивання;
- нерівномірної подачі.

Правильно спроектований пересипний пристрій забезпечує плавний рух матеріалу.

Втрати можуть бути:

- механічними;
- технологічними;
- аварійними;
- через просипання;
- через витікання;

- через пиловидалення;
- через неправильне налаштування.

Загальні втрати можна оцінити:

$$\Delta M = M_{вх} - M_{вих},$$

де:

$M_{вх}$ – маса матеріалу на вході;

$M_{вих}$ – маса матеріалу на виході.

Відносні втрати:

$$L = (\Delta M / M_{вх}) \cdot 100 \, \%.$$

Зниження навіть невеликих відсотків втрат при великих обсягах переробки може мати значний економічний ефект.

Продуктивність транспортера повинна відповідати продуктивності технологічної машини.

Нехай технологічна машина має продуктивність:

$$Q_T = 20 \text{ т/год.}$$

Транспортна машина повинна мати продуктивність із певним технологічним запасом:

$$Q_{тр} > Q_T.$$

Але надмірно великий запас також небажаний.

Наприклад, встановлення транспортера на 50 т/год для лінії продуктивністю 10 т/год може призвести до:

- недовантаження;
- збільшення питомих енерговитрат;
- збільшення вартості обладнання;
- зайвих габаритів.

Тому обладнання необхідно вибирати не за принципом «чим більша продуктивність, тим краще», а за принципом оптимальної відповідності технологічній лінії.

У технологічній лінії всі машини повинні бути узгоджені.

Наприклад:

очищення → транспортування → сушіння → транспортування → зберігання.

Якщо:

- очищувач – 20 т/год;

- сушарка – 20 т/год;
- транспортер – 10 т/год,

то транспортер обмежує продуктивність усієї системи. Він стає вузьким місцем.

Якщо ж транспортер має надмірну продуктивність, наприклад 50 т/год, він може бути економічно невиправданим.

Буферні бункери дозволяють узгоджувати роботу машин із різною продуктивністю.

Наприклад, якщо очищувач короткочасно працює швидше, надлишок зерна накопичується в бункері.

Буферні ємності забезпечують:

- стабільність потоку;
- зменшення кількості аварійних зупинок;
- можливість оптимального завантаження обладнання;
- синхронізацію різних технологічних операцій.

Холостий хід транспортера – це робота транспортного обладнання без корисного переміщення продукції.

Наприклад, якщо норія або конвеєр працює протягом години без зерна, електроенергія витрачається, але корисної транспортної роботи не виконується.

Тому автоматичне керування повинно:

- запускати обладнання при надходженні зерна;
- вимикати його після спорожнення;
- запобігати роботі порожніх транспортерів;
- забезпечувати задану послідовність запуску.

Важливою умовою надійної роботи є правильна послідовність запуску.

Приклад: кінцевий транспортер → попередній транспортер → технологічна машина → подача зерна.

Спочатку запускається обладнання, яке приймає матеріал, потім попереднє обладнання.

Це дозволяє уникнути:

- переповнення;
- забивання;

- перевантаження;
- аварійної зупинки.

Зупинка здійснюється у зворотній логіці:

подача зерна → технологічна машина → попередній транспортер → кінцевий транспортер.

При цьому необхідно передбачати час для спорожнення транспортних машин.

3. Сучасні ресурсощадні приводи та системи керування

Привод забезпечує передачу механічної енергії до робочого органа.

Основними елементами можуть бути:

- електродвигун;
- редуктор;
- муфта;
- приводний барабан;
- ланцюгова передача;
- ремінна передача;
- інші механічні передачі.

Ефективність привода безпосередньо впливає на загальні енерговитрати.

Електродвигун перетворює електричну енергію на механічну.

Втрати в двигуні виникають через:

- нагрівання обмоток;
- магнітні втрати;
- механічне тертя;
- вентиляційні втрати.

Енергоефективні двигуни мають менші втрати та вищий ККД.
ККД двигуна:

$$\eta = P_{\text{кор}} / P_{\text{спож}},$$

де:

$P_{\text{кор}}$ – корисна механічна потужність;

$P_{\text{спож}}$ – споживана електрична потужність.

Чим вищий ККД, тим менше електроенергії необхідно для виконання однакової механічної роботи.

Двигун повинен відповідати реальному навантаженню.

Якщо двигун значно перевищує необхідну потужність:

- він може працювати з низьким завантаженням;
- знижується ефективність системи;
- збільшується вартість;
- можуть зростати втрати.

Якщо двигун недостатньої потужності:

- виникає перевантаження;
- підвищується температура;
- спрацьовує захист;
- зменшується ресурс;
- можливі аварійні зупинки.

Отже, необхідно вибирати двигун із оптимальним запасом потужності.

Частотне регулювання дозволяє змінювати швидкість обертання електродвигуна.

Це особливо важливо для:

- стрічкових конвеєрів;
- норій;
- шнеків;
- скребкових конвеєрів;
- вентиляторів пневмотранспортних систем.

Якщо потреба в продуктивності зменшилася, швидкість привода можна знизити.

- зниження споживання електроенергії;
- плавний пуск;
- зменшення пускових струмів;
- регулювання продуктивності;
- зниження механічних ударів;
- зменшення зношування;
- автоматичне підтримання необхідної продуктивності.

Особливо ефективним частотне регулювання є для систем зі змінним навантаженням.

Автоматична система може змінювати швидкість транспортера залежно від фактичного потоку зерна.

Наприклад:

потік зерна збільшився → швидкість транспортера збільшується.

потік зерна зменшився → швидкість транспортера зменшується.

Якщо подача зерна припинилася:

подача = 0 → транспортер після спорожнення зупиняється.

Це дозволяє уникнути холостого ходу.

Для автоматизації можуть використовуватися:

- датчики рівня;
- датчики потоку;
- датчики швидкості;
- датчики температури;
- датчики струму;
- датчики потужності;
- датчики натягу;
- датчики сходження стрічки;
- датчики забивання.

Вони забезпечують контроль стану обладнання.

Струм електродвигуна можна використовувати як непрямий показник навантаження.

Якщо навантаження збільшується:

- зростає струм;
- збільшується споживана потужність.

При перевищенні встановленого значення система може:

- зменшити подачу зерна;
- зменшити швидкість;
- подати сигнал оператору;
- зупинити обладнання.

Транспортні машини повинні працювати узгоджено з технологічним обладнанням.

Наприклад:

очисна машина → транспортер → норія → бункер.

Якщо очисна машина працює, а транспортер зупинився, матеріал накопичуватиметься та може виникнути переповнення. Тому система керування повинна забезпечувати взаємне блокування обладнання. Під час очищення зерна матеріал постійно надходить до очисної машини.

Транспортна система повинна забезпечувати:

- рівномірну подачу;
- необхідну продуктивність;
- відсутність переповнення;
- автоматичне регулювання.

Якщо очищувач зменшив продуктивність, транспортна система також повинна адаптуватися.

Сушарка потребує стабільного потоку зерна.

Надмірна подача може призвести до:

- недостатнього сушіння;
- перевантаження;
- нестабільної якості.

Недостатня подача:

- знижує продуктивність;
- збільшує питомі енерговитрати;
- може призвести до нестабільного температурного режиму.

Тому транспортні машини повинні синхронізуватися із сушаркою.

Загальна схема може мати вигляд:

датчики → контролер → частотний перетворювач → електродвигун → транспортна машина.

Контролер отримує інформацію:

- про рівень зерна;
- продуктивність;
- навантаження;
- стан обладнання.

Після цього він змінює:

- швидкість конвеєра;

- швидкість норії;
- продуктивність шнека;
- режим пневмотранспорту.

На сучасному підприємстві транспортне обладнання може бути об'єднане в єдину систему автоматичного керування.

Оператор отримує інформацію про:

- стан кожної машини;
- продуктивність;
- споживану потужність;
- аварійні сигнали;
- рівень зерна;
- температуру підшипників;
- стан приводів.

Це дозволяє швидко виявляти несправності.

Для оцінювання ефективності доцільно встановлювати лічильники електроенергії.

Можна контролювати:

- споживання окремого двигуна;
- споживання транспортної лінії;
- загальне споживання підприємства.

Після цього визначають: кВт·год/т.

Цей показник дозволяє порівнювати режими роботи.

Основна формула:

$$e = W / M.$$

Якщо:

- двигун спожив 50 кВт·год;
- переміщено 25 т зерна,

то:

$$e = 50 / 25 = 2 \text{ кВт·год/т.}$$

Для порівняння двох режимів:

$$\eta_{ек} = (e_1 - e_2) / e_1 \cdot 100 \text{ \%}.$$

Якщо після модернізації питомі витрати зменшилися з 2 до 1,5 кВт·год/т:

$$\eta_{ек} = (2 - 1,5) / 2 \cdot 100 = 25 \text{ \%}.$$

Отже, питомі енерговитрати зменшилися на 25 %.

Річна економія:

$$\Delta W = (e_1 - e_2) \cdot M_{\text{річ}},$$

де:

e_1 – питомі витрати до модернізації;

e_2 – питомі витрати після модернізації;

$M_{\text{річ}}$ – річний обсяг транспортованого зерна.

Наприклад, якщо:

$$e_1 = 2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т};$$

$$e_2 = 1,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т};$$

$$M_{\text{річ}} = 20\,000 \text{ т},$$

то:

$$\Delta W = (2 - 1,5) \cdot 20\,000 = 10\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Отже, за рік можна заощадити 10 000 кВт·год електроенергії.

Грошова економія визначається:

$$E = \Delta W \cdot C_e,$$

де:

C_e – тариф на електроенергію.

Якщо економія становить 10 000 кВт·год, а вартість 1 кВт·год – умовно 6 грн:

$$E = 10\,000 \cdot 6 = 60\,000 \text{ грн}.$$

Фактичний економічний результат залежить від реального тарифу, режиму роботи та річного обсягу продукції.

Для оцінювання доцільності модернізації визначають строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = K / E,$$

де:

K – капітальні інвестиції;

E – річний економічний ефект.

Наприклад, якщо модернізація коштує 300 000 грн, а річна економія становить 100 000 грн:

$$T_{\text{ок}} = 300\,000 / 100\,000 = 3 \text{ роки}.$$

Це є спрощеним розрахунком. У реальному економічному аналізі додатково враховують витрати на технічне обслуговування

обладнання, зміну вартості енергоресурсів, амортизаційні відрахування, витрати на ремонт, підвищення продуктивності обладнання, зменшення втрат зерна під час технологічного процесу, а також зміну строку служби обладнання. Модернізація транспортної системи може забезпечити економію не лише електроенергії. Зменшення втрат зерна означає збільшення кількості продукції, яка потрапляє до кінцевого споживача.

Якщо втрати зменшилися на:

$$\Delta L = 0,2 \%,$$

а підприємство транспортує:

$$50\,000 \text{ т/рік},$$

то маса збереженого зерна:

$$M_{\text{ек}} = 50\,000 \cdot 0,002 = 100 \text{ т}.$$

Таким чином, навіть дуже невелике відносне зменшення втрат може мати значний економічний ефект.

Загальний економічний ефект модернізації може включати:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{ел}} + E_{\text{пал}} + E_{\text{зер}} + E_{\text{рем}} + E_{\text{прод}} - В_{\text{дод}},$$

де:

$E_{\text{ел}}$ – економія електроенергії;

$E_{\text{пал}}$ – економія палива;

$E_{\text{зер}}$ – економія від зменшення втрат зерна;

$E_{\text{рем}}$ – економія на ремонтах;

$E_{\text{прод}}$ – додатковий ефект від підвищення продуктивності;

$В_{\text{дод}}$ – додаткові експлуатаційні витрати.

Ресурсоощадна система повинна відповідати декільком принципам.

Принцип 1. Мінімальна довжина транспортування. Матеріал повинен переміщуватися найкоротшим технологічно доцільним маршрутом.

Принцип 2. Мінімальна кількість перевантажень. Кожне додаткове перевантаження збільшує ризик втрат і пошкоджень.

Принцип 3. Відповідність продуктивності. Продуктивність транспортера повинна відповідати продуктивності технологічної машини.

Принцип 4. Мінімальний холостий хід. Транспортери повинні працювати лише тоді, коли це необхідно.

Принцип 5. Оптимальна швидкість. Швидкість транспортера повинна бути достатньою для необхідної продуктивності, але не надмірною.

Принцип 6. Автоматичне керування. Режим роботи повинен адаптуватися до фактичного потоку зерна.

Принцип 7. Мінімальне травмування. Необхідно зменшувати висоту падіння, удари та надмірне тертя.

Принцип 8. Контроль енергії. Потрібно постійно контролювати питомі енерговитрати.

Розглянемо умовну лінію: приймальний бункер → норія → очищувач → шнек → сушарка → норія → силос.

Проблеми традиційної системи:

- норія працює на постійній швидкості;
- шнек працює незалежно від продуктивності сушарки;
- транспортери продовжують працювати після припинення подачі;
- відсутній контроль навантаження;
- є зайві пересипання;
- частина зерна пошкоджується при падінні.

Після модернізації:

- встановлюються частотні перетворювачі;
- продуктивність транспортерів автоматично регулюється;
- встановлюються датчики рівня;
- реалізується автоматичне блокування;
- скорочується кількість пересипань;
- оптимізується траса;
- встановлюються енергоефективні двигуни;
- запроваджується моніторинг електроенергії.

Результатом може бути:

- зменшення холостого ходу;
- зниження питомих електровитрат;
- зменшення механічних втрат;

- зменшення кількості аварій;
- підвищення надійності;
- покращення якості продукції.

У загальному випадку механічні транспортні системи часто мають перевагу за питомими електровитратами при великих потоках зерна на коротких або середніх відстанях.

Стрічкові конвеєри є особливо ефективними для горизонтального транспортування. Норії є ефективним рішенням для вертикального транспортування. Шнеки доцільні для коротких ділянок і дозування. Скребкові конвеєри застосовують там, де важливі компактність і герметичність. Пневмотранспорт використовується там, де необхідна гнучкість траси, герметичність або одночасне транспортування та аспірація, але його застосування потребує особливої уваги до енерговитрат. Отже, не існує одного універсального транспортера для всіх умов. Найбільш енергоефективним є той транспортер, який правильно відповідає конкретній технологічній задачі.

Навіть сучасне обладнання може працювати неефективно при неправильній експлуатації. Основні заходи:

Регулярне очищення. Накопичення зерна та пилу може збільшувати опір.

Контроль підшипників. Підвищене тертя збільшує навантаження.

Контроль натягу. Неправильний натяг стрічки може збільшувати втрати.

Контроль ланцюгів. Ослаблений або надмірно натягнутий ланцюг працює неефективно.

Контроль приводів. Необхідно контролювати температуру, шум і вібрацію.

Контроль електродвигунів. Підвищений струм може свідчити про перевантаження.

Сучасна система може використовувати технології прогнозного обслуговування.

Під час експлуатації транспортного обладнання контролюються основні параметри його технічного стану та безпечної роботи, зокрема температура підшипників, рівень вібрації, споживаний електричний струм, швидкість обертання робочих органів, натяг і положення стрічки. Зміна цих параметрів може свідчити про несправність.

Наприклад: збільшення струму → збільшення опору → можливе заклинювання ролика або перевантаження.

Своєчасне виявлення несправності дозволяє:

- уникнути аварії;
- зменшити час простою;
- знизити витрати на ремонт;
- запобігти додатковому споживанню електроенергії.

Сучасна автоматизована система може працювати за таким алгоритмом:

1. Визначення наявності зерна.
↓
2. Запуск кінцевого транспортера.
↓
3. Запуск попереднього транспортера.
↓
4. Запуск технологічної машини.
↓
5. Подача зерна.
↓
6. Контроль потоку.
↓
7. Автоматичне регулювання швидкості.
↓
8. Контроль навантаження.
↓
9. Контроль рівня бункерів.
↓
10. Автоматичне коригування продуктивності.

↓

11. Припинення подачі зерна.

↓

12. Спорожнення транспортерів.

↓

13. Послідовна зупинка обладнання.

Цей алгоритм дозволяє мінімізувати холостий хід та запобігти перевантаженням.

Сучасні зернопереробні підприємства широко застосовують автоматизовані системи керування та контролю технологічних процесів. До основних засобів автоматизації належать PLC-контролери, SCADA-системи, частотні перетворювачі, датчики потоку та рівня, системи енергомоніторингу, засоби дистанційного контролю й автоматизованої діагностики обладнання. Використання таких технологій забезпечує оперативний контроль параметрів технологічного процесу, підвищує надійність і безпеку роботи обладнання, сприяє оптимізації енергоспоживання та зменшенню експлуатаційних витрат.

SCADA-система дозволяє оператору бачити технологічну лінію на екрані та контролювати стан обладнання.

На екрані системи керування можуть відображатися основні параметри роботи обладнання, зокрема його поточний стан (увімкнено/вимкнено), швидкість обертання двигуна, рівень навантаження, продуктивність, наявність аварійних ситуацій, температура робочих вузлів та поточне споживання електроенергії. Це дає змогу оператору оперативно контролювати технологічний процес, своєчасно виявляти відхилення та реагувати на несправності обладнання. Неможливо ефективно управляти енергоспоживанням без його вимірювання.

