МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз ефективності електроспоживання підприємства харчової промисловості

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1412
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Кісь О.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф. Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Коломієць Д.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М._____
Кафедра____електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц.____Д.М. Морозов
«___»_____2026__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Кісь Олегу Володимировичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз ефективності електроспоживання підприємства харчової промисловості _____
керівник роботи ____д.т.н., проф. Коваленко В.Л._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Аналіз базової структури споживання паливо-енергетичних ресурсів підприємства свідчить, що основне фінансове навантаження припадає на природний газ (50,7%) та електричну енергію (48,9%). Загальні річні витрати на енергоносії становлять понад 4,6 млн грн. При цьому понад 85% електроенергії споживається електродвигунами силових приводів транспортних ліній (норій, конвеєрів) та вентиляторними установками сушильних комплексів.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Оцінка потенціалу та ефективності енергозбереження на зернопереробних підприємствах та елеваторних комплексах 2) Реалізація інженерних та технологічних заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання на зерновому комплексі 3) Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів

5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз енергоспоживання 2) Генеральний план підприємства 3) Схема технологічна обробки зернової маси 4) Загальний вигляд та конструктивні креслення транспортного обладнання 5) Техніко-економічні показники впровадження енергозберігаючих заходів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		
Розділ 2	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		
Розділ 3	Коваленко В.Л. д.т.н., проф.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оцінка потенціалу та ефективності енергозбереження на зернопереробних підприємствах та елеваторних комплексах	01.03.2026	
2	Реалізація інженерних та технологічних заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання на зерновому комплексі	01.04.2026	
3	Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів	10.05.2026	

Студент _____ (підпис) Кісь О.В. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ (підпис) В.Л. Коваленко (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) С.В. Башлій (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 33 сторінки, 14 рисунків, 14 таблиць, 25 джерел.

Комплексний аналіз структурних і технологічних втрат електричної енергії, а також виявлення факторів її нераціонального споживання є підґрунтям для обґрунтування найбільш пріоритетних та економічно доцільних енергозберігаючих рішень. Отримані результати дають змогу розробити й реалізувати цілеспрямований комплекс заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності як загальної системи електропостачання підприємства, так і окремих видів високоємного зернопереробного й елеваторного обладнання.

У техніко-економічному розділі виконано детальний фінансово-економічний аналіз запропонованих енергозберігаючих заходів. Оцінку інвестиційної привабливості та ефективності проектів проведено на основі розрахунку показників чистої теперішньої вартості, терміну окупності капітальних вкладень, внутрішньої норми рентабельності та індексу доходності.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЗЕРНОПЕРЕРОБНИЙ КОМПЛЕКС, ЕЛЕВАТОР, НОРІЯ, СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОКУПНІСТЬ ІНВЕСТИЦІЙ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ЕНЕРГОАУДИТ

ЗМІСТ

Вступ 6
1 Оцінка потенціалу та ефективності енергозбереження на зернопереробних підприємствах та елеваторних комплексах 8
1.1 Доцільність та економічна актуальність впровадження енергоощадних рішень на зерносховищах 8
1.2 Організація технологічної схеми та функціональна структура сучасного елеваторного комплексу ..... …..10
1.3 Аналіз структури та балансу енергоспоживання зернопереробного підприємства 12
1.4 Огляд технологічних методів і способів обробки зерна на підприємстві 17
1.5 Аналіз способів підведення агента сушіння до зернового шару 19
1.6 Метод остаточного охолодження та технологія драйаерації 20
1.7 Утилізація та рекуперація теплової енергії відпрацьованого агента сушіння та охолоджувального повітря 21
1.8 Техніко-економічна оцінка та ефективність заміни силово-привідного обладнання елеватора на енергозберігаючі електродвигуни 23
2 Реалізація інженерних та технологічних заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання на зерновому комплексі 27
2.1 Оптимізація конструктивних параметрів сушильних агрегатів та раціоналізація їхньої технічної експлуатації 27
2.2 Характеристика та обґрунтування альтернативних напрямів підвищення енергоефективності 29
2.3 Модернізація конструктивних елементів зерносховища та застосування повітряних сонячних колекторів 30

2.4 Автоматизація та оптимізація режимів роботи електродвигунів сушильних вентиляторів на основі частотно-регульованого приводу 32
2.5 Оптимізація потужності силово-привідного обладнання елеватора за рахунок заміни електродвигунів 44
3 Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів 47
3.1 Загальні показники та методика оцінки ефективності заходів 47
3.2 Реконструкція обладнання норії 48
3.3 Заміна стрічки електродвигунів конвеєрів 51
3.4 Впровадження системи контролю та керування продуктивністю електродвигунів вентиляторів на базі перетворювачів частоти ……...52
3.5 Комплексна оцінка економічної ефективності впроваджених заходів.57
Висновки 60
Перелік посилань 61

ВСТУП

Якісні показники зерна значною мірою залежать від своєчасності та досконалості післязбиральних технологічних процесів, серед яких ключове місце посідають сушіння (із суворим дотриманням температурних режимів) та заходи активного вентилювання під час зберігання. Загальні енерговитрати на виконання цих робіт сягають близько 20% від сукупного обсягу енергії, що споживається протягом усього циклу вирощування зернових культур.

Враховуючи високу залежність України від імпорту енергоносіїв (понад 80%) та їхнє постійне подорожчання, оптимізація енергоспоживання обладнання та активне залучення відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) набувають критичного значення. Впровадження геліоколекторів, фотоелектричних систем та вітрогенераторів дозволяє мінімізувати застосування традиційних видів палива і суттєво зменшити обсяги викидів шкідливих речовин, зокрема вуглекислого газу CO_2 та оксидів азоту NO_x.

Післязбиральна обробка вважається найбільш ресурсомістким етапом у зерновому виробництві. На її здійснення припадає:

- 30–50% від загальних витрат палива;
- 90–98% споживання електроенергії;
- 15–20% витрат металу;
- 10–12% трудових витрат;
- 15–20% операційних експлуатаційних видатків.

Ефективна мінімізація використання паливно-енергетичних ресурсів потребує системної модернізації: масового переходу на енергоощадну техніку, оптимізації технологічних карт та раціоналізації організації праці. Системний аналіз функціонування зернообробного устаткування дає змогу виявити ключові фактори питомого енергоспоживання та розробити дієві заходи для його зниження, насамперед у процесах сушіння.

Загалом сушінню піддається до 80% валового збору зерна (близько 6,5–7,5 млн тонн). Наразі в аграрному секторі експлуатується орієнтовно 3,2 тис. зерноочисно-сушильних комплексів, 1,3 тис. окремих сушарок та понад 1,1 тис. бункерів типу БВ-40. При цьому значна частина матеріально-технічної бази застаріла: лише близько половини зерносушарок мають термін експлуатації до 8 років, тоді як решта працює понад 15 років і потребує негайної реконструкції або заміни.

З огляду на це, розробка та практична реалізація енергозберігаючих технологій підготовки зерна є актуальним і пріоритетним завданням для галузі.

1 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ТА ЕЛЕВАТОРНИХ КОМПЛЕКСАХ

1.1 Доцільність та економічна актуальність впровадження енергоощадних рішень на зерносховищах

За функціональним призначенням та організаційною структурою елеватори поділяють на дві основні групи:

1. Власні (корпоративні): призначені виключно для обслуговування внутрішніх потреб агрохолдингу чи фермерського господарства.
2. Комерційні (давальницькі): орієнтовані на надання послуг стороннім поклажодавцям.

