

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядаються підходи до підвищення енергоефективності та енергонезалежності для агропромислових підприємств. Запропонована матриця енергоефективних заходів для підприємств з переробки лікарської рослинної сировини. Розглянуті пріоритетні напрямки модернізації для підприємств, що займаються вирощуванням та переробкою сої.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, втрати електроенергії, система електропостачання, підприємство.

Abstract

The paper considers approaches to increasing energy efficiency and energy independence for agro-industrial enterprises. A matrix of energy-efficient measures is proposed for enterprises processing medicinal plant raw materials. Priority areas of modernization for enterprises engaged in the cultivation and processing of soybeans are considered.

Keywords: energy saving, energy efficiency, power losses, power supply system, enterprise.

Вступ

Підвищення енергетичної ефективності агропромислових підприємств розглядається в сучасній науковій літературі не як точкове покращення, а як системний процес управління енергетичними потоками. Згідно з міжнародним стандартом ISO 50001, стратегія енергозбереження базується на виявленні значних споживачів енергії та впровадженні заходів для зниження їх питомого енергоспоживання.

Проведений аналіз технологічного ланцюга виробництва лікарської рослинної сировини та переробці сої дозволяє стверджувати, що дана галузь відноситься до енергоємних виробництв зі специфічною структурою споживання. На відміну від більшості виробництв, де домінує електроенергія, у переробці рослинної сировини 65-80% енергетичного балансу припадає на теплову енергію, яка витрачається на процеси зневоднення (сушіння) та фазових переходів (випаровування, дистиляція).

Результати роботи

Базуючись на принципах енергоменеджменту (ISO 50001) та термодинамічному аналізі процесів, можна виділити пріоритетні напрямки модернізації, ранжовані за критерієм «вартість впровадження/енергетичний ефект»:

1. Термодинамічна оптимізація. Це найбільш перспективний напрямок для сушильних цехів.

Суть: відмова від прямого викиду теплого вологого повітря в атмосферу. Впровадження теплових насосів дозволяє замкнути цикл і використовувати приховану теплоту пароутворення, яка в традиційних сушарках втрачається безповоротно.

Потенціал: зниження питомих енерговитрат у 2,5-3,5 рази.

2. Використання біомаси та відходів виробництва. Лікарське рослинництво генерує значну кількість лігноцелюлозних відходів: стебла після обмолоту (м'ята, ехінацея), шрот після екстракції.

Суть: брикетування або пелетування відходів для спалювання у твердопаливних теплогенераторах.

Потенціал: повне заміщення природного газу на етапі сушіння. Отримання теплової енергії за ціною, що у 3-4 рази нижча за ринкову вартість газу.

3. Механічне зневоднення та підготовка сировини.

Суть: максимальне видалення вологи механічним шляхом (віджим, центрифугування, обдуб) перед термічною обробкою.

Потенціал: видалення 1% вологи механічно коштує у 50 разів дешевше, ніж термічно. Зниження початкової вологості на 5% скорочує час сушіння на 15-20%.

4. Інтелектуальні системи управління (Smart Grid).

Суть: автоматизація вентиляції (аерації) на основі датчиків вологості та температури, частотне регулювання приводів насосів та вентиляторів.

Потенціал: економія електроенергії на 15-25% за рахунок виключення роботи обладнання в холостому режимі.

Для системного бачення пропонується зведена матриця технологічних рішень (табл. 1), яка може бути використана як база для вибору оптимальних заходів енергозбереження.

Таблиця 1 – Матриця енергоефективних заходів для підприємств з переробки лікарської рослинної сировини

Технологічний етап	Традиційне рішення («Як є»)	Пропоноване енергоефективне рішення («Як треба»)	Очікуваний ефект
Збирання та логістика	Транспортування свіжої маси з поля	Польове прив'ялювання (де допустимо) або мобільні модулі пресування	Зменшення транспортних витрат на 30%
Сушіння	Газові/дров'яні конвективні сушарки (ККД < 50%)	Сушарки з тепловими насосами (COP > 3.0)	Економія енергії до 70%, збереження біологічно активних речовин
Екстракція	Нагрів «глухою» парою, тривала мацерація	Кавітаційна/ультразвукова екстракція	Скорочення часу процесу в 10 разів
Випарювання	Однокорпусні випарні апарати	Механічна рекомпресія пари	Зниження споживання пари на 80-90%
Теплопостачання	Газові котельні	Котли на біомасі (відходи виробництва)	Енергоне залежність, «0» вуглецевий слід

Аналіз технологічного ланцюга вирощування та переробки сої дозволяє виділити чотири пріоритетні напрямки модернізації:

1. Утилізація вторинних енергоресурсів та рекуперація тепла. Теплові процеси (сушіння, екструдкування, тостування) характеризуються значними викидами низькопотенційного тепла в атмосферу. Використання цього тепла є найбільш економічно обґрунтованим напрямком:

- рекуперація в зерносушарках: впровадження систем рециркуляції відпрацьованого агента сушіння. Повітря з зон охолодження та досушування, яке має температуру 40-50°C і низьку відносну вологість, не викидається в атмосферу, а подається на вхід пальника. Це дозволяє знизити споживання газу на 15-25%.