Для кожної транспортної машини бажано знати:

- встановлену потужність;
- фактичну потужність;
- час роботи;
- час холостого ходу;

- кількість переміщеного зерна;
- питомі витрати.

Наприклад (таблиця 2):

Таблиця 2. Приклад вихідних даних

Показник	Значення
Потужність двигуна	15 кВт
Час роботи	8 год
Енергія	120 кВт·год
Переміщено зерна	100 т
Питомі витрати	1,2 кВт·год/т

Якщо після оптимізації:

- енергія – 90 кВт·год;
- зерно – 100 т,

то:

$$e_2 = 0,9 \text{ кВт·год/т.}$$

Економія питомих витрат:

$$(1,2 - 0,9) / 1,2 \cdot 100 = 25 \text{ \%}.$$

При оцінюванні транспортної системи не можна враховувати лише електроенергію.

Необхідно враховувати:

Енергетичні показники

- кВт·год/т;
- кВт;
- тривалість роботи;
- час холостого ходу.

Технологічні показники

- т/год;
- рівномірність подачі;
- стабільність потоку;
- кількість зупинок.

Якісні показники

- пошкодження зерна;
- втрати;
- утворення пилу;

- якість готового продукту.

Економічні показники

- вартість електроенергії;
- витрати на ремонт;
- вартість модернізації;
- строк окупності;
- додатковий прибуток.

Для підвищення ресурсоощадності транспортних систем доцільно застосовувати:

1. заміну старих електродвигунів;
2. встановлення частотних перетворювачів;
3. автоматизацію запуску та зупинки;
4. встановлення датчиків рівня;
5. встановлення датчиків потоку;
6. автоматичний контроль навантаження;
7. оптимізацію транспортних трас;
8. скорочення кількості перевантажень;
9. герметизацію пересипних вузлів;
10. модернізацію приводів;
11. використання систем енергомоніторингу;
12. синхронізацію транспортних машин;
13. прогнозне технічне обслуговування;
14. автоматичне регулювання продуктивності.

Зменшення енергоспоживання означає зменшення потреби в енергетичних ресурсах.

Крім того, правильна організація транспортування дозволяє зменшити:

- пиловиділення;
- втрати зерна;
- шум;
- кількість аварійних викидів;
- відходи;
- непродуктивне використання матеріалів.

Герметичні транспортери та пересипні вузли особливо важливі для зменшення запиленості виробничих приміщень.

Зернопереробні підприємства мають підвищені вимоги до безпеки через наявність горючого пилу.

Тому транспортне обладнання повинно:

- мати справні електродвигуни;
- бути правильно заземленим;
- регулярно очищуватися;
- не допускати перегрівання;
- мати захисні кожухи;
- бути обладнаним аварійною зупинкою;
- проходити технічне обслуговування.

Перегрівання підшипників або електродвигунів може становити серйозну небезпеку.

Тому автоматичний контроль температури та навантаження має не лише економічне, а й безпекове значення.

До поширених помилок належать:

- надмірна довжина трас;
- зайві повороти;
- надмірна кількість транспортерів;
- велика кількість пересипань;
- неправильний вибір продуктивності;
- надмірна потужність двигунів;
- відсутність автоматизації;
- відсутність контролю навантаження;
- робота обладнання вхолосту;
- відсутність енергомоніторингу;
- неправильне технічне обслуговування.

Такі недоліки призводять до збільшення собівартості продукції. Для підвищення енергоефективності транспортної системи необхідно:

По-перше, мінімізувати довжину транспортних трас.

По-друге, максимально використовувати гравітаційне переміщення там, де це технологічно можливо.

По-третє, правильно вибирати тип транспортера для кожної ділянки.

По-четверте, не встановлювати обладнання із надмірною продуктивністю без технологічної необхідності.

По-п'яте, використовувати енергоефективні двигуни.

По-шосте, застосовувати частотне регулювання.

По-сьоме, автоматично вимикати транспортне обладнання при відсутності продукту.

По-восьме, контролювати навантаження.

По-дев'яте, мінімізувати висоту падіння зерна.

По-десяте, регулярно контролювати технічний стан обладнання.

По-одинадцять, проводити енергетичний моніторинг.

По-дванадцять, синхронізувати транспортери з очисними та сушильними машинами.

Енергетичну оптимізацію можна проводити в такій послідовності:

Етап 1. Аналіз технологічної схеми. Визначають усі точки переміщення зерна.

Етап 2. Визначення матеріальних потоків. Встановлюють кількість зерна, яка переміщується кожною ділянкою.

Етап 3. Аналіз транспортних трас. Визначають довжину, кількість поворотів і перевантажень.

Етап 4. Аналіз обладнання. Визначають тип, продуктивність та потужність кожної машини.

Етап 5. Вимірювання енергоспоживання. Визначають фактичні кВт·год.

Етап 6. Розрахунок питомих витрат. Визначають кВт·год/т.

Етап 7. Визначення проблемних ділянок. Виявляють обладнання з надмірними енерговитратами.

Етап 8. Вибір способу модернізації

Наприклад:

- частотне регулювання;
- заміна двигуна;

- зміна траси;
- автоматизація.

Етап 9. Розрахунок економії. Визначають річну економію.

Етап 10. Визначення окупності. Розраховують строк повернення інвестицій.

У майбутньому транспортні системи зернопереробних підприємств розвиватимуться у напрямі:

- повної автоматизації;
- цифрового контролю;
- адаптивного регулювання;
- прогнозного обслуговування;
- енергетичної оптимізації;
- роботизації окремих операцій;
- інтеграції транспортних систем із системами управління підприємством.

Перспективним напрямом є створення цифрової моделі підприємства, яка дозволяє аналізувати матеріальні та енергетичні потоки. Наприклад, система може визначати:

скільки зерна → куди переміщується → яким транспортером → скільки часу → скільки електроенергії → які втрати.

На основі цих даних можна автоматично вибирати найбільш ефективний режим. Транспортування зерна та продуктів його переробки є одним із ключових процесів зернопереробного підприємства. Хоча транспортні машини безпосередньо не виконують основної технологічної операції, їхня робота істотно впливає на загальну продуктивність, енергоспоживання, втрати та якість продукції.

Основними транспортними машинами є норії, стрічкові та скребкові конвеєри, шнеки та пневматичні транспортні системи.

Норії доцільно використовувати для вертикального транспортування. Стрічкові конвеєри є ефективними для горизонтального та похилого переміщення значних потоків зерна. Скребкові конвеєри характеризуються компактністю та можливістю герметичного виконання. Шнеки доцільні на коротких ділянках і для

дозування. Пневмотранспорт забезпечує гнучкість і герметичність, але потребує значної кількості електроенергії для створення повітряного потоку.

Енергоефективність транспортної системи значною мірою залежить не тільки від конструкції окремої машини, а й від правильного komponування всього підприємства.

Скорочення довжини транспортних трас, зменшення кількості перевантажень, оптимізація пересипних пристроїв та використання гравітаційного переміщення там, де це можливо, дозволяють зменшити енерговитрати та втрати зерна.

Важливе значення має правильний вибір продуктивності транспортного обладнання. Надто низька продуктивність створює вузьке місце, а надто висока може спричиняти недовантаження і підвищення питомих енерговитрат.

Сучасні транспортні системи повинні обладнуватися енергоефективними електродвигунами, частотними перетворювачами, датчиками потоку, рівня, навантаження та температури.

Частотне регулювання дозволяє адаптувати швидкість транспортера до фактичної продуктивності технологічної лінії. Це особливо важливо при змінному навантаженні.

Автоматизація забезпечує синхронізацію транспортування з роботою очисного, сушильного та іншого обладнання. При припиненні подачі зерна транспортери можуть автоматично зупинятися після спорожнення. Це дозволяє суттєво скоротити холостий хід.

Ефективність модернізації необхідно оцінювати за питомими енерговитратами, кВт·год/т, а також за зменшенням втрат, підвищенням продуктивності та зниженням експлуатаційних витрат.

Основним критерієм ресурсоощадності є не просто зменшення потужності електродвигуна, а зменшення кількості енергії, яка витрачається на переміщення одиниці продукції при збереженні необхідної продуктивності та якості.

Отже, ресурсоощадне транспортування базується на комплексному поєднанні: раціонального компонування + правильного вибору транспортера + оптимальної продуктивності + енергоефективного привода + частотного регулювання + автоматичного керування + мінімізації втрат + технічного моніторингу.

Контрольні питання

1. Що таке ресурсоощадне транспортування зерна?
2. Які основні транспортні машини використовуються на зернопереробних підприємствах?
3. Яке призначення норій?
4. Які основні конструктивні елементи норії?
5. Від чого залежать енерговитрати норії?
6. Які переваги стрічкових конвеєрів?
7. Які недоліки стрічкових конвеєрів?
8. Для чого використовують скребкові конвеєри?
9. Як працює шнек?
10. Які переваги та недоліки шнекових конвеєрів?
11. Що таке пневматичне транспортування?
12. Які основні елементи пневматичної транспортної системи?
13. Чому пневмотранспорт може мати підвищені енерговитрати?
14. Як можна зменшити енергоспоживання пневмотранспортної системи?
15. Що таке матеріальний потік?
16. Чому необхідно скорочувати довжину транспортних трас?
17. Як кількість перевантажень впливає на енергоспоживання?
18. Як транспортування може спричиняти механічне пошкодження зерна?
19. Як зменшити висоту падіння зерна?
20. Що таке втрати зерна при транспортуванні?
21. Як визначають відносні втрати?
22. Що таке вузьке місце технологічної лінії?

23. Чому надмірна продуктивність транспортера може бути недоцільною?
24. Для чого використовуються буферні бункери?
25. Що таке холостий хід транспортера?
26. Чому необхідно мінімізувати холостий хід?
27. Яка правильна послідовність запуску транспортного обладнання?
28. Яка послідовність зупинки транспортної лінії?
29. Що таке енергоефективний електродвигун?
30. Що таке ККД електродвигуна?
31. Як вибирається потужність електродвигуна?
32. Що таке частотне регулювання?
33. Які переваги частотного регулювання?
34. Як автоматично регулюється продуктивність транспортера?
35. Які датчики використовуються у транспортних системах?
36. Як контролюється навантаження електродвигуна?
37. Чому необхідна синхронізація транспортного обладнання з очисними машинами?
38. Чому необхідна синхронізація з сушарками?
39. Як визначають питомі електровитрати?
40. Як розрахувати економію електроенергії після модернізації?
41. Як оцінити строк окупності модернізації?
42. Як зменшення втрат зерна впливає на економічну ефективність?
43. Що таке прогнозне технічне обслуговування?
44. Які параметри можна контролювати для діагностики транспортера?
45. Які переваги SCADA-систем?
46. Що таке енергетичний моніторинг?
47. Які основні напрями модернізації транспортних систем?
48. Як транспортні системи впливають на екологічні показники підприємства?
49. Які основні помилки допускаються при проектуванні транспортних систем?
50. У чому полягає комплексний підхід до ресурсоощадного транспортування?

Лекція 6. Енергоефективні та ресурсощадні технології олійних виробництв

1. Загальна характеристика та технологічна схема олійних виробництв

Олійні виробництва є важливою складовою переробної галузі агропромислового комплексу. Їх основним завданням є вилучення рослинної олії з насіння олійних культур із максимальним використанням усіх компонентів сировини. Рослинні олії використовують у харчовій, кормовій, косметичній, фармацевтичній та хімічній промисловості, а також для виробництва біопалива.

Основною сировиною є насіння соняшнику, ріпаку, сої, льону, гірчиці, кукурудзи, сафлору та інших культур. Вибір технології переробки залежить від олійності, вологості, фізико-механічних властивостей сировини, необхідної якості готової продукції та продуктивності підприємства.

Типова технологічна схема включає такі операції: приймання та зберігання сировини, очищення, сушіння, обрушування, подрібнення, плющення, теплова обробка, вилучення олії пресуванням або екстракцією, очищення та за необхідності рафінація олії, її зберігання і фасування. Побічними продуктами є макуха, шрот, оболонка насіння та інші матеріали, які можуть використовуватися як кормова або енергетична сировина.

Енергетичні ресурси витрачаються практично на всіх етапах виробництва. Основними споживачами електроенергії є дробарки, плющилки, шнекові преси, насоси, вентилятори, транспортери, центрифуги та фільтрувальні установки. Теплова енергія переважно використовується для сушіння, кондиціонування та теплової підготовки насіння, а також під час окремих операцій рафінації.

Ефективність виробництва характеризується питомими енерговитратами, продуктивністю обладнання, виходом олії, залишковою олійністю макухи або шроту та якістю готової продукції. Питомі витрати електроенергії визначають за формулою:

$$q_e = W/M,$$

де q_e – питома витрата електроенергії, кВт·год/т; W – спожита електроенергія, кВт·год; M – маса переробленої сировини, т.

Важливо оцінювати не окремий показник, а весь технологічний процес. Зменшення енергоспоживання не є ефективним заходом,

якщо воно супроводжується зниженням виходу олії або погіршенням її якості.

Олійні виробництва є важливою складовою агропромислового комплексу, оскільки забезпечують переробку насіння олійних культур на рослинну олію, білкові кормові продукти та інші види цінної продукції. Основною сировиною є насіння соняшнику, ріпаку, сої, льону, гірчиці, сафлору, кукурудзи та інших культур. Найбільше промислове значення мають соняшник, ріпак і соя, оскільки вони характеризуються високим вмістом олії або цінного білка.

Основним завданням олійного виробництва є максимально повне вилучення олії із сировини за мінімальних витрат енергії, води, тепла та інших ресурсів. При цьому необхідно забезпечити високу якість готової продукції, зменшити втрати олії з побічними продуктами та не допустити погіршення властивостей сировини під час її підготовки і переробки.

Технологічний процес переробки насіння складається з послідовних операцій, кожна з яких має певне технологічне та енергетичне значення. Узагальнена технологічна схема може бути представлена у такій послідовності:

приймання та зберігання сировини → очищення → сушіння та кондиціонування → обрешування або лущення → подрібнення → плющення → теплова обробка → вилучення олії → очищення олії → рафінація → зберігання та фасування.

На етапі приймання та зберігання здійснюють контроль вологості, засміченості, температури, олійності та інших показників якості насіння. Правильна організація зберігання має важливе значення для запобігання самозігріванню, розвитку мікроорганізмів і втраті якості олії. Для переміщення сировини застосовують норії, стрічкові та скребкові конвеєри, шнеки та інше транспортне обладнання.

Очищення насіння передбачає видалення мінеральних і органічних домішок, металевих частинок, пошкодженого насіння та інших сторонніх компонентів. Для цього використовують ситові та повітряно-ситові сепаратори, аспіраційні установки, магнітні сепаратори, каменевідбірники та трієри. Ефективне очищення дозволяє зменшити навантаження на наступні машини, знизити їх зношування та скоротити непродуктивні витрати енергії.

Важливим етапом є сушіння та кондиціювання насіння. Вологість сировини безпосередньо впливає на ефективність її подрібнення, плющення та вилучення олії. Надмірна вологість може ускладнювати технологічний процес, а пересушування призводить до додаткових витрат теплової енергії та може погіршувати умови подальшого вилучення олії. Тому сучасні технології передбачають регулювання температури теплоносія, тривалості сушіння та інтенсивності повітряного потоку відповідно до фактичної вологості сировини.

Після очищення та підготовки частину культур піддають обрушуванню або луценню. Метою цієї операції є відділення оболонки від ядра. Видалення надлишкової кількості оболонки може підвищити ефективність вилучення олії та покращити якість продукту, однак потребує додаткових витрат енергії. Тому процес повинен здійснюватися з урахуванням виду культури, властивостей насіння та призначення кінцевої продукції.

Подрібнення забезпечує руйнування клітинної структури насіння та створює умови для більш повного вилучення олії. Для цього застосовують вальцові верстати, дробарки та інші машини. Надмірне подрібнення не завжди є доцільним, оскільки збільшує споживання електроенергії та може ускладнювати подальше пресування. Тому необхідно забезпечити такий ступінь подрібнення, за якого досягається необхідна ефективність вилучення олії без надлишкових енергетичних витрат.

Після подрібнення насіння може піддаватися плющенню. У результаті утворюються тонкі пластівці, що мають значно більшу площу поверхні порівняно з вихідним насінням. Це сприяє руйнуванню клітин і полегшує вихід олії під час наступної теплової обробки та пресування.

Одним із ключових етапів є тепла обробка підготовленого матеріалу. Її призначення полягає у зміні фізико-механічних властивостей сировини, зниженні в'язкості олії та створенні сприятливих умов для її вилучення. При цьому важливо точно контролювати температуру, вологість і тривалість обробки. Надмірне нагрівання збільшує витрати теплової енергії та може негативно впливати на якість олії.

Основним процесом є вилучення олії. У промисловості використовують механічний спосіб, екстракцію або їх поєднання. При механічному вилученні застосовують переважно шнекові преси.

Під час проходження матеріалу через робочу камеру преса він ущільнюється та стискається, унаслідок чого олія відділяється від твердої частини. Твердий залишок формується у вигляді макухи.