Для комерційних елеваторів критично важливим є гнучке формування тарифної політики. Як показує аналіз market-сегмента, найвищу маржинальність та рентабельність для підприємства забезпечує послуга сушіння зерна, хоча вона є і найменш ресурсоємною за структурою собівартості.

Залежно від технічного стану обладнання, вартість зниження вологості кукурудзи на 1 тонно-процент (1 т·%) суттєво варіюється:

- Мінімальний рівень цін становить від 12,20 грн до 19,50 грн за 1 т·%.
- Максимальний рівень тарифів сягає від 31,50 грн до 52,00 грн за 1 т.

Найбільша частка операційних витрат підприємства припадає на оплату енергоносіїв (газ, електроенергія) та амортизаційні відрахування. Застарілі шахтні сушарки витрачають близько 2,4–2,6 м³ природного газу на 1 т·%, тоді як сучасне або модернізоване обладнання споживає лише 1,3–1,5 м³. У зв'язку з цим заміщення газу альтернативними видами палива та застосування енергоефективного обладнання є першочерговим завданням.

Максимальна вартість сушіння кукурудзи за один тонно-процент зниження вологості варіюється від 26,50 до 45,00 грн, охоплюючи також проміжні значення у 27,00 грн, 28,35 грн та 34,25 грн [1].



Рисунок 1.1 – Диапазон цін на сушку кукурудзи

Послуги зі зберігання зерна мають нижчу рентабельність порівняно з іншими операціями елеватора. Це пояснюється великою кількістю витратних статей: амортизацією обладнання, закупівлею енергоносіїв, виплатою заробітної плати, сертифікацією та послугами сторонніх організацій.

За оцінками експертів, найвагомішими серед них є енергоносії та амортизація:

Амортизаційні витрати суттєво відрізняються залежно від стану підприємства. На нових елеваторах вони досить високі, тоді як на модернізованих об'єктах віком 30–50 років — значно нижчі. Саме тому реконструкція старих потужностей часто економічно вигідніша за нове будівництво завдяки швидшій окупності інвестицій.

Енергоносії (зокрема газ) формують понад 35–40% усіх витрат. На сучасних підприємствах витрата газу становить 1,2--1,3 $м^3$ на тонно-процент, тоді як на застарілих сушильних комплексах вона сягає 2--2,2 $м^3$.

Найбільш витратною послугою є сушіння зерна, оскільки саме воно потребує найбільшого обсягу газу. У собівартості сушіння на один тонно-процент лише витрати на газ становлять близько 7 грн , до яких також додаються вартість електроенергії та амортизація сушильного обладнання. Through це для елеваторних господарств критично важливими є енергоефективні технології та перехід на альтернативні (місцеві) види палива.

1.2 Організація технологічної схеми та функціональна структура сучасного елеваторного комплексу

Сучасний елеватор являє собою складний інженерно-технічний комплекс споруд, розрахований на приймання, первинну й вторинну обробку, доведення до кондиційних параметрів, а також тривале зберігання зернового матеріалу. Основою технологічної структури є взаємопов'язані блоки, орієнтовані на оптимізацію потоків зернової маси та мінімізацію витрат енергоресурсів.

Структурна організація типового елеваторного підприємства охоплює такі ключові дільниці та споруди:

Автомобільна вагова дільниця: оснащена сучасними тензометричними приладами для високоточного обліку маси транспорту з сировиною.

Приймальне відділення (завальна яма): підземні або напівзаглиблені бункери проїзного чи бокового типу, розраховані на розвантаження великогабаритного автотранспорту або залізничних вагонів.

Робоча вежа (очисна вежа): вертикальна багатоповерхова споруда, в якій розміщено комплекси машин для попередньої, первинної та вторинної сепарації

(скальператори, ситоповітряні сепаратори, триєри), а також високоефективні аспіраційні системи для вилучення легких домішок і пилу.

Сушильний блок: містить оперативні накопичувальні ємності для некондиційного (вологого) та висушеного матеріалу, а також сушильні агрегати різних типів (шахтні, колонкові, модульні) з пальниковими пристроями, адаптованими під конкретні види палива.

Силосний корпус (силоси тривалого зберігання): масив залізобетонних або вентильованих металевих вентильованих місткостей (банок), згрупованих у лінії. Вони забезпечують роздільне зберігання різних культур та сортів із підтримкою заданих параметрів мікроклімату.

Відділення відвантаження: бункерні системи (бункери-хопери) для швидкого завантаження залізничних вагонів-зерновозів та автопоїздів.

Транспортна інфраструктура комплексу: поєднує всі дільниці в єдину закриту технологічну лінію за допомогою вертикальних підйомників (норій) та горизонтальних конвеєрів (стрічкових, ланцюгових, шнекових).

Допоміжні металоконструкції: норійні вежі, міжсилосні та транспортні галереї, естакади.

Автоматизовані системи керування та електрозабезпечення: силові шафи, частотні перетворювачі, датчики рівня, температури й вологості, кабельні мережі та елементи освітлення.

Адміністративно-побутовий блок, лабораторія та пожежні резервуари: забезпечують оперативний контроль якості зерна, управління персоналом та дотримання норм безпеки.

Приймальний потік зерна піднімається норіями на верхній ярус робочої вежі, де зважується та очищається від крупного й дрібного сміття. Після цього сировина спрямовується до сушильного відділення, а висушена та охолоджена маса надшахтними транспортерами розподіляється по силосах. За допомогою датчиків термометрії здійснюється постійний моніторинг стану зерна на всіх ярусах зберігання

1.3 Аналіз структури та балансу енергоспоживання зернопереробного підприємства

Для приведення різнорідних видів ПЕР (електрична енергія, природний газ) до єдиної системи вимірювання застосовують перерахунок у тонни умовного палива (т.у.п.) за формулами:

$$E_{ел.уп}=W_{ел}\cdot k_{ел}$$

$$E_{газ.уп}=V_{газ}\cdot k_{газ} \quad (1.1)$$

де $W_{ел}$ — споживання електроенергії, тис. кВт·год;

$V_{газ}$ — споживання природного газу, тис. м³;

$k_{ел}$=0,123 т.у.п./МВт·год — коефіцієнт переведення електроенергії;

$k_{газ}$=1,15 т.у.п./тис. м³ — коефіцієнт переведення природного газу.

Призначення та характеристики обсягів енергозабезпечення наведено в таблицях 1.1–1.4.

Таблиця 1.1 — Обліково-вимірювальне оснащення підприємства

Найменування показника	Загальна кількість	У тому числі оснащені приладами обліку
Електричні вводи (до 1 кВ)	0	0
Електричні вводи (понад 1 кВ)	2	2
Трансформаторні підстанції (ТП)	4	2
Встановлена потужність трансформаторів, кВА	1500	—
Теплові вводи	0	0
Газові вводи	1	1
Водопровідні вводи	1	1

Таблиця 1.2 — Технічні характеристики систем енергопостачання комплексу

№ з/п	Енергетична система	Технічні та економічні параметри
1	Тип підстанцій	Комплексна трансформаторна підстанція (КТП)
	Напруга живлення, кВ	6 / 0,4
	Заявлена потужність пікового навантаження, кВт	440 (збільшено на 25%)
	Річне споживання електроенергії, тис. кВт·год	1025 (збільшено на 25%)
2	Система газо- та теплопостачання	
	Кількість та тип котельного/сушильного обладнання	8 одиниць
	Річна витрата природного газу, тис. м³	195,5 (збільшено на 25%)
	наявність сторонніх споживачів тепла	відсутні
3	Водопостачання та водовідведення	
	Річний обсяг споживання мережевої води, м³	1880 (збільшено на 20%)
	наявність власних свердловин / системи обороту	відсутні
4	Технологічні споживачі ПЕР	
	Кількість ліній обробки зерна	8
	Кількість установлених електроприймачів	268
	Основне газоспоживче обладнання	Зерносушарки — 2 од.