- утилізація тепла екструдату: при виході з екструдера соєва маса має температуру 120-130°C. Встановлення охолоджувачів з рекуператорами типу «продукт-повітря» дозволяє нагрівати повітря, яке потім використовується для опалення виробничих приміщень або попереднього підігріву сировини перед екструдкуванням.

- повернення конденсату: на екстракційних заводах збір конденсату гріючої пари та повернення його в котельню дозволяє зберегти до 15% теплової енергії та зменшити витрати на хіміодоочищення.

2. Використання біомаси: когенераційні технології. Підприємства з переробки сої мають власний значний ресурс біопалива – соєве лушпиння (оболонку) та солому (якщо підприємство має замкнутий цикл «поле-завод»).

Енергетичний потенціал: теплотворна здатність соєвого лушпиння становить близько 14-16 МДж/кг, що співставно з паливними пелетами з деревини.

Заміщення природного газу: встановлення твердопаливних теплогенераторів або парових котлів, що працюють на лушпинні, дозволяє повністю відмовитися від природного газу для потреб сушіння зерна.

Когенерація: для великих підприємств перспективним є встановлення турбін, що працюють на біомасі, для одночасного вироблення електроенергії та технологічної пари.

3. Частотне регулювання електроприводів. Оскільки навантаження на обладнання є змінним (різна вологість зерна, різна продуктивність ліній), робота електродвигунів на номінальній потужності є енергетично невиправданою.

Аеродинамічні системи: вентилятори сушарок та аспіраційних систем споживають енергію пропорційно кубу швидкості обертання. Зменшення обертів двигуна лише на 20% за допомогою частотного перетворювача призводить до зниження споживання електроенергії майже на 50%.

Транспортери та шнеки: автоматичне регулювання швидкості подачі сировини в екструдер або прес забезпечує стабільне завантаження головного двигуна в зоні максимального ККД.

4. Термо модернізація та ізоляція обладнання. Цей напрямок відноситься до пасивних методів енергозбереження, проте має швидкий термін окупності.

Ізоляція поверхонь: температура зовнішніх стінок сушарок, паропроводів, тостерів та екструдерів часто сягає 60-80°C. Якісна термоізоляція сучасними матеріалами (мінеральна вата, спінений каучук) дозволяє знизити втрати тепла випромінюванням на 3-5% від загального балансу.

Герметизація: усунення підсмоктування холодного повітря в сушильні камери та газоходи є критично важливим для підтримки стабільного температурного режиму.

Узагальнені дані щодо потенціалу економії енергоресурсів за рахунок впровадження розглянутих заходів наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Потенціал енергоефективності технологічних рішень

Технологічний напрямок	Цільовий енергоресурс	Очікувана економія	Термін окупності
Автоматизація контролю вологості (попередження пересушування)	Газ / паливо	10-15%	< 1 року
Рекуперація тепла (сушарки, вентиляція)	Газ / тепло	15-25%	1-2 роки
Перехід на біопаливо (спалювання лушпиння)	Природний газ	90-100% (заміщення)	2-3 роки
Встановлення частотних перетворювачів	Електроенергія	20-40%	1,5-2,5 роки
Термоізоляція обладнання	Теплова енергія	3-5%	0,5-1 рік

Висновки

Специфіка лікарської рослинної сировини (термолабільність) накладає жорсткі обмеження на температурні режими обробки (35-60 °C), що робить неефективним використання високотемпературних теплоносіїв, характерних для зернової галузі. Аналіз показує, що «вузьким місцем» агропромислових підприємств є процес сушіння, на який припадає лівова частка енерговитрат. Існуючі технології прямоточного сушіння є енергетично марнотратними. Враховуючи вищевикладене, актуальним є розробка проєкту модернізації шляхом впровадження теплопомпової сушильної установки, чи когенераційної установки на біомасі, що дозволить підвищити загальну енергоефективність.

Технологічний процес переробки сої є енергоємним виробництвом, де домінують витрати теплової енергії на процеси сушіння та волого-теплової обробки. Існуючі технології характеризуються значними втратами енергії з відхідними газами та через недосконалість регулювання режимів роботи. Найбільш перспективними напрямками енергозбереження є впровадження систем утилізації тепла, переведення сушарок на біопаливо, автоматизація виробничих процесів, що дозволить суттєво знизити собівартість продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравець В. С., Шулле Ю. А. Стандарт ISO 50001 – стратегічний підхід до енергоменеджменту. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/37392/12471-44557-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. ISO 50001:2018 Energy management systems –Requirements with guidance for use. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iso.org/ru/standard/69426.html>

Шулле Юлія Андріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: shullye.y.a@vntu.edu.ua.

Очеретний Євген Олегович – студент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: eugeny.ocheretny@outlook.com.

Shullie Yuliia – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shullye.y.a@vntu.edu.ua.

Ocheretnyi Yevhen – student of the Department of Electrical Engineering Systems of Power Consumption and Energy Management of the Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: eugeny.ocheretny@outlook.com.