Ефективність шнекового пресування визначається вологістю та температурою насіння, ступенем його подрібнення і плющення, частотою обертання шнека, величиною протитиску, конструкцією робочих органів та продуктивністю обладнання. Оптимізація цих параметрів дозволяє одночасно підвищити вихід олії та знизити питомі витрати електроенергії.

При екстракційному способі олію вилучають із підготовленого матеріалу за допомогою розчинника. Такий спосіб забезпечує високий ступінь вилучення олії, однак потребує складнішого обладнання, контролю температурних режимів, систем регенерації розчинника та підвищених вимог до безпеки виробництва.

Отримана після пресування або екстракції олія містить механічні домішки, частинки макухи та інші супутні компоненти, тому проходить очищення. Для цього використовують відстоювання, фільтрацію, центрифугування та інші методи розділення. Метою очищення є видалення механічних домішок і забезпечення необхідної якості олії перед подальшою переробкою.

За необхідності проводять рафінацію рослинної олії, яка може включати гідратацію, нейтралізацію, промивання, вибілювання та дезодорацію. Вибір окремих операцій залежить від виду сировини, призначення олії та вимог до готового продукту.

Важливою особливістю сучасного олійного виробництва є комплексне використання сировини. У процесі переробки утворюються макуха, шрот, лушпиння та інші побічні продукти, які можуть використовуватися як кормова сировина, джерело білка та клітковини, паливо або сировина для подальшої переробки. Наприклад, лушпиння соняшнику може використовуватися для виробництва паливних гранул і брикетів або як паливо для котельних установок.

З енергетичної точки зору найбільше значення мають операції сушіння, теплової обробки, подрібнення, плющення, пресування, транспортування, вентиляції та очищення олії. Тому під час удосконалення технологічної схеми необхідно оцінювати не окрему машину, а весь виробничий ланцюг. Скорочення витрат енергії на одній операції не повинно призводити до зниження продуктивності, виходу олії або якості готової продукції.

Для оцінювання ефективності роботи підприємства використовують показник питомих витрат електроенергії:

$$q_e = W / M,$$

де q_e – питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

W – спожита електроенергія, кВт·год;

M – маса переробленої сировини, т.

Продуктивність технологічного обладнання визначають за залежністю:

$$Q = M / t,$$

де Q – продуктивність, т/год;

M – маса переробленої сировини, т;

t – тривалість роботи, год.

Вихід олії характеризується співвідношенням:

$$\eta_o = M_o / M \times 100 \%,$$

де η_o – вихід олії, %;

M_o – маса отриманої олії, т;

M – маса переробленого насіння, т.

Таким чином, технологічна схема олійного виробництва являє собою взаємопов'язану систему механічних, теплових і фізико-хімічних процесів. Її енергоефективність залежить від правильного підбору обладнання, оптимізації режимів роботи, мінімізації повторного транспортування та переробки, автоматичного регулювання процесів, використання вторинних енергетичних ресурсів і комплексного використання всіх компонентів сировини. Основним критерієм удосконалення технології має бути не лише зниження енергоспоживання, а досягнення оптимального співвідношення між витратами ресурсів, продуктивністю, виходом та якістю олії.

2. Енергоефективні технології підготовки олійної сировини

Підготовка сировини значною мірою визначає ефективність вилучення олії. Її основними операціями є очищення, сушіння, кондиціонування за вологістю, обрушування, подрібнення, плющення та теплова обробка.

Очищення необхідне для видалення ґрунту, каміння, металевих частинок, рослинних решток, насіння бур'янів та інших домішок. Для цього використовують ситові й повітряно-ситові сепаратори, аспіраційні системи, магнітні сепаратори, каменевідбірники та

трієри. Енергоефективність очищення залежить від правильного підбору продуктивності машин і регулювання повітряних потоків. Надмірна швидкість повітря збільшує витрати електроенергії та може спричинити втрати цінної сировини.

Вологість насіння має істотний вплив на його зберігання та подальшу переробку. Надмірна вологість сприяє розвитку мікроорганізмів, самозігріванню та погіршенню якості сировини. Водночас надмірне сушіння призводить до перевитрати теплової енергії. Тому необхідно підтримувати оптимальний рівень вологості.

Енергоощадне сушіння передбачає автоматичний контроль температури та вологості, регулювання подачі теплоносія, рециркуляцію повітря, використання теплоти відпрацьованого теплоносія та якісну теплоізоляцію обладнання.

Подрібнення і плющення забезпечують руйнування клітинної структури насіння та збільшення поверхні контакту матеріалу. Це полегшує подальше вилучення олії. Надмірне подрібнення може збільшити питомі енерговитрати, тому необхідно встановлювати оптимальний ступінь подрібнення.

Теплова підготовка змінює фізико-механічні властивості сировини, зменшує в'язкість олії та сприяє її ефективнішому відділенню. Основними параметрами процесу є температура, тривалість нагрівання та вологість матеріалу. Автоматичне регулювання цих параметрів дозволяє уникати зайвих витрат енергії.

Підготовка олійної сировини є одним із найважливіших етапів технологічного процесу, оскільки саме від її якості значною мірою залежать ефективність подальшого вилучення олії, продуктивність обладнання, її вихід і якість готового продукту. До основних операцій підготовки належать очищення насіння від домішок, сушіння, кондиціонування вологості, обрушування або лущення, подрібнення, плющення та тепла обробка. Енергоефективна організація цих операцій передбачає зменшення витрат електричної та теплової енергії без погіршення технологічних показників.

Насіння олійних культур надходить на підприємство з різною кількістю мінеральних, органічних і металевих домішок. До них належать частинки ґрунту, каміння, солома, пил, насіння інших культур, металеві предмети та пошкоджене насіння. Їх видалення необхідне не тільки для забезпечення якості продукції, а й для захисту робочих органів технологічного обладнання від передчасного зношування.

Для очищення застосовують ситові та повітряно-ситові сепаратори, аспіраційні системи, магнітні сепаратори, каменевідбірники, трієри та інше обладнання. Енергетичні витрати на цьому етапі значною мірою пов'язані з роботою електроприводів і вентиляторів аспіраційних установок.

Одним із напрямів енергозбереження є оптимізація повітряного режиму очищення. Надмірна швидкість повітря призводить до винесення частини корисного насіння разом із легкими домішками та збільшення витрат електроенергії вентилятором. Недостатня швидкість, навпаки, знижує ефективність сепарації. Тому продуктивність вентилятора та положення регулювальних заслінок повинні відповідати фактичному складу і продуктивності сировини.

Доцільним є використання вентиляторів із регульованою частотою обертання. Частотне регулювання дозволяє змінювати продуктивність повітряного потоку відповідно до навантаження машини та уникати роботи обладнання з надлишковою потужністю.

Ефективність очищення можна підвищити також шляхом правильного компонування машин. Послідовне встановлення обладнання за технологічними властивостями домішок дає можливість уникнути повторного очищення та непотрібного транспортування матеріалу. Це зменшує сумарні витрати електроенергії та скорочує тривалість технологічного процесу.

Сушіння є одним із найбільш енергоємних процесів підготовки олійної сировини, оскільки потребує значної кількості теплової енергії для видалення вологи. Тому саме оптимізація сушіння має значний потенціал для підвищення загальної енергоефективності підприємства.

Основним завданням сушіння є доведення вологості насіння до рівня, який забезпечує його безпечне зберігання та ефективне проведення наступних технологічних операцій. При цьому необхідно уникати як недостатнього, так і надмірного сушіння. Недосушене насіння може погіршуватися під час зберігання, а пересушування спричиняє додаткові витрати енергії та може негативно впливати на технологічні властивості сировини.

Енергоефективне сушіння передбачає регулювання температури теплоносія, швидкості його руху, тривалості перебування насіння в сушарці та ступеня рециркуляції повітря. Важливе значення має автоматичний контроль вологості сировини на вході та виході із сушарки.

Для зниження теплових втрат застосовують рециркуляцію частини відпрацьованого теплоносія. Тепле повітря, яке виходить із сушарки, може містити значну кількість залишкової теплової енергії. Його часткове повернення до технологічного процесу дозволяє зменшити потребу в новому теплоносії.

Додатковим резервом є утилізація теплоти відхідних газів та інших вторинних енергетичних ресурсів. Теплообмінники можуть використовуватися для передачі теплоти від гарячих потоків холодному повітрю або воді. Це дає можливість зменшити споживання палива без зміни основного технологічного процесу.

Значне значення має теплоізоляція сушильного обладнання, трубопроводів і повітроводів. Пошкоджена або недостатня теплоізоляція призводить до втрат теплоти в навколишнє середовище та збільшення витрат палива.

Перед подрібненням, плющенням і пресуванням насіння повинно мати оптимальні фізико-механічні властивості. Важливим параметром є його вологість, яка впливає на міцність оболонки, пластичність ядра, роботу подрібнювального обладнання та ефективність вилучення олії.

Для різних культур і технологічних схем оптимальна вологість може відрізнятися. Тому застосування однакового режиму підготовки для всіх видів сировини не є раціональним.

Енергоефективна технологія передбачає визначення фактичної вологості насіння та встановлення режиму сушіння або зволоження відповідно до отриманих результатів.

Автоматичне дозування води, контроль температури та вологості дозволяють забезпечити стабільність процесу і не витрачати енергію на надмірне сушіння. Це особливо важливо при переробці великих партій сировини з неоднаковою початковою вологістю.

Для соняшнику, сої та деяких інших культур може застосовуватися обрушування або лущення насіння. Основною метою операції є відділення оболонки від ядра та підготовка матеріалу до подальшого вилучення олії.

Обладнання для обрушування споживає електричну енергію, тому важливим завданням є забезпечення необхідного ступеня руйнування оболонки без надмірного механічного впливу. Збільшення інтенсивності процесу понад технологічну необхідність підвищує енергоспоживання та може спричинити додаткове утворення дрібних частинок.

Раціональний режим обрушування встановлюють з урахуванням вологості насіння, його розмірів, міцності оболонки та продуктивності лінії. Сучасні машини можуть обладнуватися регульованими приводами, що дає змогу змінювати частоту обертання робочих органів залежно від властивостей сировини.

Відокремлене лушпиння не повинно розглядатися лише як відхід. Воно може використовуватися для виробництва гранул і брикетів, як компонент кормових матеріалів або як паливо, що сприяє комплексному використанню ресурсів.

Подрібнення забезпечує руйнування клітинної структури насіння та підготовку його до більш ефективного вилучення олії. Разом із тим цей процес потребує значної кількості електроенергії, особливо при надмірному зменшенні розміру частинок.

Тому основним принципом енергоефективного подрібнення є отримання необхідного ступеня подрібнення за мінімальних витрат енергії. Надмірне подрібнення не завжди підвищує вихід олії, але

збільшує навантаження на електродвигун, зношування робочих органів і температуру матеріалу.

На енергоспоживання впливають тип подрібнювальної машини, частота обертання робочих органів, продуктивність, вологість насіння, твердість оболонки та ступінь зношування робочих поверхонь.

Використання частотно-регульованого привода дозволяє змінювати швидкість роботи подрібнювальної машини відповідно до фактичного навантаження. Це особливо ефективно при змінній продуктивності технологічної лінії.

Плющення подрібненого матеріалу здійснюють для утворення тонких пластівців із більшою питомою поверхнею. Така структура полегшує теплову обробку та подальше вилучення олії.

Енергоефективність плющення залежить від зазору між робочими валками, вологості насіння, частоти їх обертання та продуктивності обладнання. Занадто малий зазор збільшує механічне навантаження та енергоспоживання, тоді як надмірний зазор призводить до недостатнього утворення пластівців.

Раціональне налаштування валків дозволяє отримати необхідну товщину пластівців без зайвого споживання електроенергії. Важливо також забезпечити рівномірну подачу матеріалу, оскільки нерівномірне навантаження спричиняє коливання потужності електродвигуна та погіршення стабільності технологічного процесу.

Теплова обробка підготовленого насіння перед пресуванням або екстракцією є важливим фактором, що впливає на ефективність вилучення олії. Під дією температури змінюються в'язкість олії, властивості клітинної структури та фізико-механічні характеристики матеріалу.

Енергоефективний режим передбачає підтримання температури на рівні, необхідному для ефективного проведення процесу, без перегрівання сировини. Надмірне підвищення температури збільшує витрати теплової енергії та може негативно впливати на якість олії.

Для оптимізації процесу використовують датчики температури та вологості, автоматичне регулювання подачі пари або іншого теплоносія, контроль тривалості перебування матеріалу в апараті та системи рециркуляції тепла.

Важливим напрямом підвищення енергоефективності є автоматизація підготовки сировини. Автоматизована система може контролювати температуру, вологість, продуктивність, рівень матеріалу, навантаження електродвигунів і параметри повітряних потоків.

Застосування датчиків та автоматичних регуляторів дозволяє підтримувати оптимальні режими без постійного ручного втручання оператора. Наприклад, при зменшенні подачі сировини система може автоматично знизити продуктивність вентилятора або швидкість обертання робочого органу. Це дозволяє уникати непродуктивного споживання електроенергії.

Для електроприводів машин підготовки доцільно використовувати частотно-регульовані приводи. Вони забезпечують плавний запуск двигунів, регулювання продуктивності, зменшення пускових навантажень та адаптацію роботи обладнання до фактичного навантаження.

Ефективність підготовчих операцій необхідно оцінювати не тільки за кількістю спожитої енергії, а за комплексом показників. Основними з них є продуктивність обладнання, якість підготовки сировини, втрати матеріалу, вихід олії та питомі енергетичні витрати.

Питомі витрати енергії можна визначити за формулою:

$$q = E / M,$$

де q – питомі витрати енергії, кВт·год/т або МДж/т;

E – загальна кількість спожитої енергії;

M – маса переробленої сировини.

При порівнянні різних технологічних режимів доцільно враховувати не лише зниження q , а й зміну виходу олії та продуктивності. Режим, за якого споживається менше енергії, але

одночасно істотно зменшується вихід олії, не можна вважати оптимальним.

Отже, енергоефективна підготовка олійної сировини ґрунтується на точному регулюванні режимів очищення, сушіння, кондиціонування, обривування, подрібнення, плющення та теплової обробки. Найбільш ефективними заходами є автоматичний контроль вологості й температури, регулювання повітряних потоків, використання частотно-регульованих електроприводів, оптимізація механічного впливу на сировину, повторне використання теплоти та зменшення непродуктивних витрат енергії. Комплексне застосування цих заходів створює умови для стабільної роботи обладнання, зниження собівартості переробки та підвищення загальної ресурсоефективності олійного виробництва.

3. Ресурсоощадні технології вилучення та очищення рослинної олії

Основними способами вилучення олії є механічне пресування та екстракція. Механічне пресування широко застосовується на підприємствах різної продуктивності, особливо під час переробки соняшнику, ріпаку та інших олійних культур.

Одним із основних видів обладнання є шнековий прес. У ньому підготовлена сировина переміщується вздовж робочої камери шнековим валом і поступово стискається. У результаті підвищення тиску олія відділяється від твердої фази, а залишок формується у вигляді макухи.

Ефективність шнекового пресування залежить від вологості та температури сировини, ступеня її подрібнення, частоти обертання шнека, величини протитиску, геометрії шнекового вала, продуктивності обладнання та технічного стану робочих органів.

Збільшення частоти обертання шнека може підвищити продуктивність, однак надмірне збільшення швидкості скорочує час перебування сировини в робочій зоні та може знизити ступінь вилучення олії. Підвищення протитиску сприяє ущільненню матеріалу, але одночасно збільшує навантаження на електродвигун і питомі енерговитрати. Тому необхідно встановлювати оптимальне співвідношення між продуктивністю, виходом олії та споживанням енергії.

Критеріями ефективності пресування є висока продуктивність, максимальний вихід олії, низька залишкова олійність макухи, стабільна якість продукції та мінімальні питомі енерговитрати.

Після пресування олія містить механічні домішки, тому проходить очищення. Для цього застосовують відстоювання, фільтрацію, центрифугування та сепарацію. Вибір обладнання залежить від необхідної якості продукції та продуктивності технологічної лінії.

За необхідності проводиться рафінація олії, яка може включати гідратацію, нейтралізацію, промивання, відбілювання та дезодорацію. Оскільки окремі операції потребують значної кількості теплової енергії, ефективним заходом є використання теплообмінників, рекуперація теплоти та оптимізація температурних режимів.

Вилучення олії є центральною операцією олійного виробництва, від ефективності якої безпосередньо залежать вихід готової продукції, кількість олії в побічних продуктах, енергетичні витрати та економічні результати підприємства. Основними способами вилучення рослинної олії є механічне пресування, екстракція органічними розчинниками та комбіновані технології.

Для невеликих і середніх підприємств, а також у технологічних лініях первинної переробки значного поширення набули шнекові преси. Їх перевагами є безперервність роботи, відносна конструктивна простота, можливість регулювання технологічного режиму та отримання двох основних продуктів – олії і макухи.

Принцип механічного пресування полягає у створенні тиску на підготовлену олійну сировину. Під час переміщення матеріалу через робочу камеру преса відбувається його поступове ущільнення, стискання та руйнування клітинної структури. Олія виділяється через спеціальні зазори робочої камери, а тверда частина формується у вигляді макухи.