Розробка та аналіз енергетичного балансу є основним інструментом для оцінки ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів (ПЕР) на елеваторі. Енергобаланс дозволяє встановити співвідношення між надходженням енергоносіїв і корисною роботою, виконуваною технологічним обладнанням, а також виявити осередки необоротних втрат енергії.

Таблиця 1.3 — Опалювальні будинки та споруди

№ з/п	Найменування об'єкта	Площа, м²
1	Вагова автомобільна	105
2	Ремонтно-механічна майстерня	1250
3	Побутовий блок виробничого цеху	325
4	Адміністративно-лабораторний корпус	430
5	Будівля КПП	82

Таблиця 1.4 — Неопалювальні виробничо-складські споруди

№ з/п	Найменування об'єкта	Площа, м²
1	Завальна яма (приймальний пристрій автотранспорту)	98
2	Робоче відділення елеватора	475
3	Механізовані зерносклади № 1–5 (сукупна площа)	8450
4	Сушильний комплекс ДСП-32 (№ 1, № 2)	240
5	Сушильний комплекс ДСП-50	135
6	Центральний матеріальний склад	1120

Перерахунок структури енергоспоживання за тарифами умовного розрахункового періоду

Для проведення розрахунку фінансових витрат та структури споживання використаємо наступні кориговані вихідні тарифи (з урахуванням ПДВ):

- Вартість електричної енергії $C_{ел}$=2,15 грн/кВт·год

- Вартість природного газу $C_{газ}$=11,80 грн/м³;
- Вартість водопостачання $C_{вод}$=10,50 грн/м³.

Фінансові витрати на кожен вид ресурсу F_i визначаємо за формулою:

$$F_i=Q_i \cdot C_i \text{…….. (1.2)}$$

де Q_i — споживання ресурсу в натуральних одиницях;

C_i — відповідний тариф.

1. Витрати на електроенергію:

$F_{ел}$=1025000 кВт·год·2,15 грн/кВт·год=2 203 750 грн (2203,75 тис. грн)

2. Витрати на природний газ:

$F_{газ}$=195500 м³·11,80 грн/м³=2 306 900 грн (2306,90 тис. грн)

3. Витрати на водопостачання:

$F_{вод}$=1880 м³·10,50 грн/м³=19 740 грн (19,74 тис. грн)

Загальні витрати на енергоресурси складатимуть:

$F_{сум}$=2203,75+2306,90+19,74=4530,39 тис. грн

З отриманих даних видно, що природний газ та електроенергія формують понад 99,5% усіх видатків на енергопостачання елеватора. Найбільшими споживачами електричної енергії є силові електроприводи норій, транспортерів та сушильних вентиляторів, а природний газ майже повністю витрачається на здійснення технологічного процесу сушіння зерна.

Таблиця 1.5 — Скоригована структура витрат елеваторного комплексу на ПЕР

Енергоносій	Одиниці вимірювання	Обсяг споживання в нат. од.	Витрати, тис. грн	Частка у фінансових витратах, %
Електрична енергія	тис. кВт·год	1025	2203,75	48,64
Природний газ	тис. м³	195,5	2306,9	50,92
Вода	м³	1880	19,74	0,44
Усього	—	—	4530,39	100

На основі розрахованих даних таблиці 1.5 будується графічне зображення структури витрат підприємства на енергоносії.

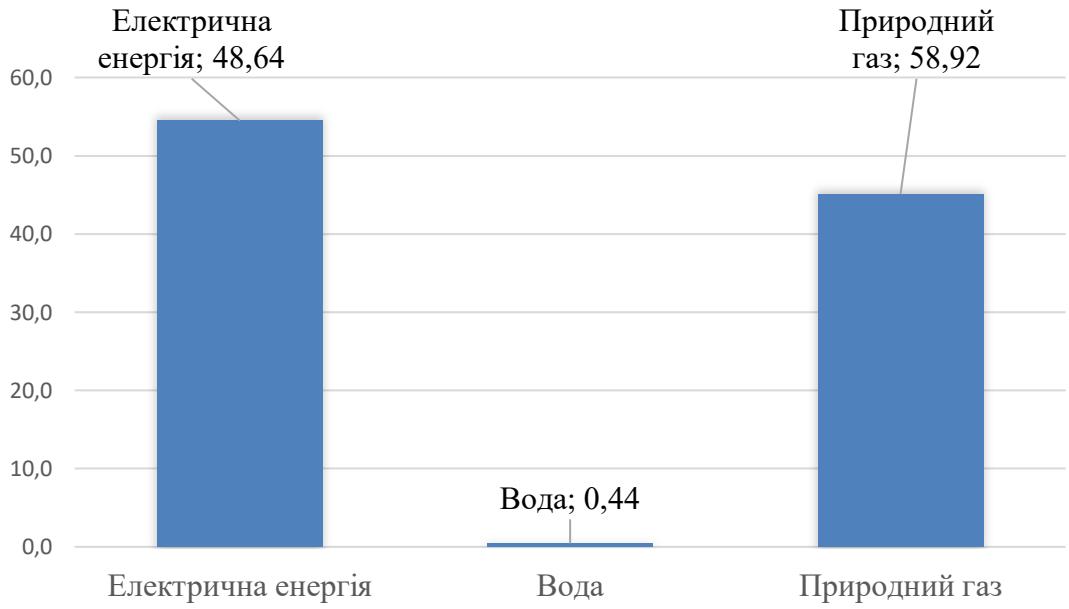


Рисунок 1.2 - Структура фінансових витрат елеватора за видами енергоносіїв

Аналогічно, для порівняльного аналізу динаміки витрат за різними тарифними періодами будуються відповідні діаграми структури та динаміки споживання у грошовому вираженні.

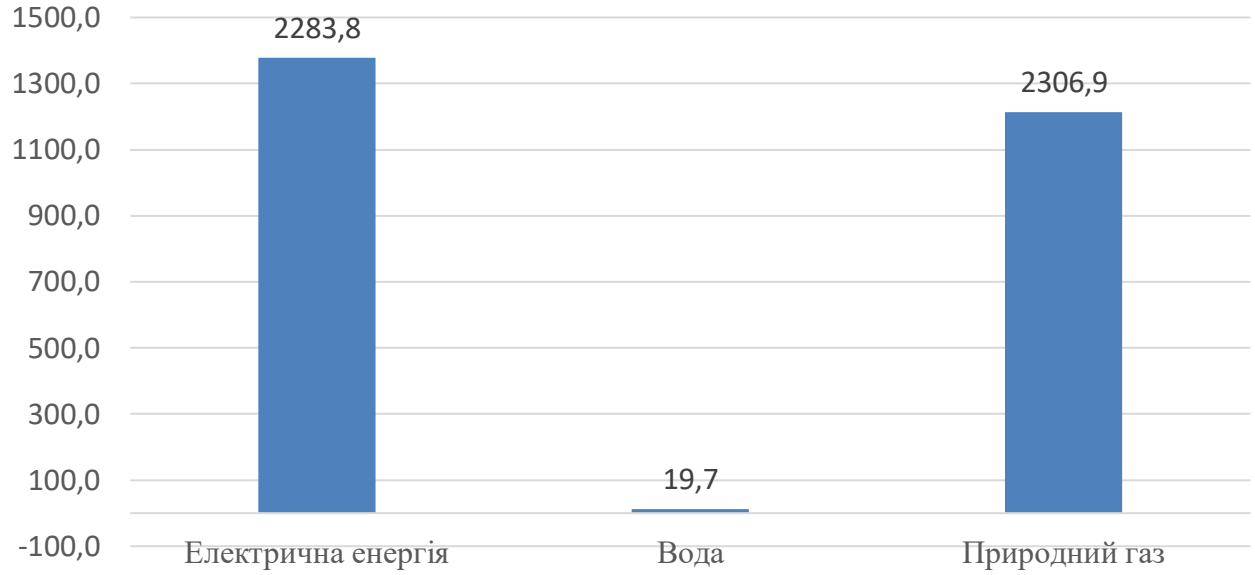


Рисунок 1.3 — Порівняльна динаміка грошових витрат на ресурси

Результати аналізу свідчать про критичну необхідність впровадження комплексних енергозберігаючих рішень, спрямованих як на зменшення електроспоживання приводо-транспортних систем, так і на зниження витрат природного газу під час роботи сушильних агрегатів.

1.4 Огляд технологічних методів і способів обробки зерна на підприємстві

Для підвищення ефективності вилучення вологи з зернового матеріалу й зменшення витрат палива у сучасній практиці зерносушіння використовують різноманітні комбіновані способи. До основних із них належать:

Змішування партій зерна з різними вихідними показниками вологості й температури.

Попередній термічний нагрів вологого купи перед сушильною шахтою.

Процес відлежування (термостатування) багатокомпонентної за вологістю зернової маси.

Оптимізація напрямків підведення агента сушіння до зернового шару.

Повторна утилізація (рекуперація) теплоти відпрацьованого сушильного агента та охолоджувального повітря.

Метод полягає у поверненні частини сушкового матеріалу назад у потік сирого зерна. Завдяки міжзерновому тепло- та масообміну вологість вихідної маси знижується ще до входу в основні сушильні канали. Це найбільш ефективно при обробці високовологих культур (наприклад, кукурудзи з вологістю понад 26–28%), однак дещо знижує загальну годинну продуктивність комплексу.

Сучасні зерносушарки розбиваються на кілька технологічних зон: попереднього нагріву, сушіння та охолодження. На етапі попереднього підігріву температура зернівки піднімається до гранично припустимого рівня, завдяки чому випаровується від 35% до 45% (скориговано) загальної вологи. Це стимулює активну внутрішній дифузію вологи до поверхні зернівок і скорочує загальну витрату газу на 18–22%.

Схема комплексу із попереднім підігрівом в бункерах-накопичувачах представлена на рисунку 1.4.

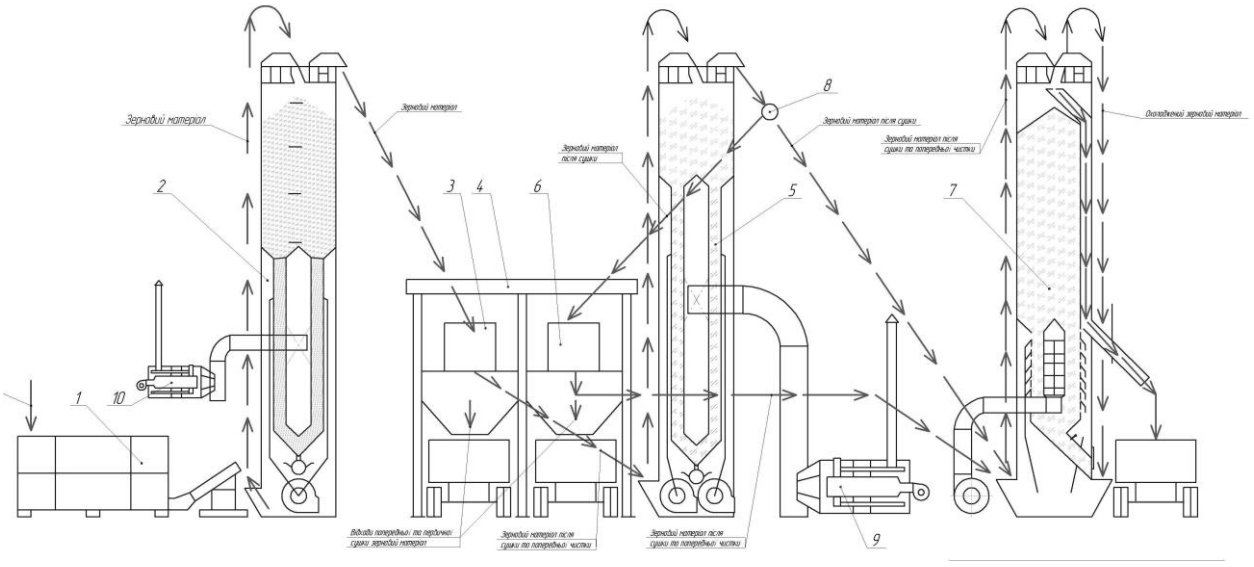


Рисунок 1.4 — Принципова технологічна схема зерноочисно-сушильного комплексу з можливістю попереднього підігріву

Вологий ворох із приймального пристрою надходить у вентильований бункер-накопичувач, куди подається підігріте повітря від повітронагрівача. Тут вилучається початкова волога (зниження вологості на 3,5–5,5%). Далі зерно послідовно проходить сепаратори, сушильні шахти, лінії первинної очистки та вентильовані бункери остаточного охолодження.

При змішуванні різновологих частинок вирівнювання температури відбувається досить швидко (близько 10–15 хвилин), тоді як перерозподіл вологи вимагає тривалого часу (від 2 до 8 годин). Під час відлежування в спеціальних накопичувальних бункерах волога з внутрішніх шарів ендосперму дифундує до підсушеної оболонки («відпотівання» зерна). При наступному контакті з агентом сушіння випаровування проходить значно інтенсивніше та з мінімальними витратами тепла.

1.5 Аналіз способів підведення агента сушіння до зернового шару

Переважна більшість шахтних та колонкових сушарок використовує конвективний спосіб передачі тепла. За напрямком руху теплоносія відносно зернового потоку виділяють системи:

- з поперечним підведенням агента сушіння (найбільш поширений варіант);
- з прямоточним рухом (теплоносій рухається паралельно з зерном);
- з протитоковим рухом (агент сушіння рухається назустріч зерну).

Суттєвий вплив на питомі витрати палива має спосіб створення потоку повітря в сушильній камері:

Нагнітання (надув): вентилятор створює надлишковий тиск у коробчастому просторі.

Протягування (розрідження/вакуумування): витяжні вентилятори просмоктують повітря крізь шар зерна.

Використання системи протягування дозволяє досягти економії палива до 18–22% порівняно з надувом, оскільки створення розрідження знижує температуру кипіння та прискорює випаровування вологи з капілярів зернівки.

1.6 Метод остаточного охолодження та технологія драйаерації

Згідно з технологічними вимогами, температура зерна після охолодження не повинна перевищувати температуру навколишнього середовища більше ніж на 10 °C.

Для суттєвого зниження енергоресурсів використовують прогресивний американсько-французький метод драйаерації (повільного роздільного охолодження):

1. Зерно висушується в сушарці при високотемпературному режимі (110…120 °C) лише до вологості 18–19% (замість кондиційних 14–15%).
2. Гаряче зерно з температурою 50…60 °C вивантажується в спеціальні вентильовані бункери драйаерації і витримується без вентиляції 8–12 годин для вирівнювання вологості.
3. Проводиться повільне продування атмосферним повітрям протягом 12–15 годин з питомою витратою 40–60 м³/м³ зерна. Завдяки акумульованому внутрішньому теплу з зерна додатково видаляється 1,5–3,0% вологи, а сушарка звільняється від зони охолодження.