Основними елементами шнекового преса є завантажувальний пристрій, шнековий вал, робоча камера, зеєрний циліндр або пресова клітка, механізм регулювання протитиску, електропривод, система відведення олії та пристрій для виходу макухи.

Шнековий вал забезпечує одночасно транспортування, перемішування, ущільнення та стискання матеріалу. У процесі переміщення до вихідної частини преса вільний об'єм робочої

камери поступово зменшується, що призводить до зростання тиску. У результаті рідка фаза відділяється від твердої.

Ефективність процесу визначається не лише конструкцією преса, а й властивостями підготовленої сировини та режимами його роботи.

До найбільш важливих параметрів належать вологість і температура сировини, ступінь подрібнення, товщина пластівців після плющення, частота обертання шнекового вала, величина протитиску, продуктивність преса та конструктивні параметри шнекового вала.

Вологість сировини істотно впливає на процес пресування. Надмірно вологий матеріал може погіршувати відділення олії та спричиняти утворення пластичної маси, яка ускладнює роботу преса. Надмірне зниження вологості також може бути небажаним, оскільки збільшує витрати енергії на сушіння та змінює механічні властивості сировини.

Температура матеріалу впливає на в'язкість олії та умови її відділення. Підвищення температури в певних межах може полегшувати вихід олії, однак надмірне нагрівання збільшує енергетичні витрати та може негативно впливати на якість продукту.

Частота обертання шнека визначає швидкість переміщення матеріалу через робочу камеру. Підвищення частоти обертання, як правило, збільшує продуктивність, але скорочує час перебування матеріалу в зоні пресування. За надмірно високої швидкості може знижуватися ступінь вилучення олії та збільшуватися її залишковий вміст у макусі.

Протитиск на виході з преса є одним із основних засобів регулювання процесу. Зі збільшенням протитиску матеріал сильніше ущільнюється, що може сприяти підвищенню виходу олії. Водночас надмірний протитиск збільшує навантаження на електродвигун, підвищує споживання електроенергії та може призводити до нестабільної роботи обладнання.

Таким чином, необхідно визначати не максимальний, а оптимальний рівень протитиску, за якого забезпечується прийнятний вихід олії при мінімальних питомих енергетичних витратах.

Основним споживачем електроенергії у процесі механічного вилучення олії є електропривод преса. Енергоспоживання залежить

від продуктивності, властивостей сировини, ступеня її підготовки та встановленого технологічного режиму.

Для оцінювання ефективності можна використовувати питомі витрати електроенергії:

$$q_e = W / M,$$

де q_e – питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

W – кількість спожитої електроенергії, кВт·год;

M – маса переробленої сировини, т.

Однак оцінювання лише за цим показником є недостатнім. Необхідно одночасно враховувати вихід олії та її залишковий вміст у макусі. Наприклад, зменшення споживання електроенергії за рахунок надмірного збільшення частоти обертання шнека може супроводжуватися зменшенням вилучення олії. У такому випадку економія електроенергії може бути меншою за втрати олії.

Тому критеріями оптимального режиму повинні бути:

- * висока продуктивність преса;
- * максимальне технологічно доцільне вилучення олії;
- * мінімальний залишковий вміст олії в макусі;
- * низькі питомі витрати електроенергії;
- * стабільність навантаження електродвигуна;
- * забезпечення необхідної якості олії та макухи.

Ресурсоощадність процесу значною мірою залежить від конструкції шнекового вала. Важливими характеристиками є крок витків, діаметр вала, геометрія витків, довжина робочих зон, величина зазору між шнеком і пресовою кліткою та співвідношення між зонами транспортування, стискання і пресування.

У сучасних конструкціях шнек може мати декілька послідовних зон. На початковій ділянці відбувається захоплення і транспортування матеріалу, далі – його ущільнення, а у пресовій зоні створюються умови для максимального відділення олії.

Раціональний профіль шнека повинен забезпечувати поступове збільшення ступеня ущільнення матеріалу. Різке збільшення опору руху може призвести до перевантаження електродвигуна та зростання питомих енергетичних витрат.

Важливим резервом підвищення ефективності є правильне співвідношення між продуктивністю шнека та пропускною здатністю пресової клітки. Нерівномірна подача сировини призводить до коливання навантаження, нестабільного протитиску та зміни виходу олії.

Одним із ефективних заходів енергозбереження є застосування частотно-регульованого електропривода шнекового преса. Він дозволяє змінювати частоту обертання шнека відповідно до властивостей сировини та фактичного навантаження.

Перевагами такого привода є плавний запуск електродвигуна, зменшення пускових струмів, можливість регулювання продуктивності, підтримання стабільного навантаження та зниження непродуктивних витрат електроенергії.

При зміні вологості або фізико-механічних властивостей сировини оператор або автоматизована система може змінювати частоту обертання шнека та величину протитиску. Це дозволяє підтримувати близький до оптимального режим роботи без необхідності зупинки преса.

Олія після пресування містить тверді частинки, фрагменти насіння, фосфоліпіди, вологу та інші супутні компоненти. Тому перед подальшим використанням вона повинна бути очищена.

Найпростішим способом є відстоювання, під час якого тверді частинки під дією сили тяжіння осідають на дно ємності. Перевагою методу є низьке енергоспоживання, однак процес потребує значного часу та площі обладнання.

Більш інтенсивним способом є фільтрація. Олія проходить через фільтрувальний матеріал, який затримує тверді частинки. Ефективність фільтрації залежить від розміру частинок, властивостей олії, типу фільтру та швидкості проходження продукту.

Для прискорення розділення використовують центрифугування. Під дією відцентрової сили тверді частинки та інші компоненти відділяються від олії значно швидше, ніж під час природного відстоювання. Водночас центрифуги потребують електричної енергії, тому їх необхідно підбирати відповідно до фактичної продуктивності технологічної лінії.

Якщо готовий продукт повинен відповідати підвищеним вимогам до кольору, запаху, смаку та стабільності під час зберігання, проводять рафінацію.

Основними операціями рафінації є гідратація, нейтралізація, промивання, вибілювання та дезодорація. Конкретний набір операцій залежить від виду сировини та призначення олії.

Під час гідратації видаляють частину фосфоліпідів та інших гідрофільних речовин. Нейтралізація спрямована на зниження

вмісту вільних жирних кислот. Вибілювання забезпечує видалення частини пігментів та інших небажаних речовин за допомогою спеціальних сорбентів. Дезодорація полягає у видаленні летких речовин, що визначають запах і смак олії.

З ресурсоощадної точки зору важливо оптимізувати витрати води, пари, сорбентів та електроенергії. Надмірна інтенсивність рафінації може призводити до збільшення витрат ресурсів без суттєвого покращення якості готової продукції.

Важливим завданням є мінімізація втрат олії разом із твердими домішками, осадом і фільтрувальними матеріалами. Для цього необхідно правильно підбирати режими фільтрації та центрифугування, своєчасно очищати фільтри та контролювати кількість олії в осаді.

Утворені відходи доцільно додатково переробляти або використовувати як вторинну сировину, якщо це відповідає вимогам технології та безпеки. Такий підхід дозволяє зменшити втрати цінного продукту та підвищити загальний коефіцієнт використання сировини.

Для оцінювання роботи преса важливо визначати не лише продуктивність і споживання електроенергії, а й фактичний вихід олії:

$$\eta_o = M_o / M \times 100 \%,$$

де η_o – вихід олії, %;

M_o – маса отриманої олії, кг або т;

M – маса переробленого насіння, кг або т.

Також визначають залишковий вміст олії в макусі. Чим менша кількість олії залишається в макусі за інших однакових умов, тим вищою є ефективність її вилучення.

Для комплексної оцінки доцільно використовувати співвідношення між виходом олії, продуктивністю та питомими витратами енергії. Це дозволяє вибрати такий режим роботи, який забезпечує економічно обґрунтований баланс між якістю продукції та витратами ресурсів.

Отже, ресурсоощадна технологія вилучення та очищення рослинної олії передбачає оптимізацію всього комплексу операцій – від подачі підготовленої сировини до отримання очищеного продукту. Найбільший ефект забезпечують правильна підготовка насіння, оптимізація частоти обертання шнека і протитиску, удосконалення геометрії робочих органів, використання частотно-

регульованого електропривода, автоматичний контроль навантаження та раціональний вибір способу очищення олії. Водночас головним показником ефективності є не мінімальне енергоспоживання саме по собі, а отримання максимальної кількості якісної олії при мінімальних сумарних витратах матеріальних та енергетичних ресурсів.

4. Автоматизація, енергоефективне обладнання та рекуперація енергії

Автоматизація дозволяє підтримувати оптимальні режими роботи обладнання та зменшувати втрати енергії. Сучасні системи керування забезпечують автоматичне регулювання продуктивності відповідно до фактичного навантаження технологічної лінії.

Одним із важливих напрямів є використання частотно-регульованих електроприводів. Частотні перетворювачі дозволяють змінювати швидкість обертання двигунів відповідно до потреб технологічного процесу. Їх доцільно застосовувати для приводів шнеків, транспортерів, вентиляторів, насосів та дозаторів.

Застосування частотного регулювання забезпечує плавний запуск обладнання, зменшення пускових навантажень, регулювання продуктивності та скорочення непродуктивного споживання електроенергії.

Для автоматичного керування використовують датчики температури, вологості, тиску, рівня, витрати та електричного навантаження. Отримані дані передаються до контролера, який порівнює фактичні параметри із заданими та формує керувальні сигнали.

Наприклад, після досягнення необхідної вологості насіння система може автоматично зменшити подачу теплоносія або перевести сушильну установку в режим підтримання заданих параметрів. Аналогічно, зміна навантаження шнекового преса може бути використана для автоматичного коригування частоти обертання шнека або продуктивності подачі сировини.

Важливим напрямом є моніторинг енергоспоживання. Окремий облік електроенергії для основних технологічних

дільниць дозволяє визначити найбільш енергоємні процеси та оцінити результативність енергоощадних заходів.

Значний потенціал має рекуперація теплової енергії. Джерелами вторинної теплоти можуть бути відпрацьоване повітря сушарок, гарячі технологічні потоки, конденсат та гаряча вода. За допомогою теплообмінників ця теплота може передаватися холодному потоку, наприклад повітрю, яке подається до сушарки.

Додаткове зменшення теплових втрат забезпечує теплоізоляція сушарок, трубопроводів, резервуарів та іншого обладнання.

Сучасне олійне виробництво характеризується значною кількістю технологічних операцій, взаємозалежністю обладнання та необхідністю постійного контролю параметрів сировини й готової продукції. За таких умов ефективне використання енергетичних ресурсів неможливе без автоматизації технологічних процесів, застосування енергоефективного обладнання та використання вторинних енергетичних ресурсів.

Автоматизація дає можливість підтримувати задані режими роботи обладнання, своєчасно реагувати на зміну властивостей сировини, регулювати продуктивність машин відповідно до фактичного навантаження та запобігати непродуктивним витратам електроенергії й теплоти.

Автоматизована система управління олійним виробництвом може охоплювати практично всі основні операції: приймання і транспортування сировини, очищення, сушіння, підготовку насіння, пресування, очищення та зберігання олії.

Основними завданнями автоматизації є контроль технологічних параметрів, регулювання продуктивності обладнання, підтримання стабільності процесу, захист машин від перевантажень і аварійних режимів, а також накопичення інформації для подальшого аналізу.

Для цього використовують датчики температури, вологості, тиску, рівня, витрати матеріалу, частоти обертання та електричного навантаження. Сигнали від датчиків надходять до контролера, який

порівнює фактичні значення із заданими та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Наприклад, під час сушіння автоматизована система може контролювати температуру теплоносія та вологість насіння. Якщо вологість сировини досягла заданого значення, система зменшує інтенсивність сушіння або припиняє подачу теплоносія. Це дозволяє запобігати пересушуванню та зменшувати витрати теплової енергії.

Під час пресування автоматична система може контролювати частоту обертання шнека, навантаження електродвигуна, продуктивність подачі сировини та величину протитиску. Такий контроль дозволяє підтримувати стабільний режим роботи преса та запобігати перевантаженням.

Одним із найбільш ефективних способів зниження енергоспоживання є узгодження продуктивності окремих машин із фактичним потоком сировини.

У традиційних системах обладнання часто працює з постійною частотою обертання незалежно від реального навантаження. Якщо кількість сировини зменшується, машина продовжує споживати значну частину номінальної потужності, хоча її технологічне навантаження є нижчим.

Автоматичне регулювання дозволяє синхронізувати роботу транспортерів, сепараторів, вентиляторів, насосів та пресів. При зменшенні потоку сировини продуктивність допоміжного обладнання відповідно знижується. Це зменшує холостий або частково навантажений режим роботи машин.

Особливо ефективним є каскадне керування, коли зміна продуктивності однієї машини автоматично спричиняє відповідну зміну режиму роботи пов'язаного обладнання.

Значну частину електроенергії на олійних підприємствах споживають електродвигуни. Вони приводять у дію шнеки, конвеєри, вентилятори, насоси, дробарки, вальці, центрифуги та інше обладнання.

Застосування частотно-регульованих приводів дозволяє змінювати частоту обертання електродвигуна відповідно до технологічної потреби. Це особливо важливо для обладнання, продуктивність якого повинна змінюватися в широкому діапазоні.

Основними перевагами частотного регулювання є плавний запуск двигуна, зменшення пускових струмів, регулювання продуктивності, зниження механічних ударних навантажень та можливість підтримання оптимального режиму роботи.

Для шнекового преса частотне регулювання дозволяє змінювати швидкість обертання шнека залежно від властивостей сировини. При зміні вологості, температури або продуктивності подачі можна встановити такий режим, за якого забезпечується необхідний вихід олії без надмірного навантаження електродвигуна.

У системах вентиляції частотне регулювання дозволяє змінювати продуктивність вентилятора відповідно до необхідної кількості повітря. Це дає змогу уникати надлишкового повітряного потоку та відповідного збільшення витрат електроенергії.

Окрім регулювання режиму роботи, важливе значення має використання сучасних електродвигунів із підвищеним коефіцієнтом корисної дії. Вибір двигуна повинен здійснюватися відповідно до реального навантаження машини.

Застосування двигуна значно більшої потужності, ніж необхідно для конкретного технологічного процесу, може призводити до нераціонального використання електроенергії. Водночас недостатня потужність спричиняє перевантаження, перегрівання та передчасне зношування обладнання.

Тому під час модернізації необхідно визначати фактичне навантаження електропривода та підбирати двигун із відповідним запасом потужності. Важливим є також своєчасне технічне обслуговування підшипників, редукторів, муфт та інших механічних елементів, оскільки збільшення механічного опору безпосередньо впливає на споживання електроенергії.

Для ефективного управління ресурсами необхідно не тільки регулювати роботу обладнання, а й вимірювати фактичне споживання енергії.

На підприємстві доцільно встановлювати прилади обліку електроенергії та теплоти на окремих технологічних ділянках. Це дозволяє визначати, які операції мають найбільше енергоспоживання, порівнювати режими роботи та виявляти непродуктивні витрати.

Енергомоніторинг може охоплювати:

- електроспоживання окремих машин;
- витрати теплової енергії на сушіння;
- витрати пари;
- роботу вентиляційних систем;
- споживання електроенергії насосами та транспортним обладнанням;
- питомі витрати енергії на одиницю переробленої сировини.

На основі отриманих даних можна визначати питомі енергетичні витрати:

$$q_e = E / M,$$

де q_e – питомі витрати енергії;

E – загальна кількість спожитої енергії;

M – маса переробленої сировини.

Порівняння цього показника в різних змінах, за різної продуктивності та для різних технологічних режимів дозволяє виявляти резерви енергозбереження.

Автоматизація виконує не лише функцію регулювання, а й забезпечує захист обладнання.

Для олійного виробництва особливе значення мають системи захисту від перевантаження електродвигунів, перегрівання підшипників, заклинювання шнеків, переповнення бункерів, порушення подачі сировини та відхилення температури від допустимих значень.

Наприклад, при різкому зростанні навантаження шнекового преса автоматична система може зменшити частоту обертання шнека або тимчасово знизити подачу сировини. Якщо параметр виходить за критичні межі, обладнання може бути автоматично зупинене.

Такий підхід одночасно підвищує надійність технологічної лінії, зменшує ризик аварій та запобігає додатковим енергетичним витратам.

Значний потенціал ресурсозбереження олійних підприємств пов'язаний із повторним використанням теплоти, яка утворюється або відводиться під час технологічних процесів.

Найбільшими джерелами вторинної теплоти можуть бути відпрацьоване повітря сушарок, гарячі гази, конденсат, гаряча вода та нагріті технологічні потоки.

Рекуперація теплоти полягає у передачі теплової енергії від гарячого потоку до холодного без безпосереднього змішування цих потоків. Для цього використовують теплообмінники різних конструкцій.

Наприклад, теплота відпрацьованого повітря сушарки може використовуватися для попереднього нагрівання свіжого повітря, яке надходить до системи сушіння. Таким чином, частина енергії повертається у технологічний процес.