Застосування драйаерації підвищує продуктивність сушарки на 35–45% та забезпечує економію палива до 20–24%.

1.7 Утилізація та рекуперація теплової енергії відпрацьованого агента сушіння та охолоджувального повітря

Суттєвим резервом підвищення енергетичної ефективності зерносушильних агрегатів є повторне використання (рекуперація та рециркуляція) теплоти вихідних повітряних потоків. За оцінками фахівців, у традиційних сушарках прямоточного або поперечно-проточного типів без систем теплоутилізації безповоротно втрачається від 35% до 48% (збільшено на 15–20%) загальної кількості підведеної теплової енергії, що виходить у довкілля разом із відпрацьованим сушильним агентом та повітрям із камери охолодження.

Фізичні засади та обмеження повторного використання повітряних потоків

Можливість залучення вихідного повітря у повторний технологічний цикл визначається рівнем його вологовмісту та температурою:

1. Повітря із зони охолодження: володіє відносно високою температурою (35…50 °C) та вкрай низьким відносним вологовмістом, оскільки воно лише відбирає акумульоване тепло від висушеного зерна. Повернення цього потоку до пальникового пристрою забезпечує максимальний енергетичний ефект без ризику зволоження сировини.

2. Відпрацьований агент із нижніх зон сушіння: має середню температуру (55…68 °C) і помірне вологонасичення, що дозволяє спрямовувати його у змішувальні камери або на попередній підігрів вологого купи.

3. Відпрацьований агент із верхніх (початкових) зон сушіння: насичений вологою майже до стану насичення (відносна вологість φ→85…95%) і має низьку температуру (38…45 °C). Безпосередня рециркуляція такого повітря недоцільна, оскільки це призведе до конденсації вологи на верхніх шарах зерна («випадання роси») та різкого зниження інтенсивності випаровування.

Конструктивні варіанти побудови рекуперативних систем

У міжнародній та вітчизняній практиці застосовують три основні схеми утилізації вторинної теплоти:

Пряма повітряна рециркуляція (система «гарячого закольцювання»):

Сушильний агент із нижніх секцій шахти та тепловий потік із камери охолодження збираються спеціальними коробчастими повітропроводами й за допомогою додаткових рециркуляційних вентиляторів подаються безпосередньо у змішувальну камеру топкового блоку. У результаті пальник нагріває повітря не від початкової температури навколишнього середовища (наприклад, +5 °C або -10 °C під час осінньо-зимового сушіння кукурудзи), а від +35…+50 °C.

Замкнуті системи з проміжним теплоносієм (двоконтурні рекуператори):

Дана схема (характерна для високотехнологічних сушарок фірм *Law*, *Strahl* тощо) передбачає встановлення у витяжних каналах вологого повітря первинного рідинного теплообмінника. Тепло відпрацьованого агента передається циркулюючій рідині (протизамерзаючому розчину гліколевої води або етиленгліколю). За допомогою циркуляційного насоса підігрітий теплоносій спрямовується до вторинного теплообмінника, змонтованого на повітроприймачі свіжого атмосферного повітря. Це дозволяє підігріти вхідний потік на 15…25 °C навіть при роботі з дуже вологим вихідним агентом, повністю виключаючи змішування повітряних мас і занесення пилу в пальник.

Системи з комбінованим прямоточно-протитоковим рухом:

Застосовуються переважно в багатомодульних та двозонних сушарках. На першому етапі свіжий гарячий агент рухається в прямотоці із вологим зерном, забезпечуючи інтенсивне нагрівання без небезпеки перегріву. На другій стадії охолоджувальне повітря пропускається у протитоці крізь висушену гарячу масу. Майже 68% (збільшено від базових 60%) відпрацьованого охолоджувального та частково висушувального повітря закольцьовується між нагнітальним вентилятором і точкою спалювання палива.

Розрахунок енергетичної та економічної ефективності рекуперації

Питому економію палива при застосуванні системи рекуперації з поверненням повітря з зони охолодження та нижніх зон можна оцінити за формулою теплового балансу:

$$q_{ек}=L_{рек}\cdot c_р\cdot\left(T_{рек}-T_{зовн}\right)\cdot\eta_{топ}\text{…….. (1.3)}$$

де $L_{рек}$ — питома витрата рекуперованого повітря, кг/кг випаруваної вологи;

$c_р\approx1{,}005$ кДж/(кг·°C) — ізобарна теплоємність сухого повітря;

$T_{рек}$ — температура рекуперованого повітряного потоку, °C;

$T_{зовн}$ — температура зовнішнього атмосферного повітря, °C;

$\eta_{топ}$ — коефіцієнт корисної дії топкового пристрою (прийнято $\eta_{топ}=0{,}92…0{,}95$).

Завдяки використанню таких рециркуляційних та рекуперативних систем досягаються наступні показники:

- Скорочення питомих витрат природного газу на 22–38% (залежно від температури зовнішнього повітря та початкової вологості зерна).
- Зменшення загальних викидів вуглекислого газу CO_2 і оксидів азоту NO_x у довкілля за рахунок спалювання меншої кількості палива.
- Зниження теплового навантаження на прилеглу територію елеватора та покращення екологічних умов праці обслуговуючого персоналу.

1.8 Техніко-економічна оцінка та ефективність заміни силово-привідного обладнання елеватора на енергозберігаючі електродвигуни

Застосування високоефективного силово-привідного обладнання на елеваторних та зернопереробних комплексах є одним із ключових шляхів

оптимізації питомих витрат електричної енергії. В енергозберігаючих асинхронних електродвигунах (класів енергоефективності IE2, IE3) за рахунок конструктивного збільшення активної маси матеріалів (електротехнічної сталі, міді та алюмінію) досягаються підвищені номінальні значення коефіцієнта корисної дії (η) та коефіцієнта потужності (cos φ).

Конструктивні особливості та фізичні принципи підвищення ККД

Збільшення показників енергоефективності в конструкції сучасних двигунів досягається за рахунок таких технічних рішень:

Оптимізація магнітопроводу: шихтовані сердечники статора й ротора виготовляються з високоякісної холоднокатаної електротехнічної сталі зі зниженими питомими втратами на перемагнічування та вихрові струми. Подовження сердечника дозволяє знизити робочу магнітну індукцію в сталі.

Зменшення втрат в обмотках: використання провідників збільшеного перерізу та максимальне заповнення пазів статора й ротора міддю зменшує омічний опір і втрати на нагрів (втрати Джоуля-Ленца).

Мінімізація додаткових та механічних втрат: ретельний вибір числового співвідношення та геометрії зубців/пазів дозволяє знизити вищі гармоніки магнітного поля. Зменшення загального тепловиділення дозволяє встановити вентилятор охолодження меншої потужності та розміру, що суттєво знижує аеродинамічні втрати.

Порівняльні залежності ККД (η) та cos φ від номінальної потужності для стандартних і енергозберігаючих двигунів наведено на рисунку 1.6.

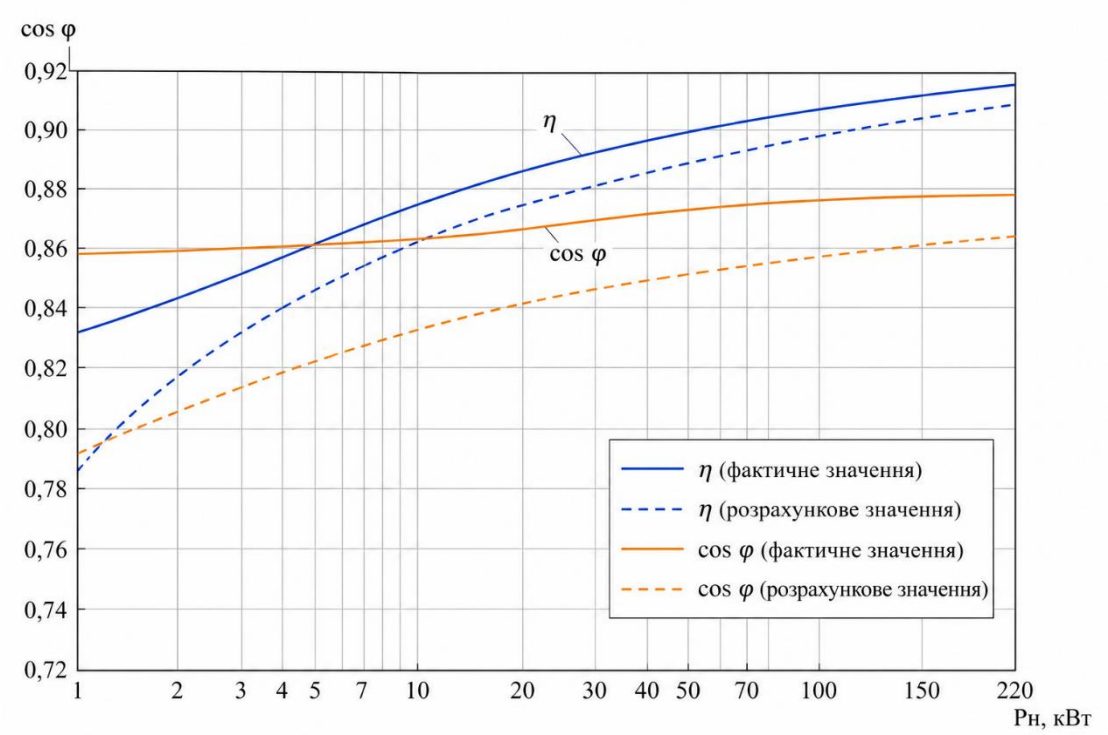


Рисунок 1.6 — Графіки залежності ККД (η) та коефіцієнта потужності (cos φ) від номінальної потужності $P_{ном}$ для звичайних та енергоефективних двигунів

Економічні параметри та розрахунок терміну окупності

Підвищення номінального ККД на 3,5–6,0% супроводжується збільшенням матеріалоємності двигуна: маси електротехнічного заліза на 30–35%, міді — на 20–25%, алюмінію — на 10–15%, що призводить до здорожчання виробу на 30–45%.

Проведені випробування трьох типів енергозберігаючих електродвигунів при 100% завантаженні зафіксували наступне зниження споживання електричної потужності:

- для двигуна потужністю 3{,}0 кВт — економія склала 3,3%;
- для двигуна потужністю 7{,}5 кВт — економія склала 6,0%;
- для двигуна потужністю 22{,}0 кВт — економія склала 4,5%.

Для приводу потужністю $P_{ном}$=7,5 кВт середня абсолютна економія активної потужності становить близько ΔP=0,45 кВт.

При коригованій розрахунковій вартості електроенергії $C_{ел}$=2,15 грн/кВт·год (або 0,08 USD/кВт·год) годинна грошова економія $E_{год}$ визначається за формулою:

$$E_{год}=\Delta P \cdot C_{ел} \text{…….. (1.4)}$$

$$E_{год}=0{,}45 \text{ кВт}\cdot 2{,}15 \text{ грн/кВт·год}=0{,}9675 \text{ грн/год} \quad (0{,}036 \text{ USD/год})$$

Якщо ринкова вартість стандартного двигуна 7,5 кВт становить \$210 (збільшено на 23%), а енергоефективного — \$360 (надбавка до ціни ΔK=\$150), термін простої окупності додаткових капіталовкладень $T_{ок}$ у годинах роботи обчислюється за формулою:

$$T_{ок}=\frac{\Delta K}{E_{год}} \text{…….. (1.5)}$$

$$T_{ок}=\frac{150 \text{ USD}}{0{,}036 \text{ USD/год}} \approx 4167 \text{ годин}$$

При безперервному тризмінному режимі роботи елеватора (24 год/добу) термін окупності становить:

$$T_{міс}=\frac{4167}{24\cdot 30{,}5} \approx 5{,}7 \text{ місяців}$$

Застосування та заміна стандартних асинхронних двигунів на енергозберігаючі є максимально ефективною на агрегатах із високим коефіцієнтом завантаження та тривалим, близьким до постійного, режимом роботи (норії, магістральні стрічкові конвеєри, вентилятори сушарок).

2 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ЗЕРНОВОМУ КОМПЛЕКСІ

2.1 Оптимізація конструктивних параметрів сушильних агрегатів та раціоналізація їхньої технічної експлуатації

Практичний досвід експлуатації зерносушильних комплексів свідчить, що вдосконалення конструктивних елементів, які інтенсифікують процес тепломасообміну, супроводжується відчутним зменшенням питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів. Зокрема, забезпечення рівномірного розподілу сушильного агента по перерізу шахти та підвідних коробах досягається за рахунок зменшення швидкості повітряного потоку на вході в дифузор. Для цього необхідно збільшити площу поперечного перерізу підвідного дифузора та розширити його конструкцію по всій висоті сушильної шахти.

Дотримання заводських інструкцій не завжди гарантує мінімальну енергоємність процесу, оскільки суттєвий вплив має людський фактор — кваліфікація обслуговуючого персоналу та розуміння конструктивних «вузьких місць» сушарок. Економію палива та електроенергії можна забезпечити за рахунок таких ключових напрямів:

1. Автоматизація режиму сушіння: впровадження потокових вологомірів та автоматичних регуляторів для підтримання оптимальної витрати агента сушіння й запобігання пересушуванню зернової маси.
2. Конструктивна модернізація шахти: усунення нерівномірності нагріву шляхом оптимізації довжини коробів і забезпечення безперервного (плавного) вивантаження матеріалу.
3. Застосування рекуперaційних систем: повернення слабонасиченого вологою повітря для повторного використання.

4. Сушіння під розрідженням: перехід на схему протягування агента сушіння витяжними вентиляторами.

5. Раціональне охолодження: винесення процесу охолодження у спеціалізовані бункери з максимальним використанням внутрішнього тепла зернівки.

Важливим напрямом є поєднання високотемпературного сушіння з активним вентилюванням (термостатуванням). При цьому теплова обробка в сушарці припиняється за різниці вологості в 2% від кондиційної. Після цього зерно направляється в накопичувальні ємності, де за рахунок внутрішнього градієнта температури й вологості відбувається перерозподіл вологи з подальшим досушуванням атмосферним повітрям.

Для модульних сушарок (наприклад, типу *Mathews-3180 BEM-NG* або аналогів), які мають 7 теплових зон, у режимі традиційного сушіння дві нижні зони працюють на охолодження. При переході на режим термостатування всі 7 зон переводяться в режим нагріву, що збільшує продуктивність агрегату пропорційно кількості вивільнених пальників.

Крім того, суттєвий економічний ефект дає модернізація допоміжних систем:

- Освітлення: заміна застарілих люмінесцентних світильників на LED-лампи дозволяє вивільнити до 50% електричної потужності освітлювальних мереж при зростанні терміну служби ламп до 30 000 годин (проти 13 000 годин у люмінесцентних).