Іншим напрямом є використання теплоти гарячого конденсату для підігрівання води або інших технологічних середовищ. Це дозволяє зменшити навантаження на котельне обладнання.

Сушіння є одним із найбільш перспективних процесів для впровадження рекупераційних систем. Значна частина теплоти може втрачатися разом із відпрацьованим повітрям.

Застосування теплообмінників дозволяє передавати частину цієї теплоти свіжому повітрю. Ефективність рекуперації залежить від температури потоків, їх витрати, конструкції теплообмінника та режиму роботи сушарки.

Рециркуляція частини повітря також може зменшити потребу в нагріванні нового повітря. Однак її необхідно організовувати

таким чином, щоб не погіршувати якість сушіння та не створювати несприятливих санітарно-технологічних умов.

Крім теплоти відпрацьованого повітря, підприємство може використовувати енергію інших побічних потоків. До них належать гаряча вода, конденсат, відхідні гази, а також теплота обладнання та технологічних продуктів.

Особливе значення має використання лушпиння олійних культур як біопалива. Лушпиння соняшнику, наприклад, може використовуватися для виробництва гранул або брикетів, які застосовують у теплогенеруючих установках. У такому випадку побічний продукт виробництва частково заміщує традиційне паливо.

Такий підхід забезпечує одночасне вирішення двох завдань: зменшення кількості відходів та скорочення витрат на придбання енергоресурсів. Навіть за наявності сучасного теплогенеруючого та рекупераційного обладнання значні втрати енергії можуть виникати через недостатню теплоізоляцію. Тепловій ізоляції підлягають сушильні камери, трубопроводи, повітроводи, теплообмінники, резервуари та інші поверхні, температура яких відрізняється від температури навколишнього середовища.

Стан теплоізоляції необхідно періодично контролювати. Пошкодження ізоляційного шару призводить до збільшення теплових втрат і, відповідно, до підвищення витрат палива або електроенергії. Подальший розвиток енергоефективності пов'язаний із цифровізацією виробничих процесів. Автоматизовані системи можуть збирати дані про продуктивність, температуру, вологість, навантаження електродвигунів та споживання енергії.

На основі цих даних можна формувати енергетичні профілі технологічних операцій, визначати відхилення від оптимальних режимів і прогнозувати необхідність технічного обслуговування.

Поєднання автоматизації, датчиків, частотно-регульованих приводів та цифрового моніторингу створює основу для переходу від простого контролю обладнання до інтелектуального управління технологічним процесом.

Наприклад, система може автоматично визначати залежність між вологістю насіння, продуктивністю преса, навантаженням електродвигуна та виходом олії й на цій основі коригувати технологічні параметри. Автоматизація та рекуперація енергії мають найбільший ефект у разі їх комплексного впровадження. Окреме встановлення енергоефективного електродвигуна або теплообмінника не гарантує суттєвого зниження загального енергоспоживання, якщо обладнання працює в неоптимальному режимі.

Ефективна система повинна включати:

контроль параметрів → автоматичне регулювання → оптимізацію роботи приводів → моніторинг енергоспоживання → рекуперацію вторинної енергії → аналіз результатів та коригування режимів.

У результаті формується замкнений цикл управління ресурсами, за якого фактичні параметри виробництва постійно контролюються, а технологічні режими коригуються відповідно до потреб процесу.

Отже, автоматизація, енергоефективне обладнання та рекуперація енергії є взаємопов'язаними напрямками модернізації олійних виробництв. Автоматизоване керування забезпечує стабільність технологічних процесів, частотно-регульовані приводи дозволяють адаптувати продуктивність машин до фактичного навантаження, сучасні електродвигуни зменшують втрати електроенергії, а рекупераційні системи забезпечують повторне використання теплоти. Комплексне застосування цих заходів дає можливість знизити питомі витрати енергії, підвищити продуктивність і надійність обладнання, зменшити собівартість продукції та підвищити загальну енерго- і ресурсоощадність олійного виробництва.

5. Комплексне використання сировини, побічних продуктів та оцінювання ресурсоефективності

Ресурсоощадне виробництво передбачає максимальне використання всіх компонентів олійної сировини. Основним

побічним продуктом механічного пресування є макуха. Вона містить значну кількість білків, клітковини та залишкової олії, тому може використовуватися як кормова сировина або направлятися на подальшу переробку.

Під час екстракційного виробництва утворюється шрот, який також є цінним джерелом рослинного білка та використовується у виробництві кормів. Оболонка насіння, зокрема соняшнику, може використовуватися як вторинний енергетичний ресурс. Її застосовують для виробництва паливних гранул і брикетів або безпосередньо як паливо для теплогенерувальних установок.

Перспективним напрямом є створення замкнених ресурсних циклів, у яких побічні продукти одного процесу використовуються як сировина або енергетичний ресурс для іншого. Це сприяє зменшенню кількості відходів і скороченню потреби у первинних ресурсах.

Ресурсоощадність також передбачає раціональне використання води. Для цього можуть застосовуватися системи повторного та оборотного водопостачання, контроль витрат води, очищення технологічних стоків і повторне використання очищеної води там, де це допускається технологічними вимогами.

Для оцінювання ефективності олійного виробництва використовують продуктивність, вихід олії, залишкову олійність макухи або шроту, питомі витрати електричної та теплової енергії, втрати сировини, матеріаломісткість та кількість утворених відходів.

Продуктивність визначають:

$$Q = M/t,$$

де Q – продуктивність, т/год; M – маса переробленої сировини, т; t – тривалість роботи, год.

Вихід олії визначають:

$$\eta_o = M_o/M \times 100 \%,$$

де η_o – вихід олії, %; M_o – маса отриманої олії, т; M – маса переробленої сировини, т.

Для комплексної оцінки необхідно одночасно враховувати енергетичні, технологічні, економічні та екологічні показники.

Оптимальним є такий режим, за якого забезпечується висока продуктивність, максимальний вихід якісної олії, мінімальні питомі енерговитрати та втрати сировини.

Енергоефективні та ресурсощадні технології олійних виробництв спрямовані на зменшення витрат електричної і теплової енергії, підвищення виходу олії, скорочення втрат сировини та комплексне використання побічних продуктів.

Основними напрямками підвищення ефективності є оптимізація підготовки насіння, удосконалення режимів пресування, застосування енергоефективних електроприводів, частотного регулювання, автоматизації, рекуперації теплової енергії та повторного використання вторинних ресурсів.

Подальший розвиток олійних виробництв пов'язаний із цифровізацією технологічних процесів, використанням автоматизованих систем моніторингу та керування, прогнозуванням навантажень обладнання і створенням комплексних систем енергоменеджменту.

Контрольні питання

1. Які основні етапи технологічного процесу виробництва рослинної олії?
2. Які операції олійного виробництва є найбільш енергоємними?
3. Як вологість сировини впливає на ефективність її переробки?
4. Яке призначення теплової підготовки олійного насіння?
5. Від яких параметрів залежить ефективність шнекового пресування?
6. Як частота обертання шнека впливає на продуктивність та енергоспоживання?
7. Які переваги використання частотно-регульованих електроприводів?
8. Які параметри контролюються автоматизованою системою керування?
9. У чому полягає рекуперація теплової енергії?
10. Які побічні продукти утворюються під час переробки олійної сировини?

Лекція 7. Енергоефективні та ресурсощадні технології підприємств з переробки плодоовочевої продукції

1. Загальна характеристика та технологічні схеми переробки плодоовочевої продукції

Підприємства з переробки плодоовочевої продукції є важливою складовою агропромислового комплексу. Їх основним завданням є переробка свіжої сільськогосподарської продукції на продукти з підвищеною харчовою цінністю, тривалим терміном зберігання та стабільними споживчими властивостями. Переробка дозволяє зменшити сезонність використання плодів і овочів, скоротити втрати врожаю та забезпечити споживачів продукцією протягом усього року.

До основних видів готової продукції належать натуральні та концентровані соки, нектари, пюре, пасти, соуси, джеми, повидло, варення, консервовані овочі, маринована продукція, сушені плоди та овочі, заморожені напівфабрикати, овочеві суміші, порошки та інші продукти.

Основною сировиною є яблука, груші, сливи, абрикоси, персики, вишні, черешні, виноград, ягоди, томати, морква, буряк, цибуля, часник, капуста, перець, огірки, гарбуз, картопля та інші культури.

Плодоовочева сировина має низку особливостей, які необхідно враховувати під час проектування та експлуатації переробних підприємств. Більшість плодів і овочів характеризується високим вмістом води, значною часткою органічних речовин, нестійкістю до механічних пошкоджень та швидким перебігом біохімічних процесів після збирання.

Висока вологість одночасно є важливою технологічною перевагою та причиною значних витрат на транспортування, охолодження, сушіння та концентрування. Наприклад, для отримання сушеної продукції необхідно видалити значну частину води, що потребує великих витрат теплової енергії. Під час виробництва концентрованих соків також необхідно видаляти воду шляхом випарювання або інших технологічних процесів.

Важливою особливістю є сезонність надходження сировини. Переробні підприємства повинні забезпечити приймання та переробку великих обсягів продукції протягом відносно короткого періоду. Це вимагає правильної організації логістики, проміжного зберігання, регулювання продуктивності обладнання та раціонального використання енергетичних ресурсів.

Узагальнена технологічна схема переробки плодоовочевої продукції має вигляд:

приймання → контроль якості → сортування → калібрування → миття → очищення → видалення неїстівних частин → подрібнення → бланшування або інша теплова обробка → основна переробка → концентрування, сушіння, пастеризація або заморожування → фасування → зберігання та реалізація.

Конкретна послідовність операцій залежить від виду сировини та кінцевого продукту. Наприклад, під час виробництва яблучного соку необхідними можуть бути подрібнення, пресування, освітлення, фільтрація, пастеризація та фасування. Для виробництва томатної пасти використовують миття, сортування, подрібнення, теплову обробку, протирання та концентрування. При виробництві заморожених овочів важливими є миття, сортування, нарізання, бланшування, охолодження та швидке заморожування.

Приймання та первинне зберігання.

На етапі приймання визначають кількість і якість сировини. Контролюють зовнішній вигляд, ступінь стиглості, наявність механічних пошкоджень, забруднення, ознак псування, сторонніх домішок та інші характеристики.

Важливим є швидке направлення продукції на переробку. Затримка може призводити до втрати вологи, зниження товарної якості, розвитку мікроорганізмів і погіршення технологічних властивостей.

Для продукції, яка потребує тимчасового зберігання, застосовують холодильні камери, регульовані сховища або інші системи підтримання оптимальних умов. Енергоефективність зберігання залежить від температурного режиму, якості

теплоізоляції, герметичності камер та ефективності холодильного обладнання.

Сортування та калібрування

Сортування передбачає відокремлення якісної продукції від пошкодженої або непридатної до подальшої переробки. Калібрування забезпечує розподіл сировини за розміром.

Рівномірність сировини важлива для подальшої теплової та механічної обробки. Продукція приблизно однакового розміру нагрівається, охолоджується та обробляється більш рівномірно.

На сучасних підприємствах можуть застосовуватися оптичні та електронні системи сортування, які визначають колір, форму, розмір та зовнішні дефекти продукції.

Миття

Миття призначене для видалення ґрунту, пилу, піску, рослинних залишків та інших забруднень. Воно також сприяє зменшенню кількості мікроорганізмів на поверхні сировини.

Процес може здійснюватися шляхом занурення, душування, механічного впливу, обертання або комбінування декількох способів. Миття є однією з найбільш водоемних операцій, тому його оптимізація має велике значення для ресурсоощадності. Витрати води повинні відповідати реальному забрудненню сировини. Надлишкова витрата води збільшує навантаження на водопостачання та очисні споруди.

Механічна підготовка

Залежно від виду продукції здійснюють очищення, видалення кісточок, насінневих камер, плодоніжок, оболонки та інших неїстівних частин. Важливим показником є коефіцієнт використання сировини. Надмірне очищення може призвести до втрати значної кількості їстівної частини продукції.

Подрібнення забезпечує необхідну структуру матеріалу для подальшого пресування, протирання, теплової обробки або концентрування. Енергоспоживання подрібнення залежить від властивостей сировини, продуктивності та ступеня подрібнення.

Основні енергетичні споживачі

На підприємствах найбільшими споживачами енергії можуть бути:

- сушильні установки;
- холодильні та морозильні системи;
- випарні установки;
- пастеризатори та стерилізатори;
- насоси;
- вентилятори;
- компресори;
- дробарки;
- протиральні машини;
- транспортери;
- пакувальне обладнання.

Тому під час модернізації підприємства необхідно визначати енергетичний баланс окремих технологічних операцій і встановлювати найбільш енергоємні ділянки.

Загальна мета енергоефективної технології полягає у тому, щоб отримати необхідну кількість якісної продукції з мінімальними витратами енергії, води та сировини.

2. Енергоефективні технології підготовки та переробки плодоовочевої сировини

Підготовка сировини є основою стабільної роботи всієї технологічної лінії. Якщо сировина надходить нерівномірно очищеною, має різну вологість, розміри або ступінь стиглості, це негативно впливає на подальші процеси.

Енергоефективна підготовка передбачає не максимальну інтенсивність окремої операції, а оптимальне поєднання якості обробки та витрат ресурсів.

Оптимізація сортування

Сортування повинно забезпечувати видалення непридатної сировини з мінімальними втратами якісної продукції.

На невеликих підприємствах сортування часто виконується вручну, однак воно потребує значних трудових витрат і не завжди забезпечує однакову якість контролю. Автоматизовані сортувальні системи дозволяють підвищити продуктивність і стабільність процесу. Використання камер машинного зору та оптичних датчиків дає можливість автоматично визначати дефекти, зміну кольору, розмір та форму плодів.

Енергоефективність сортувального обладнання залежить від його продуктивності та правильного завантаження. Робота машин із суттєво нижчою продуктивністю, ніж передбачено конструкцією, може бути економічно недоцільною.

Раціоналізація процесу миття

Основним ресурсом під час миття є вода. Тому одним із найважливіших завдань є зменшення її питомої витрати.

Використання форсунок із оптимізованим тиском, систем регулювання витрати та повторного використання води дозволяє суттєво зменшити загальний обсяг водоспоживання.

Раціонально організовувати миття за принципом послідовного використання води: найбільш чиста вода подається на завершальну стадію, а після відповідної підготовки може використовуватися для попереднього миття.

Важливим є контроль ступеня забруднення води. Постійна подача свіжої води без урахування її фактичного стану є нераціональною.

Енергоефективне очищення

Очищення плодів та овочів повинно забезпечувати мінімальну товщину шару, який видаляється. Наприклад, під час очищення коренеплодів надмірне зняття поверхневого шару призводить до втрати частини харчової сировини. Оптимізація режиму роботи ножів, абразивних поверхонь або інших робочих органів дозволяє зменшити втрати.

Своєчасне обслуговування робочих органів також має енергетичне значення. Затуплені ножі або зношені робочі поверхні збільшують механічний опір і потребу в електричній енергії.

Енергоефективне подрібнення

Під час подрібнення потрібно отримати необхідну структуру сировини, не витрачаючи надлишкову енергію.

Збільшення ступеня подрібнення не завжди пропорційно підвищує якість готового продукту. Надмірне подрібнення може збільшувати енергоспоживання, нагрівання продукту та зношування робочих органів. Тому необхідно визначати оптимальний розмір частинок відповідно до наступної технологічної операції.

Для регулювання продуктивності дробарок, млинів, насосів та інших машин доцільно застосовувати частотно-регульовані приводи.

Енергоефективне пресування

Під час виробництва соків важливе значення має ефективність вилучення рідкої фази з подрібненої сировини. Преси повинні забезпечувати високий вихід соку при мінімальному споживанні електроенергії. Важливими параметрами є ступінь подрібнення, тиск пресування, тривалість процесу та продуктивність. Надмірне підвищення тиску може збільшити енергоспоживання та кількість небажаних твердих частинок у соку. Тому режим пресування повинен підбиратися залежно від виду сировини.

Бланшування

Бланшування використовують для підготовки овочів та деяких фруктів перед заморожуванням, консервуванням або іншими видами переробки. Енергетичні витрати залежать від температури води або пари, тривалості обробки та продуктивності.

Автоматичне регулювання температури дозволяє уникати перегрівання. Використання теплообмінників і повторне використання теплової енергії зменшують потребу в первинному теплоносії.

Ефективність насосного обладнання

Насоси широко використовуються для транспортування соків, пюре, води, мийних розчинів та інших рідин.

Енергоспоживання насосної системи залежить не тільки від коефіцієнта корисної дії насоса, а й від гідравлічного опору

трубопроводів, довжини комунікацій, діаметра труб та режиму регулювання. Застосування частотного регулювання часто є ефективнішим за постійне дроселювання потоку, оскільки дозволяє регулювати продуктивність насоса без зайвих гідравлічних втрат.

Оптимізація транспортування

Внутрішнє переміщення сировини та напівфабрикатів також потребує ресурсів. Транспортні системи повинні мати мінімально необхідну довжину та бути правильно узгоджені з продуктивністю обладнання.