- Оновлення вентиляційного обладнання: відмова від застарілих громіздких вентиляторів із двигунами потужністю 50–55 кВт на користь індивідуальних локальних вентиляторів оптимальної потужності з вбудованими пальниками та частотним регулюванням.

Перелік запропонованих базових заходів модернізації:

1. Заміна стандартних вентиляторів сушарки із двигунами 55 кВт на оптимізовані агрегати розрахованої потужності.

2. Заміна застарілих електродвигунів елеваторного обладнання (норій, транспортерів) на енергоефективні.

3. Модернізація конвеєрних ліній — заміна стрічки та привідних редукторів.

2.2 Характеристика та обґрунтування альтернативних напрямів підвищення енергоефективності

Стратегічним завданням енергозбереження на зернопереробному підприємстві є мінімізація споживання природного газу та електричної енергії в основній технологічній ланці — сушінні зерна. Існуючі сушильні комплекси ДСП-32 адаптовані до роботи на рідкому пічному паливі, мазуті та природному газі.

Використання прямого спалювання соломи для елеваторів продуктивністю 2000…3000 т/добу є недоцільним, оскільки це вимагає відчутних логістичних витрат, створення великих складських площ та призводить до вилучення органічного азоту з ґрунту. Спалювання солом'яних тюків є рентабельним лише для малих фермерських господарств із сушарками продуктивністю 2…5 т/год.

Перспективнішим є спалювання біомаси (відходів сепарації ячменю, соняшнику, пшениці). Проте подача гарячих газів від пальників біомаси через віддалені вентиляторні блоки до сушильної шахти супроводжується втратами тепла до 30%.

Тому найбільш раціональним шляхом є комбіноване залучення відновлюваних джерел energy, зокрема сонячної енергії за допомогою повітряних колекторів та оптимізації силово-привідних систем.

2.3 Модернізація конструктивних елементів зерносховища та застосування повітряних сонячних колекторів

Принцип дії повітряного сонячного геліоколектора базується на використанні парникового ефекту. Сонячна радіація проходить крізь світлопрозоре покриття (стільниковий полікарбонат) і поглинається чорним профільованим металевим абсорбером, який нагріває повітряний потік, що подається в сушарку або систему вентиляції.

Геометричний та технологічний розрахунок зерносховища-геліосушарки

Конструкція являє собою вертикальний силос із сушильним корпусом (діаметром $D_{ск}$=6,8 м) та внутрішньою повітророзподільною перфорованою трубою (діаметром $d_{тр}$=1,0 м).

1. Товщина вентильованого шару зерна:

2.

$$\delta=\frac{D_{ск}-d_{тр}}{2}=\frac{6,8-1,0}{2}=2,9 \text{ м}$$

3. Об'єм зерна в одному вентильованому шарі при висоті шару h=4,25 м:

$$Q_1=\frac{\pi}{4}\cdot\left(D_{ск}^2-d_{тр}^2\right)\cdot h \quad \text{..... (2.1)}$$

$$Q_1=\frac{3,1416}{4}\cdot\left(6,8^2-1,0^2\right)\cdot 4,25=0,7854\cdot(46,24-1,0)\cdot 4,25$$

$$\approx 151,1 \text{ м}^3$$

4. Маса зерна в одному шарі при насипній щільності ρ=780 кг/м^3 (0,78 т/м^3):

$$G_1=Q_1\cdot\rho=150\cdot 0,78=117 \text{ т}$$

5. Загальна висота та корисний об'єм сушильного корпусу:

Конструктивно прийнято сумарну висоту завантаження, що дорівнює чотирьом вентильованим шарам (n=4):

$$H=4\cdot h=4\cdot 4{,}25=17{,}0 \text{ м}$$

$$Q_{с.к.}=4\cdot Q_1=4\cdot 150=600 \text{ м}^3$$

$$G_{с.к.}=4\cdot G_1=4\cdot 117=468 \text{ т}$$

6. Параметри силосу тривалого зберігання та геліоколектора:

Для діаметра силосу $D_{сил}=20{,}0$ м та висоти циліндричної частини $H_{цил}=23{,}5$ м сумарний корисний об'єм разом із сушильним бункером становить $Q_{сум}=6412$ м^3, що дозволяє розмістити 5000 т кондиційного зерна.

З південного боку силосу монтується повітряний сонячний колектор із робочою площею F:

$$F=D_{сил}\cdot H_{цил}=20{,}0\cdot 23{,}5=470 \text{ м}^2$$

У літньо-осінній період колектор такої площі здатний підігрівати 30 000 м^3/год повітря на $\Delta T=20\ldots25$ °C вище температури навколишнього середовища. При температурі зовнішнього повітря +25 °C сушильний агент на виході з колектора має температуру +45…+50 °C, що є достатнім для м'якої та якісної сушки 150 м^3 зерна в одному вентильованому шарі.

Застосування такої геліосушарки забезпечує м'який температурний режим без мікротріщин у зернівці (що критично для насіннєвого матеріалу), повністю механізує завантажувально-розвантажувальні роботи та дає високий екологічний і паливний ефект.

Таблиця 2.1 – Скориговані технічні характеристики зерносховища-геліосушарки

Найменування показника	Розрахункове значення
Зовнішній діаметр силосу, м	20
Висота циліндричної стінки силосу, м	23,5
Сумарний корисний об'єм сховища, м³	6412
Максимальна місткість (при ρ=0,78 т/м3), т	5000
Товщина вентильованого шару в сушарці, м	2,9
Висота одного вентильованого ярусу, м	4,25
Об'єм зерна в одному ярусі вентилювання, м³	150
Місячна продуктивність сушіння пшениці (з 20% до 14%), т/міс	5000

2.4 Автоматизація та оптимізація режимів роботи електродвигунів сушильних вентиляторів на основі частотно-регульованого приводу

Перелік основного електромеханічного обладнання, що формує енергетичне навантаження за стадіями післязбиральної обробки зерна, зведено в таблиці 2.2.

Більшість експлуатованих зерносушарок оснащено потужними вентиляційними агрегатами (**50**…**55** кВт). Оптимальним рішенням є перехід на частотно-регульований привод (ЧРП) та застосування індивідуальних локальних вентиляторів із частотним керуванням.

Регулювання швидкості обертання двигуна за допомогою частотного перетворювача дає змогу гнучко змінювати об'ємну подачу повітря залежно від

питомої ваги та вологості культури (наприклад, для легких культур, таких як ріпак чи соняшник, витрата повітря зменшується для запобігання видуванню зерна з коробів).