Надмірна кількість перевантажень збільшує механічні пошкодження продукції та енергоспоживання. Тому конструювання обладнання повинно передбачати максимально прямий і короткий рух матеріалу. Отже, енергоефективна підготовка плодоовочевої сировини ґрунтується на точному регулюванні процесів, скороченні втрат, оптимізації використання води, застосуванні сучасних електроприводів і забезпеченні узгодженої роботи всіх машин технологічної лінії.

3. Ресурсоощадні технології сушіння, заморожування та теплової обробки продукції

Теплові та холодильні процеси є одними з найбільш енергоємних операцій на підприємствах плодоовочевої промисловості. До них належать сушіння, пастеризація, стерилізація, бланшування, випарювання, охолодження та заморожування. Ефективність цих процесів значною мірою визначає загальне енергоспоживання підприємства.

Сушіння

Сушіння полягає у видаленні вологи з продукції до рівня, який забезпечує її стабільність під час зберігання.

Воно застосовується для яблук, груш, слив, ягід, моркви, цибулі, буряка, зелені та іншої продукції.

Процес потребує значної кількості теплоти, оскільки необхідно нагріти продукт і повітря та забезпечити випаровування води.

Основними параметрами є температура теплоносія, швидкість його руху, відносна вологість повітря, товщина шару продукції та тривалість сушіння.

Енергоефективне сушіння передбачає оптимальне поєднання цих параметрів. Підвищення температури може прискорити процес, але водночас збільшити енергетичні витрати та негативно вплинути на якість продукції.

Важливим напрямом є ступінчасте сушіння, за якого параметри теплоносія змінюються відповідно до поточного вологовмісту продукту. На початковій стадії, коли вологи багато, процес може відбуватися інтенсивніше. На завершальній стадії інтенсивність нагрівання зменшують, щоб уникнути пересушування.

Рециркуляція повітря

Використання частини відпрацьованого теплого повітря повторно дозволяє зменшити витрати теплоти.

При цьому необхідно контролювати вологість рециркуляційного повітря. Надмірна рециркуляція може знизити рушійну силу процесу сушіння.

Оптимальне співвідношення свіжого та рециркуляційного повітря може встановлюватися автоматично залежно від температури та вологості.

Рекуперація теплоти сушарок

Тепло відпрацьованого повітря може передаватися свіжому повітрю через теплообмінник.

Наприклад, гарячий відпрацьований потік із сушарки нагріває холодне повітря, яке надходить до теплогенератора. У результаті теплогенератору потрібно витратити менше палива для досягнення заданої температури.

Цей захід дозволяє зменшити теплові втрати без зміни основної технології.

Заморожування

Заморожування дозволяє тривалий час зберігати овочі, ягоди та фрукти без істотного погіршення їх властивостей.

Процес потребує видалення значної кількості теплоти, тому холодильні установки є великими споживачами електроенергії.

Ефективність заморожування залежить від температури продукту перед заморожуванням, швидкості процесу, температури холодоагенту, завантаження установки та теплоізоляції.

Перед заморожуванням доцільно попередньо охолоджувати продукцію, якщо це технологічно виправдано. Це зменшує теплове навантаження на морозильне обладнання.

Швидке заморожування

Швидке заморожування забезпечує утворення дрібніших кристалів льоду, що сприяє кращому збереженню структури тканин.

Однак збільшення швидкості заморожування може потребувати більшої холодопродуктивності. Тому необхідно визначити економічно та технологічно обґрунтований режим.

Енергоефективне холодильне обладнання

Значну роль відіграє регулювання роботи компресорів. Компресор не повинен постійно працювати на максимальній потужності, якщо фактичне теплове навантаження є нижчим.

Застосування регульованих компресорів, автоматичного контролю температури, ефективних теплообмінників та якісної теплоізоляції дозволяє зменшити електроспоживання.

Необхідно також регулярно очищати теплообмінні поверхні від забруднень. Накопичення забруднень погіршує теплопередачу та змушує компресор працювати з більшим навантаженням.

Пастеризація

Пастеризація використовується для забезпечення мікробіологічної стабільності соків, пюре, соусів та інших продуктів.

Основними параметрами є температура і тривалість теплової обробки. Недостатня температура або тривалість можуть не забезпечити необхідного ефекту, тоді як надмірна обробка збільшує витрати енергії та може погіршувати якість продукту.

Енергоефективні пастеризатори оснащуються теплообмінниками, які забезпечують передачу теплоти між гарячим і холодним продуктом.

Рекуперація під час пастеризації

Гарячий пастеризований продукт, який виходить із системи, передає частину теплоти холодному продукту, що надходить на обробку. Таким чином, одна й та сама теплова енергія використовується декілька разів. Це дозволяє суттєво зменшити витрати пари або іншого теплоносія.

Стерилізація

Стерилізація використовується для консервованої продукції та передбачає більш інтенсивну теплову обробку.

Оскільки процес є енергоємним, особливого значення набувають автоматичне регулювання температури, контроль тиску, оптимізація тривалості процесу та рекуперація теплоти.

Концентрування

Під час виробництва концентрованих соків і пюре видаляється частина води. Випарювання може потребувати великої кількості пари. Зниження витрат енергії забезпечується використанням багатокорпусних випарних установок, вторинної пари, теплообмінників та теплових насосів.

У багатоступеневих системах пара, що утворилася на одному етапі, використовується для нагрівання на іншому. Це підвищує коефіцієнт використання теплоти. Таким чином, ресурсоощадні теплові технології повинні забезпечувати не тільки необхідний технологічний результат, а й максимально повне використання теплової енергії.

4. Автоматизація, енергоефективне обладнання та рекуперація енергії

Автоматизація є одним із основних напрямів модернізації підприємств плодоовочевої переробки. Велика кількість взаємопов'язаних технологічних операцій потребує постійного контролю та координації.

Ручне регулювання не завжди дозволяє швидко реагувати на зміну параметрів сировини, тому сучасні підприємства використовують автоматизовані системи управління.

Основні функції автоматизації

Автоматизовані системи забезпечують:

- вимірювання технологічних параметрів;
- автоматичне регулювання;
- контроль продуктивності;
- керування електроприводами;
- контроль температури;
- контроль вологості;

контроль тиску;
контроль рівня;
контроль витрати води та теплоносія;
аварійний захист;
облік енергоспоживання.

Сигнали від датчиків надходять до контролерів, які порівнюють фактичні значення із заданими та формують команди для виконавчих механізмів.

Автоматизація сушіння

У сушильній установці можуть контролюватися температура повітря, його вологість, швидкість руху та кінцева вологість продукції. Якщо вологість продукції досягає заданого рівня, система автоматично зменшує подачу теплоносія або змінює режим вентиляції. Це дозволяє уникати пересушування та скорочувати витрати енергії.

Автоматизація холодильних систем

Холодильна система може автоматично регулювати роботу компресорів відповідно до температури в камері.

За зниження теплового навантаження продуктивність холодильної машини зменшується. При збільшенні навантаження система збільшує холодопродуктивність.

Такий режим є ефективнішим порівняно з постійною роботою обладнання на максимальній потужності.

Частотно-регульовані електроприводи

Частотно-регульовані приводи дозволяють регулювати швидкість електродвигунів. Їх доцільно застосовувати для насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів, дробарок та інших машин. Основними перевагами є плавний запуск, зменшення пускових навантажень, регулювання продуктивності та можливість роботи відповідно до фактичної потреби.

Наприклад, якщо кількість сировини на транспортері зменшується, частота обертання привода може автоматично знижуватися.

Енергоефективні двигуни

Заміна застарілих електродвигунів на сучасні двигуни з підвищеною енергоефективністю дозволяє зменшити втрати електроенергії.

Водночас важливо правильно вибрати потужність двигуна. Надмірно потужний двигун може працювати з низьким навантаженням, а недостатньо потужний – із перевантаженням.

Енергомоніторинг

Енергетичний моніторинг передбачає постійний збір інформації про споживання ресурсів.

На підприємстві можна встановлювати окремі лічильники електроенергії для холодильних установок, сушарок, насосних станцій, компресорів та основних технологічних машин.

Це дозволяє визначити найбільш енергоємні процеси та порівнювати фактичні витрати з нормативними або плановими.

Основним показником є питомі витрати енергії:

$$q_e = E / M,$$

де q_e – питомі витрати енергії;

E – спожита енергія;

M – маса переробленої сировини.

Рекуперація теплової енергії

Рекуперація полягає у поверненні частини теплової енергії, яка в іншому випадку була б втрачена.

Основними джерелами вторинної теплоти є відпрацьоване повітря сушарок, гаряча вода, конденсат, вторинна пара, гарячий продукт після пастеризації та теплота холодильних установок.

Теплообмінники забезпечують передачу теплоти від гарячого потоку холодному.

Використання теплоти холодильних установок

Холодильна машина відводить теплоту від продукції та передає її навколишньому середовищу через конденсатор.

Замість простого скидання цієї теплоти її можна використовувати для підігрівання технологічної або санітарної води.

Таким чином, одна система одночасно забезпечує охолодження продукції та часткове покриття потреб підприємства в гарячій воді.

Рекуперація конденсату

Конденсат, який утворюється після використання пари, може мати значну температуру. Його повернення в систему теплопостачання дозволяє зменшити витрати води та палива на повторне нагрівання.

Повернення конденсату також зменшує навантаження на котельне обладнання.

Теплова ізоляція

Втрати теплоти через поверхні обладнання та трубопроводи можуть бути значними.

Тому сушильні камери, трубопроводи пари, теплообмінники та резервуари необхідно якісно ізолювати.

Холодильні камери також потребують надійної теплоізоляції, але в цьому випадку її призначенням є запобігання надходженню теплоти з навколишнього середовища.

Цифрове управління

Наступним етапом розвитку є цифровізація технологічних процесів. Система може накопичувати дані про температуру, продуктивність, енергоспоживання, вологість та якість продукції.

Аналіз цих даних дозволяє визначати оптимальні режими та виявляти відхилення.

Перспективним напрямом є прогнозування технічного стану обладнання. За зміною споживання електроенергії або вібрації можна виявити ознаки зношування підшипників, насосів, двигунів та інших вузлів ще до виникнення аварії.

Таким чином, автоматизація поступово перетворюється з простого засобу керування на інструмент комплексної оптимізації технологічного процесу.

5. Комплексне використання сировини, утилізація відходів та оцінювання ресурсоефективності

Підприємства плодоовочевої промисловості утворюють значну кількість органічних побічних продуктів. Їх кількість залежить від виду сировини та технології переробки.

До основних відходів належать шкірка, насіння, кісточки, плодоніжки, вичавки, м'якоть, відбракування та залишки після очищення.

Традиційний підхід передбачає видалення цих матеріалів як відходів. Сучасна ресурсоощадна концепція передбачає їх максимально можливе використання.

Комплексне використання сировини

Основний принцип полягає у тому, щоб із тієї самої кількості сировини отримати максимальну кількість корисних продуктів.

Наприклад, під час виробництва соку основним продуктом є сік, але вичавки можуть бути використані для отримання пектину, харчових волокон, порошоків або кормових продуктів.

Таким чином, відходи перетворюються на вторинну сировину.

Використання плодоовочевих вичавок

Вичавки утворюються при пресуванні фруктів та овочів.

Вони містять значну кількість органічних речовин, клітковину, пектинові компоненти, мінеральні речовини та інші цінні сполуки.

Після сушіння та подрібнення їх можна використовувати для виробництва порошоків або як компонент харчових продуктів.

Частину вичавок можна направляти на кормові цілі, якщо їх склад та безпечність відповідають установленим вимогам.

Насіння та кісточки

Насіння деяких культур може використовуватися як цінна вторинна сировина.

Із насіння можна вилучати олію, отримувати біологічно активні речовини або використовувати його для інших видів переробки.

Кісточки можуть бути використані як біопаливо після відповідної підготовки. Висока температура згоряння деяких видів рослинних залишків робить їх перспективним джерелом енергії.

Використання органічних відходів для виробництва біогазу

Органічні залишки можуть перероблятися методом анаеробного зброджування.

У процесі утворюється біогаз, основним енергетичним компонентом якого є метан.

Біогаз може використовуватися для виробництва теплової енергії, електроенергії або комбінованого виробництва тепла та електроенергії. Залишковий продукт після зброджування може використовуватися як органічне добриво за умови дотримання відповідних вимог.

Компостування

Органічні залишки, які не мають доцільного харчового або кормового використання, можуть спрямовуватися на компостування.

У результаті утворюється органічний матеріал, який може використовуватися для покращення властивостей ґрунту.

Це дозволяє зменшити обсяги відходів, що направляються на захоронення.

Раціональне використання води

Вода використовується на підприємствах для миття сировини, охолодження, бланшування, пастеризації, санітарного очищення обладнання та інших операцій. Водозбереження передбачає комплекс заходів, спрямованих на раціональне використання водних ресурсів у технологічних процесах. Воно включає зменшення витрат води на одиницю продукції, повторне використання технологічної води та застосування оборотних або замкнених систем водопостачання. Важливими складовими є очищення технологічної води для її подальшого використання, автоматичне регулювання витрати води, постійний контроль і своєчасне виявлення витоків. Ефективному водозбереженню також сприяє розділення потоків води за ступенем забруднення, що дає змогу спрямовувати воду на повторне використання відповідно до необхідної якості та технологічних вимог.

Важливо відокремлювати воду, яка потребує високої якості, від потоків, де можна використовувати воду після попередньої підготовки.

Очищення стічних вод

Стічні води підприємств можуть містити органічні речовини, залишки плодів та овочів, цукри, пектини, мінеральні домішки та мийні засоби. Очищення може включати механічну, фізико-хімічну та біологічну стадії.

На першій стадії видаляють великі частинки органічного матеріалу. Далі можуть використовуватися відстоювання, флотація та біологічні методи. Високий вміст органічних речовин у стоках водночас є проблемою та потенційним енергетичним ресурсом. За відповідної технології їх можна використовувати для виробництва біогазу.

Зменшення втрат сировини

Ресурсоефективність починається не з утилізації відходів, а із запобігання їх утворенню. Для цього необхідно правильно організувати транспортування та зберігання продукції, запобігати механічним пошкодженням, оптимізувати режими очищення та контролювати втрати на кожній технологічній операції.

Особливе значення має правильне налаштування ножів, сит, пресів, дробарок та протиральних машин.

Оцінювання ресурсоефективності

Для оцінювання ефективності технологічного процесу використовують комплекс показників.

Продуктивність:

$$Q = M / t,$$

де Q – продуктивність, т/год;

M – маса переробленої сировини, т;

t – тривалість роботи, год.

Питомі витрати енергії:

$$q_e = E / M,$$

де q_e – питомі витрати енергії, кВт·год/т або МДж/т;

E – кількість спожитої енергії;

M – маса переробленої сировини.

Вихід готової продукції:

$$\eta = M_p / M_s \times 100 \%,$$

де η – вихід готової продукції, %;

M_p – маса отриманої продукції;

M_s – маса переробленої сировини.

Питомі витрати води:

$$q_v = V / M,$$

де q_v – питомі витрати води, $\text{м}^3/\text{т}$;

V – об'єм використаної води, м^3 ;

M – маса переробленої сировини, т.

Для оцінювання використання сировини може визначатися частка корисно використаних компонентів:

$$K_u = M_u / M_s \times 100 \%,$$

де K_u – коефіцієнт використання сировини;

M_u – маса основної та корисно використаної побічної продукції;

M_s – маса вихідної сировини.

Чим вищим є цей показник, тим повніше підприємство використовує сировинний потенціал.

Економічна оцінка

Ресурсозбереження повинно мати не тільки технологічний, а й економічний ефект. Економія електроенергії, води, палива та сировини безпосередньо впливає на собівартість продукції.

При цьому необхідно враховувати витрати на придбання та встановлення нового обладнання. Наприклад, рекупераційна система може потребувати значних початкових інвестицій, але за рахунок економії теплоти забезпечувати окупність протягом певного періоду. Тому рішення щодо модернізації повинні прийматися на основі комплексного техніко-економічного аналізу.

Екологічна ефективність

Ресурсоощадні технології одночасно зменшують екологічне навантаження. Зниження споживання палива призводить до скорочення викидів парникових газів, зменшення водоспоживання – до скорочення обсягів стічних вод, а комплексна переробка органічних відходів – до зменшення їх накопичення.

Таким чином, енергетична, економічна та екологічна ефективність підприємства є взаємопов'язаними.

Комплексна система ресурсозбереження

Найбільш ефективним є поєднання декількох напрямів: зменшення втрат сировини → скорочення водоспоживання → оптимізація електроспоживання → зниження теплових втрат → рекуперація енергії → повторне використання води → переробка побічних продуктів → виробництво енергії з органічних відходів → автоматизований контроль.

Такий підхід відповідає принципам циркулярного виробництва, за якого відходи одного процесу стають ресурсом для іншого. Енергоефективні та ресурсощадні технології підприємств з переробки плодоовочевої продукції повинні охоплювати всі стадії виробничого процесу – від приймання сировини до зберігання готової продукції та переробки побічних продуктів.

Основними напрямками підвищення ефективності є оптимізація сортування, миття та механічної підготовки сировини, скорочення втрат продукції, раціональне використання води, удосконалення сушіння, заморожування, пастеризації, стерилізації та концентрування.

Важливе значення мають автоматизація технологічних процесів, використання частотно-регульованих приводів, сучасних електродвигунів, автоматизованого енергомоніторингу та систем рекуперації теплоти.

Значний ресурсний потенціал має комплексне використання побічних продуктів. Вичавки, насіння, кісточки, шкірка та інші органічні залишки можуть використовуватися для виробництва харчових продуктів, кормів, біопалива, біогазу, органічних добрив та іншої продукції.

Отже, сучасне плодоовочеве підприємство повинно розглядатися як комплексна енергетична та матеріальна система, у якій сировина, вода, теплота, електроенергія та побічні продукти максимально ефективно використовуються на різних стадіях виробництва.

Основним критерієм ефективності є не просто зменшення споживання окремого ресурсу, а зниження сумарних витрат ресурсів на одиницю якісної готової продукції при одночасному підвищенні продуктивності, економічної та екологічної ефективності підприємства.

Контрольні питання

1. Що являє собою підприємство з переробки плодоовочевої продукції як виробничо-технологічна система?
2. Які основні технологічні операції входять до типових схем переробки плодоовочевої сировини?
3. Які технологічні процеси на підприємствах з переробки плодоовочевої продукції є найбільш енергоємними?
4. Які заходи дозволяють зменшити витрати води під час миття та підготовки плодоовочевої сировини?
5. У чому полягають основні принципи енергоефективного сушіння плодоовочевої продукції?
6. Які способи підвищення енергоефективності застосовують під час заморожування, пастеризації та стерилізації продукції?
7. Яку роль відіграють автоматизація та частотно-регульовані електроприводи в підвищенні енергоефективності переробних підприємств?
8. Які види вторинної теплоти можуть бути використані та які технології рекуперації енергії застосовують на підприємствах?
9. Які побічні продукти та відходи утворюються під час переробки плодоовочевої сировини і як їх можна використовувати?
10. Які основні показники застосовують для оцінювання енергоефективності та ресурсоощадності підприємств з переробки плодоовочевої продукції?

Лекція 8. Енергоефективні та ресурсощадні технології тваринницьких підприємств

1. Загальна характеристика та технологічні системи тваринницьких підприємств

Тваринницькі підприємства є важливою складовою агропромислового виробництва, оскільки забезпечують населення та переробну промисловість молоком, м'ясом, яйцями та іншою продукцією. Сучасне тваринницьке виробництво являє собою складну виробничо-технологічну систему, у якій одночасно функціонує значна кількість машин, механізмів, інженерних комунікацій, систем автоматичного керування та допоміжного обладнання. На відміну від окремої машини, підприємство характеризується великою кількістю взаємопов'язаних технологічних процесів, які повинні бути узгоджені за часом, продуктивністю та параметрами роботи.

Основними видами тваринницьких підприємств є молочні та м'ясні ферми великої рогатої худоби, свинарські комплекси, птахофабрики, вівчарські та козівницькі ферми, підприємства з вирощування молодняку та спеціалізовані комплекси. Для кожного виду виробництва характерні власні технологічні схеми, однак більшість із них включає спільні процеси: приймання та підготовку кормів, зберігання кормових компонентів, приготування кормосумішей, транспортування і роздавання кормів, водопостачання та напування, утримання тварин, забезпечення мікроклімату, прибирання приміщень, видалення гною, доїння або інші операції отримання продукції, первинне охолодження та зберігання продукції.

Технологічну систему тваринницького підприємства можна представити як сукупність взаємопов'язаних потоків матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів. До підприємства надходять корми, вода, електрична і теплова енергія, паливо, технологічні матеріали, ветеринарні препарати та інші ресурси. У результаті функціонування системи утворюється основна продукція, а також побічні продукти та органічні відходи.

Загальна модель виробничого процесу може бути представлена у вигляді: корми + вода + енергія + трудові ресурси + інформація → технологічні процеси → тварини → продукція + побічні продукти + відходи.

При цьому важливо розуміти, що енергія витрачається практично на кожному етапі виробництва. Електроенергія використовується для роботи кормоприготувальних машин, транспортерів, насосів, вентиляторів, доїльних установок, холодильного обладнання, систем освітлення та автоматичного керування. Теплова енергія необхідна для опалення, підігрівання води, сушіння окремих матеріалів, санітарної обробки обладнання та інших технологічних операцій.

Одним із ключових завдань сучасного тваринницького підприємства є забезпечення високої продуктивності при мінімальних питомих витратах ресурсів. При цьому скорочення споживання енергії або води не повинно призводити до погіршення умов утримання тварин. Навпаки, правильно організована система ресурсозбереження повинна одночасно забезпечувати комфорт тварин, високу продуктивність, безпечність продукції та економічну ефективність.

Особливістю тваринницького виробництва є його безперервність або циклічність. Тварини потребують корму, води та відповідного мікроклімату незалежно від пори року та часу доби. Вентиляційні системи, системи напування, охолодження, освітлення та інше обладнання можуть працювати протягом тривалого часу. Тому навіть невеликі втрати ресурсів у кожній окремій операції при їх постійному повторенні формують значні річні витрати.

Наприклад, якщо вентилятор має дещо вищу потужність, ніж необхідно для фактичного повітрообміну, то різниця в споживанні електроенергії протягом однієї години може бути незначною. Проте при цілодобовій роботі та одночасній експлуатації десятків вентиляторів річні витрати стають суттєвими. Аналогічно витік води через несправну напувалку або трубопровід може бути

малопомітним протягом дня, але за місяці експлуатації призводить до значних втрат води та збільшення обсягів стічних вод.

Важливим елементом технологічної системи є кормове господарство. Корм повинен бути прийнятий, очищений, подрібнений, змішаний, дозований і своєчасно доставлений до місця годівлі. Кожна з цих операцій потребує певних енергетичних витрат. Тому ефективність кормової системи необхідно оцінювати не тільки за продуктивністю машин, але й за питомим енергоспоживанням на одиницю корму.

Суттєве значення має система видалення гною. Вона повинна забезпечувати санітарний стан приміщень, не створювати надмірних навантажень на тварин і персонал та працювати з мінімальними витратами енергії. Раціональна організація цієї системи одночасно сприяє зменшенню викидів шкідливих газів, скороченню забруднення навколишнього середовища та отриманню вторинної сировини для виробництва біогазу або органічних добрив.

Важливим показником є узгодження продуктивності окремих технологічних ланок. Якщо кормороздавач має високу продуктивність, але транспортна система працює повільніше, виникають простой. Якщо вентиляція має надлишкову продуктивність, зростає споживання електроенергії. Якщо система видалення гною працює частіше, ніж це необхідно, збільшуються витрати електроенергії та зношування механізмів.

Отже, енергоефективність тваринницького підприємства необхідно розглядати як системну характеристику. Вона залежить від конструкції будівель, технології утримання, типу обладнання, режимів його роботи, автоматизації, стану інженерних мереж, кваліфікації персоналу та організації виробничого процесу.

Основними напрямками підвищення ефективності є зменшення непродуктивних втрат енергії, застосування енергоощадних електроприводів, автоматичне регулювання продуктивності машин, теплоізоляція будівель і трубопроводів, рекуперація теплоти, повторне використання води, оптимізація кормових ресурсів та перетворення органічних відходів на корисні ресурси.

Таким чином, сучасне тваринницьке підприємство доцільно розглядати не як сукупність окремих машин і приміщень, а як інтегровану виробничо-технологічну систему, у якій усі потоки ресурсів повинні бути оптимально узгоджені.

2. Енергоефективні технології утримання тварин та забезпечення мікроклімату

Забезпечення оптимального мікроклімату є однією з найважливіших умов ефективного тваринництва. Мікроклімат безпосередньо впливає на здоров'я, продуктивність, відтворювальні характеристики та загальний фізіологічний стан тварин. До основних параметрів мікроклімату належать температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря, концентрація вуглекислого газу, аміаку, сірководню та інших забруднювачів.

Невідповідність мікроклімату нормативним вимогам може призводити до зниження продуктивності тварин, збільшення захворюваності та погіршення якості продукції. Тому енергоефективність не повинна досягатися шляхом простого зменшення вентиляції або опалення. Основне завдання полягає у підтриманні необхідних параметрів мікроклімату з мінімальними енергетичними витратами.

У зимовий період основними споживачами теплової енергії є системи опалення та вентиляції. Частина тепла втрачається через стіни, дах, підлогу, вікна, двері, ворота та інші огорожувальні конструкції. Значні втрати можуть виникати через щілини та нещільності, особливо при частому відкриванні воріт.

Першим заходом енергозбереження має бути зменшення теплових втрат будівлі. Для цього застосовують теплоізоляційні матеріали, утеплюють покрівлю, стіни та трубопроводи, використовують герметичні двері та ворота. Особливу увагу слід приділяти місцям стику будівельних конструкцій, через які можуть виникати локальні теплові втрати.

Важливу роль відіграє вентиляція. Її основна функція полягає у видаленні надлишкової вологи, тепла, вуглекислого газу, аміаку, пилу та інших домішок. При цьому надмірний повітрообмін

призводить до необґрунтованих енергетичних витрат, особливо в зимовий період.

Традиційна вентиляційна система часто працює за принципом постійної продуктивності. Однак потреба у повітрообміні змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, кількості тварин, їх віку, продуктивності та технологічного режиму. Тому більш ефективними є системи з автоматичним регулюванням продуктивності.

Для цього використовують датчики температури, вологості, концентрації газів та інші вимірювальні пристрої. Отримана інформація передається до контролера, який порівнює фактичні значення із заданими та формує керуючий сигнал для вентиляторів, клапанів, нагрівальних або охолоджувальних систем.

Схема автоматичного регулювання може мати вигляд:

датчики → контролер → виконавчі механізми → вентиляція/опалення/охолодження → мікроклімат → датчики.

Таким чином утворюється замкнений контур регулювання з негативним зворотним зв'язком.

Значний ефект забезпечує використання частотно-регульованих електроприводів вентиляторів. Замість роботи двигуна на постійній частоті та регулювання повітряного потоку дроселюванням можна змінювати частоту обертання вентилятора відповідно до фактичної потреби.

Особливо актуальним є застосування автоматичного керування у птахівництві та свинарстві, де висока концентрація тварин створює значні теплові та газові навантаження. У таких приміщеннях навіть невелика зміна температури або вологості може швидко змінюватися, тому ручне регулювання часто є недостатньо оперативним.

У зимовий період перспективним напрямом є використання систем рекуперації теплоти. Тепле відпрацьоване повітря перед виходом із приміщення передає частину теплоти холодному припливному повітрю. У результаті зменшується теплова потужність, необхідна для нагрівання припливного повітря.

Рекуперація особливо ефективна у підприємствах із великим обсягом вентиляційного повітря. Однак ефективність теплообмінників залежить від їх конструкції, чистоти поверхонь, вологості та температури повітря.

У літній період основною проблемою стає перегрівання тваринницьких приміщень. Висока температура може спричиняти тепловий стрес, зниження споживання корму та продуктивності тварин. Для запобігання цьому застосовують посилення вентиляції, повітряне та випарне охолодження, розпилення води та інші технології.

При цьому охолодження також повинно бути енергоефективним. Недоцільно підтримувати максимальну продуктивність вентиляторів у періоди, коли температурне навантаження невисоке. Автоматична система повинна змінювати інтенсивність охолодження залежно від фактичної температури.

Окремим напрямом є енергоефективне освітлення. Тривале використання традиційних джерел світла може формувати значну частину електричних витрат. Використання світлодіодних світильників дозволяє зменшити споживання електроенергії та підвищити строк експлуатації освітлювального обладнання.

Автоматизація освітлення може здійснюватися відповідно до заданого технологічного режиму, часу доби або фактичного рівня природної освітленості. У допоміжних приміщеннях доцільне застосування датчиків руху.

Важливе значення має вибір технології утримання тварин. Конструкція приміщення, тип підлоги, система видалення гною, розміщення годівниць та напувалок повинні сприяти природній поведінці тварин і одночасно забезпечувати ефективну механізацію.

Зменшення ручної праці також має енергетичний та економічний ефект, оскільки механізовані операції можуть виконуватися швидше та стабільніше. Однак механізація повинна бути технологічно обґрунтованою. Надмірна кількість механізмів збільшує капітальні та експлуатаційні витрати.

Таким чином, енергоефективне утримання тварин ґрунтується на поєднанні теплоізоляції, оптимальної вентиляції, автоматичного регулювання, рекуперації теплоти, ефективного освітлення та раціональної організації технологічного простору.

3. Ресурсоощадні технології годівлі, водопостачання та видалення відходів

Корм є одним із найбільш значущих ресурсів у тваринницькому виробництві. Вартість кормів часто становить значну частину загальних витрат підприємства, тому раціональне використання кормових ресурсів безпосередньо визначає економічну ефективність виробництва.

Ресурсоощадна годівля передбачає забезпечення тварин необхідною кількістю поживних речовин при мінімальних втратах корму. Для цього необхідно правильно формувати раціони, забезпечувати точне дозування компонентів, якісне змішування та своєчасну роздачу корму.

Приготування кормів може включати подрібнення, дозування, змішування, термічну або іншу обробку. Кожна операція потребує енергії. Тому необхідно уникати надмірного подрібнення, тривалого змішування та холостої роботи обладнання.

Наприклад, надмірне подрібнення кормових компонентів може не давати додаткового технологічного ефекту, але збільшувати споживання електроенергії, зношування робочих органів та час технологічного циклу. Тому ступінь подрібнення повинен відповідати вимогам конкретного раціону.

Дозування кормів є важливою складовою ресурсоощадності. Навіть невеликі відхилення при багаторазовому приготуванні кормосумішей можуть накопичуватися і призводити до значної перевитрати окремих компонентів. Застосування електронних вагових систем і автоматичних дозаторів дозволяє підвищити точність.

Сучасні кормороздавачі можуть обладнуватися системами контролю маси корму, швидкості руху, продуктивності та залишків.

Це дозволяє адаптувати подачу корму до кількості тварин та фактичної потреби.

Не менш важливим є зменшення втрат корму безпосередньо в зоні годівлі. Конструкція годівниць повинна мінімізувати висипання та розкидання корму. Необхідно регулярно контролювати технічний стан кормороздавачів і годівниць.

Водопостачання є другим важливим напрямом ресурсозбереження. Вода використовується для напування тварин, миття приміщень та обладнання, санітарної обробки, охолодження, приготування кормів та інших технологічних операцій.

Для напування найбільш доцільно застосовувати автоматичні напувалки. Вони забезпечують доступ тварин до води та зменшують потребу в ручному контролі. При цьому напувалки повинні бути правильно підібрані за продуктивністю та встановлені відповідно до виду та віку тварин.

Надмірна продуктивність напувалки може збільшувати втрати води. Якщо тиск у системі занадто високий, вода може розбризкуватися, потрапляти на підлогу та збільшувати витрати на прибирання. Тому регулювання тиску є важливим елементом ресурсозбереження.

Потрібно регулярно перевіряти трубопроводи, з'єднання, клапани та напувалки на наявність витоків. Для великих підприємств доцільне встановлення лічильників води для окремих технологічних зон. Важливим показником є питоме водоспоживання:

$$q_v = V / M,$$

де V – обсяг використаної води, м^3 ; M – кількість виробленої продукції, т.

Порівняння цього показника за різні періоди дозволяє оцінити ефективність заходів із водозбереження.

Значний потенціал має повторне використання води. Вода після окремих технологічних операцій може після відповідної підготовки використовуватися для менш відповідальних процесів. Наприклад, вода після попереднього миття може бути використана повторно там, де не потрібна вода високої якості.

Особливо ефективними є системи миття високого тиску. Вони дозволяють зменшити витрати води порівняно з традиційним миттям при одночасному скороченні тривалості операції.

Окрему увагу необхідно приділяти системам видалення гною. Органічні відходи утворюються постійно, тому їх накопичення негативно впливає на санітарний стан підприємства та може створювати екологічні ризики.

Системи видалення гною можуть бути механічними, гідравлічними або комбінованими. До механічних належать скребкові транспортери, шнеки та інші механізми. Вибір системи залежить від типу тварин, технології утримання, конструкції підлоги та властивостей гною.

Енергоефективність видалення гною залежить від правильного вибору продуктивності обладнання. Машина не повинна бути надмірно потужною порівняно з фактичним обсягом роботи. Автоматичне включення за графіком або за сигналом датчика накопичення дозволяє зменшити холосту роботу.

Важливо також зменшувати кількість води, яка потрапляє до гною. Чим більше води змішується з органічними відходами, тим більший їх обсяг необхідно зберігати, транспортувати та переробляти.

Тому сухі системи видалення гною в багатьох випадках дозволяють зменшити витрати на подальше поводження з відходами. Крім того, отриманий матеріал має вищу концентрацію органічної речовини та може бути ефективніше використаний для компостування або анаеробного зброджування.

Ресурсоощадність охоплює також використання підстилки. Надмірна кількість підстилкового матеріалу збільшує витрати, а недостатня – погіршує санітарні умови. Тому необхідно оптимізувати норму внесення залежно від виду матеріалу, системи утримання та вологості.

Таким чином, ресурсоощадні технології годівлі, водопостачання та видалення відходів передбачають точне

дозування, контроль витрат, автоматизацію, зменшення витрат і максимальне використання вторинних ресурсів.

4. Автоматизація технологічних процесів, енергоефективне обладнання та використання відновлюваної енергії

Автоматизація є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення ефективності сучасних тваринницьких підприємств. Вона дозволяє контролювати технологічні процеси у реальному часі, своєчасно виявляти відхилення та автоматично змінювати режими роботи обладнання.

До основних параметрів, які можуть контролюватися автоматизованими системами, належать температура, вологість, концентрація газів, рівень води, витрати корму, температура молока, вакуум у доїльній системі, продуктивність вентиляторів, робота насосів та інші технологічні показники.

Автоматизована система зазвичай включає датчики, контролери, виконавчі механізми та програмне забезпечення. Датчики формують інформацію про фактичний стан системи. Контролер порівнює отримані значення із заданими параметрами та формує керуючі сигнали. Виконавчі механізми змінюють режим роботи відповідного обладнання.

Загальна структура може бути представлена так:

технологічний процес → датчики → контролер → керуючий сигнал → виконавчий механізм → технологічний процес.

Така система забезпечує зворотний зв'язок і дозволяє підтримувати задані параметри автоматично.

Особливо ефективною автоматизація є у системах вентиляції. Якщо температура або концентрація шкідливих газів перевищує заданий рівень, система збільшує продуктивність вентиляторів. Після досягнення оптимальних параметрів продуктивність зменшується.

Подібний принцип використовується для автоматичного регулювання систем опалення та охолодження. У результаті підприємство не витрачає додаткову енергію на підтримання режиму, який уже досягнуто.

Важливе значення мають частотно-регульовані приводи. Вони дозволяють змінювати швидкість обертання двигуна залежно від потреби. Це особливо актуально для вентиляторів і насосів, продуктивність яких часто змінюється.

Наприклад, вентиляційна система може працювати на 100 % продуктивності лише в періоди максимального теплового навантаження. В інший час частота обертання може бути знижена. При цьому електроспоживання зменшується.

Частотно-регульовані приводи також забезпечують плавний запуск електродвигунів. Це знижує пускові струми, механічні навантаження та зношування обладнання.

Енергоефективність залежить і від технічного стану обладнання. Забруднення теплообмінників, зношування підшипників, недостатнє змащування, пошкодження ременів або неправильне центрування механізмів можуть збільшувати енергоспоживання.

Тому система енергозбереження повинна бути пов'язана із системою технічного обслуговування. Контроль споживання електроенергії може допомогти виявляти несправності. Наприклад, раптове збільшення споживання двигуна при незмінному навантаженні може свідчити про механічні проблеми.

Ефективним є впровадження систем енергомоніторингу. Загальний лічильник електроенергії підприємства не дає достатньо інформації для аналізу. Доцільно встановлювати окремий облік для найбільш енергоємних систем: вентиляції, доїння, охолодження молока, кормоприготування, водопостачання, освітлення та видалення гною.

Порівнюючи енергоспоживання різних систем, можна визначити найбільш проблемні ділянки та встановити пріоритетність заходів з модернізації.

Питоме енергоспоживання визначають за формулою:

$$q_e = E / M,$$

де E – витрачена енергія, кВт·год; M – маса виробленої продукції, кг або т.

Для молочного виробництва доцільно аналізувати споживання електроенергії на одиницю молока, для м'ясного – на одиницю приросту або живої маси, для птахівництва – на одиницю продукції або поголів'я. Одним із важливих напрямів є рекуперація теплоти. На тваринницьких підприємствах існує значна кількість джерел вторинної теплоти: тепле вентиляційне повітря, гаряча вода, конденсат, теплота холодильного обладнання, теплота технологічних процесів.

Наприклад, холодильні установки відводять тепло від охолоджуваного продукту. Це тепло зазвичай відводиться в навколишнє середовище через конденсатор. За відповідної конструкції частину цієї теплоти можна використовувати для нагрівання води.

У молочному виробництві значний потенціал має рекуперація теплоти під час охолодження молока. Теплообмін між потоками може бути організований так, щоб холодна вода попередньо нагрівалася за рахунок теплоти молока перед його остаточним охолодженням. Це зменшує енергетичне навантаження на систему підігрівання води.

Ще одним напрямом є використання сонячної енергії. Сонячні фотоелектричні установки можуть забезпечувати частину електроенергії для насосів, вентиляторів, освітлення та інших споживачів.

Сонячні теплові колектори можуть використовуватися для підігрівання води. Це особливо доцільно для підприємств, де є постійна потреба в гарячій воді.

Перспективним є застосування теплових насосів. Вони дозволяють використовувати низькопотенційну теплоту навколишнього середовища, ґрунту, води або вентиляційного повітря для опалення та нагрівання води.

Найбільш комплексним рішенням для підприємств із великою кількістю органічних відходів є виробництво біогазу. Гній та інші органічні матеріали можуть перероблятися в анаеробних умовах.

Отриманий біогаз містить значну частку метану і може використовуватися як паливо.

У когенераційній установці біогаз може використовуватися для одночасного виробництва електричної та теплової енергії. Електроенергія використовується на підприємстві, а теплота – для нагрівання води, опалення або інших технологічних потреб.

Це створює замкнений ресурсний цикл:

органічні відходи → біогаз → тепла та електрична енергія → технологічні процеси → продукція.

Цифрові технології розширюють можливості автоматизації. Інформація про температуру, вологість, продуктивність, енергоспоживання та стан обладнання може накопичуватися в базах даних і використовуватися для аналізу.

На основі накопичених даних можна виявляти тенденції, прогнозувати несправності та оптимізувати режими роботи. Наприклад, поступове збільшення енергоспоживання вентилятора може свідчити про забруднення повітроводів або погіршення технічного стану обладнання.

Таким чином, автоматизація поступово перетворюється з інструменту простого керування машинами на інструмент комплексної оптимізації виробничої системи.

5. Комплексне використання відходів, утилізація біомаси та оцінювання ресурсоефективності тваринницьких підприємств

Тваринницьке виробництво характеризується значним утворенням органічних відходів. Основними з них є гній, гноївка, залишки кормів, підстилкові матеріали, стічні води та інші органічні компоненти. Якщо ці матеріали не використовувати раціонально, вони можуть перетворюватися на джерело екологічного навантаження.

Сучасна концепція ресурсоефективності передбачає перехід від лінійної моделі: ресурси → виробництво → продукція → відходи до більш замкненої моделі: ресурси → виробництво → продукція → побічні продукти → переробка → вторинні ресурси → енергія/добрива → повторне використання.

Гній є не тільки відходом, а цінним органічним ресурсом. Він містить органічну речовину, азот, фосфор, калій та інші компоненти, необхідні для родючості ґрунтів.

Найпростішим способом використання гною є його компостування та подальше внесення як органічного добрива. Компостування забезпечує стабілізацію органічної речовини, зменшує неприємні запахи та дозволяє отримати продукт, зручний для транспортування і використання.

Більш технологічно складним способом є анаеробне зброджування. У герметичному біореакторі органічна речовина розкладається без доступу кисню під дією мікроорганізмів. У результаті утворюється біогаз і дигестат.

Біогаз може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії. За умови використання когенераційного обладнання можна одночасно отримувати два види енергії.

Дигестат після відповідної обробки може використовуватися як органічне добриво, що дозволяє повернути частину поживних речовин у рослинницьке виробництво.

Таким чином формується замкнений агровиробничий цикл: корми → тварини → органічні відходи → біогазова установка → енергія + добриво → рослинництво → корми.

Це є одним із найбільш перспективних напрямів циркулярної економіки в аграрному секторі.

Важливе значення має скорочення втрат органічних ресурсів ще до стадії їх утворення. Якщо частина корму залишається невикористаною або потрапляє до системи видалення гною, це означає втрату ресурсів, які вже були витрачені на його виробництво, транспортування та приготування.

Тому першим етапом ресурсозбереження повинно бути підвищення ефективності годівлі. Другим – оптимізація використання води та підстилки. Третім – ефективне збирання та переробка органічних відходів.

Важливим ресурсом є вода. На підприємстві можуть утворюватися стічні води від миття приміщень, обладнання,

доїльних установок, технологічних комунікацій та санітарних зон. Ці води можуть містити органічні речовини, залишки кормів, мийні засоби та інші компоненти.

Зменшення обсягів стічних вод доцільно починати зі скорочення споживання чистої води. Для цього застосовують системи дозованого миття, апарати високого тиску, автоматичне керування подачею води та повторне використання води після відповідної підготовки.

Важливо розділяти потоки стічних вод за ступенем забруднення. Вода з невисоким рівнем забруднення потенційно може використовуватися повторно після очищення, тоді як сильно забруднені потоки потребують повного очищення.

Для очищення стічних вод можуть застосовуватися механічні, фізико-хімічні та біологічні методи. При значному вмісті органічної речовини перспективним є анаеробне очищення з утворенням біогазу. Оцінювання ресурсоефективності підприємства повинно здійснюватися на основі системи показників. Одним із основних є продуктивність:

$$Q = M / t,$$

де M – кількість виробленої продукції, t – час роботи.

Питомі енергетичні витрати:

$$q_e = E / M.$$

Питомі витрати води:

$$q_v = V / M.$$

Коефіцієнт використання сировини можна визначити:

$$K_u = M_u / M_s \times 100 \%,$$

де M_u – кількість ресурсу, використаного з корисною метою;
 M_s – загальна кількість ресурсу.

Для оцінювання використання органічних відходів можна застосовувати показник:

$$K_v = M_v / M_o \times 100 \%,$$

де M_v – маса відходів, направлених на корисне використання або переробку; M_o – загальна маса утворених органічних відходів.

Однак лише технічних показників недостатньо. Необхідно також оцінювати економічний ефект від упровадження ресурсозберігаючих технологій. Він може визначатися як різниця між економією від зменшення витрат ресурсів і витратами на придбання, монтаж та обслуговування нового обладнання.

Для інвестиційних заходів важливим показником є термін окупності:

$$T_{ok} = K / E_a,$$

де K – капітальні вкладення; E_a – річний економічний ефект.

Наприклад, модернізація вентиляційної системи потребує значних початкових витрат, але зменшення споживання електроенергії протягом декількох років може компенсувати інвестиції.

Екологічний ефект також повинен враховуватися при оцінюванні технологій. Зменшення споживання електроенергії та палива сприяє скороченню викидів парникових газів. Зменшення використання води знижує обсяги стічних вод. Переробка гною зменшує ризик забруднення ґрунтів і водних ресурсів.

Особливу роль відіграє зменшення викидів метану. При неконтрольованому зберіганні органічних відходів можуть утворюватися парникові гази. Установка анаеробного зброджування дозволяє організовано вилучати біогаз і використовувати його як енергетичний ресурс.

Комплексну систему ресурсозбереження тваринницького підприємства можна представити у вигляді послідовності:

оптимізація годівлі → зменшення втрат кормів → раціональне використання води → оптимізація мікроклімату → теплоізоляція → енергоефективні електроприводи → автоматизація → рекуперація теплоти → використання відновлюваної енергії → переробка органічних відходів → виробництво біогазу → повернення поживних речовин у сільськогосподарське виробництво.

Важливо, що ресурсоефективність не означає просте скорочення витрат. Наприклад, зменшення вентиляції без урахування мікроклімату може призвести до погіршення умов

утримання тварин. Зменшення водопостачання нижче необхідного рівня може негативно вплинути на продуктивність. Тому кожне ресурсозберігаюче рішення повинно оцінюватися з урахуванням технологічних, біологічних, економічних та екологічних факторів.

Найбільш ефективними є комплексні рішення, у яких одночасно оптимізуються декілька потоків. Наприклад, автоматизоване керування вентиляцією дозволяє зменшити електроспоживання, а рекуперація теплоти – знизити витрати на опалення. Переробка гною в біогаз забезпечує енергію, а використання дигестату повертає поживні речовини у ґрунт.

Таким чином, перспективна модель тваринницького підприємства повинна ґрунтуватися на принципах циркулярного використання ресурсів. Кожен потік матеріалів та енергії необхідно аналізувати з позиції можливості його повторного використання, переробки або перетворення на вторинний ресурс.

Енергоефективні та ресурсощадні технології тваринницьких підприємств є комплексом технічних, технологічних, організаційних і цифрових заходів, спрямованих на зниження питомих витрат енергії, води, кормів, палива та інших ресурсів при одночасному забезпеченні високої продуктивності тварин, належних умов їх утримання та якості продукції. Найбільший ефект досягається тоді, коли окремі заходи об'єднуються в єдину систему управління ресурсами. У такій системі енергоспоживання контролюється за окремими технологічними операціями, обладнання автоматично адаптується до фактичного навантаження, тепло повторно використовується, вода раціонально розподіляється між технологічними процесами, а органічні відходи перетворюються на добрива та енергетичну сировину. Отже, сучасне тваринницьке підприємство необхідно розглядати як інтегровану енергетично-матеріальну систему, у якій ефективність визначається не окремою машиною, а взаємодією всіх технологічних процесів. Перехід до енергоефективних і ресурсощадних технологій сприяє одночасному підвищенню продуктивності, зниженню собівартості

продукції, скороченню негативного впливу на довкілля та підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

Контрольні питання

1. Що являє собою тваринницьке підприємство як виробничо-технологічна система та які основні технологічні процеси в ній здійснюються?
2. Які основні види енергетичних і матеріальних ресурсів використовуються у тваринницькому виробництві?
3. Які параметри визначають мікроклімат тваринницьких приміщень та як вони впливають на продуктивність тварин?
4. Які технологічні та технічні заходи дозволяють зменшити енергоспоживання систем вентиляції, опалення та охолодження?
5. У чому полягають основні принципи ресурсоощадної організації годівлі та водопостачання тварин?
6. Які способи автоматизації технологічних процесів застосовують на сучасних тваринницьких підприємствах?
7. Які переваги дає використання частотно-регульованих електроприводів у вентиляторах, насосах та іншому технологічному обладнанні?
8. Які джерела вторинної та відновлюваної енергії можуть використовуватися на тваринницьких підприємствах?
9. Які існують способи переробки та раціонального використання гною й інших органічних відходів тваринницького виробництва?
10. Які основні показники використовують для оцінювання енергоефективності та ресурсоощадності тваринницького підприємства?

Список використаних джерел

1. Зубко В. М. Агроінжиніринг : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальностей 208 «Агроінженерія», 202 «Агрономія». Суми : СНАУ, 2022. 468 с.
2. Надійність машин та обладнання. Частина 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання : навч. посібник / А. В. Новицький та ін. Київ : НУБіП, 2023. 209 с.

3. Мигаль В. Д., Шуляк М. Л., Шевченко І. О. Інтелектуальні системи тракторів і автомобілів, сервісний супровід : підручник. Харків : ДБТУ ; Майдан, 2023. 246 с.

4. Лебедєв А. Т., Шуляк М. Л., Зубко В. М., Лебедєв С. А. Будова тракторів John Deere серії 6, 8, 9 : підручник для здобувачів освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія», за ред. А.Т. Лебедєва. Суми :СНАУ, 2024. 210 с.

5. Конструкції і розрахунки машин та апаратів переробних виробництв : підручник / В. С. Бойко та ін. Мелітополь : Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, 2021. 308 с.

6. Бабенко Д. В., Доценко Н. А., Горбенко О. А. Дослідження конструктивних і кінематичних характеристик енергоефективного олійного пресу. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2024. Вип. 28(3). С. 41-54. DOI: 10.56407/bs.agrarian/3.2024.41

7. Бабенко Д. В., Доценко Н. А., Горбенко О. А., Бацуровська І. В. Дослідження характеру руху подрібненої маси по поверхні решіт сепаратора насіння овочевих та баштанних культур. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Вип. 27(4). С. 18-35. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/4.2023.18>.

8. Технологія викладання загальнотехнічних дисциплін в умовах цифрового навчального середовища аграрних закладів вищої освіти: монографія / Д. В. Бабенко, Н. А. Доценко, О. А. Горбенко та ін. Миколаїв : МНАУ, 2025. 280 с. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20871>.

9. Babenko D., Baczurovskaya I., Gorbenko O. Determination of the parameters of the use of water-lifting equipment in the conditions of livestock farms. *Ukrainian black sea region agrarian science*. 2022. Vol. 26, no. 3. URL: [https://doi.org/10.56407/2313-092x/2022-26\(3\)-3](https://doi.org/10.56407/2313-092x/2022-26(3)-3).

10. Babenko D., Dotsenko N., Gorbenko O. Justification of the design parameters of improved equipment for tomato processing. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*. 2025. Vol. 29, no. 3. P. 9–22. URL: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2025.09>.

Навчальне видання

**«Енергоефективні та ресурсоощадні технології переробних
і тваринницьких підприємств»**

Методичні рекомендації

Укладач: **Горбенко** Олена Андріївна

Редактор: О. А. Горбенко

Комп'ютерний набір: О. А. Горбенко

Дизайн і верстка: О. А. Горбенко

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 10,5

Тираж 15 прим. Зам. №_

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету.
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9