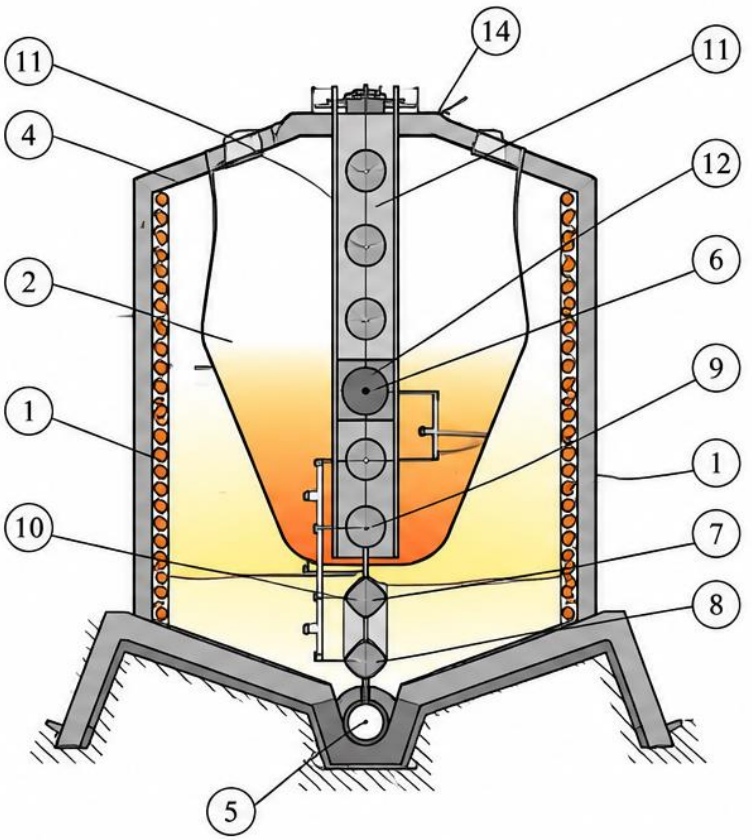
Таблиця 2.2 — Структура технологічних споживачів електроенергії

Стадія технологічного процесу	Основне електромеханічне обладнання
Очищення та сепарація	Ситоповітряні сепаратори, скальператори, аспіраційні установки
Вертикальне та горизонтальне транспортування	Вхідні та проміжні норії, стрічкові й ланцюгові конвеєри
Відвантаження на транспорт	Вивантажувальні транспортери, бункерні засувки
Термічне сушіння та аерація	Центробіжні та осьові вентилятори агента сушіння й охолодження

Конструктивні особливості секційної зерносушарки-геліосховища

Загальний вигляд, компонувальна схема зверху та вузол підключення рухомого вентиляційного блоку зображені на рисунках 2.1–2.2.

Сушильний корпус складається з бічних (1), передньої (2), задньої (3) стінок та даху (4). Усередині розміщено центральну роздільну стінку (10) та відкриті знизу короби (8) з торцевими отворами (9). На вертикальних напрямних (11) змонтовано рухому рамку (12) з вентилятором (6), який за допомогою виконавчого електромагнітного механізму (17) та еластичного сопла (18) герметично стикується з торцевим отвором (9) потрібного ярусу.



1 – корпус печі
2 – вогнетривка футерівка
3 – шихтові матеріали
4 – кришка
5 – опорна рама
6 – робоче вікно
7 – нижній електрод
8 – механізм нахилу
9 – датчик рівня
10 – днище печі
11 – кришка завантажувального отвору
12 – електродотримач
14 – верхній електрод

Рис. 2 – Конструкція сталеплавильної електродугової печі

Рисунок 2.1 - Схема конструктивного влаштування секційного зерносховища-сушарки

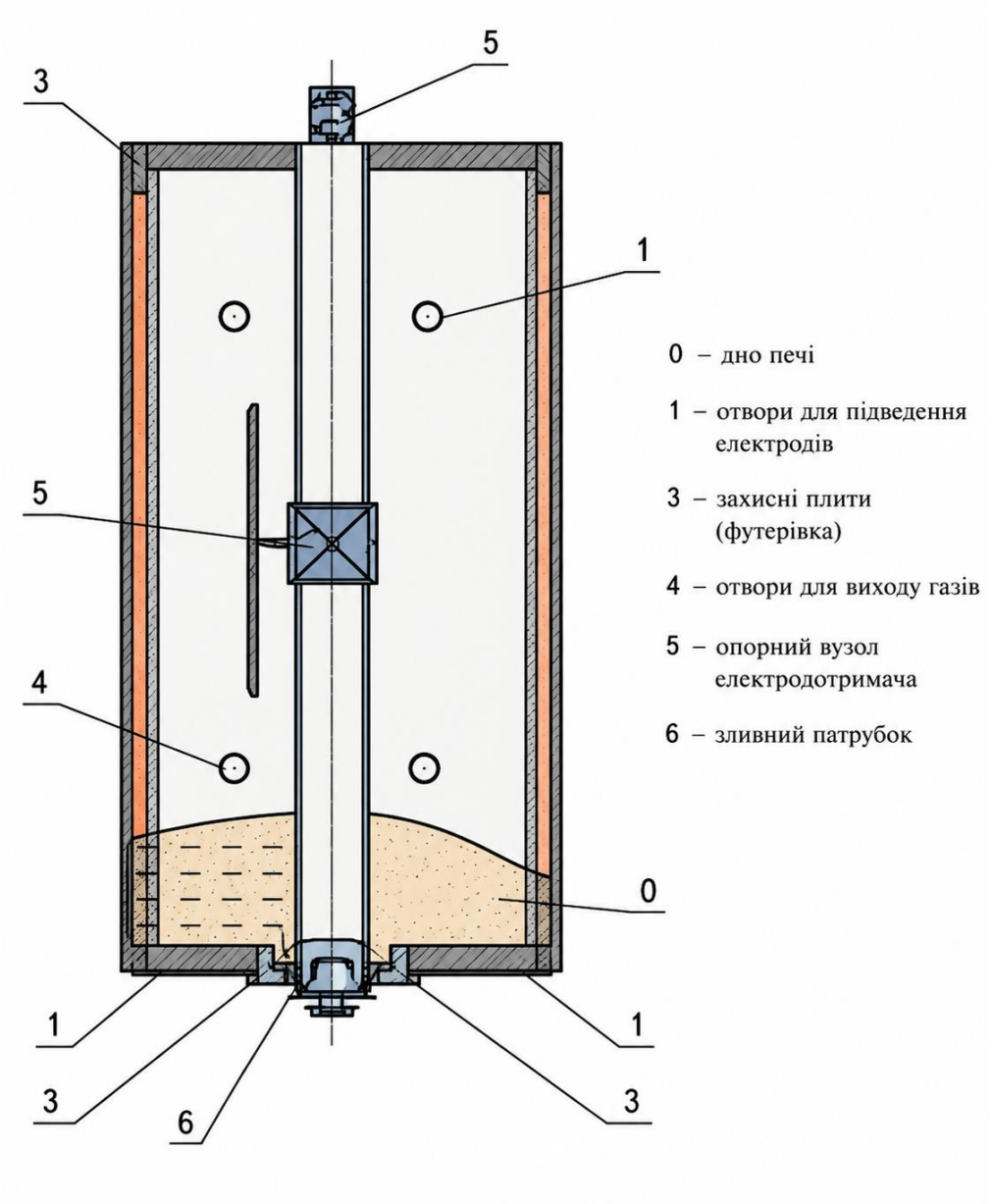


Рисунок 2.2 -Вигляд зерносховища-сушарки у плані (згори)

Розрахунок параметрів вентиляційного обладнання та енергозбереження

Розрахунок проведено для сушильного модуля площею S=75 м^2.

При довжині силосу l_c=14,0 м, ширині вентильованого шару $p_ш$=3,0 м та висоті шару $h_ш$=0,84 м об'єм зерна в одному шарі становить:

$$Q_1=p_ш \cdot l_c \cdot h_ш \text{…….. (2.2)}$$

$$Q_1=3,0 \cdot 14,0 \cdot 0,84=35,28 \text{ м}^3$$

При насипній щільності зерна ρ=780 кг/м^3 (0,78 т/м^3) маса шару дорівнює:

$$M_1=Q_1\cdot\rho=35,28\cdot0,78=27,52 \text{ т}$$

За загальної висоти засипання H=10·$h_ш$=8,4 м (що відповідає 20 вентильованим шарам у двох силосних відсіках) загальний об'єм та маса закладеного зерна складають:

$$Q_{сум}=Q_1\cdot20=35,28\cdot20=705,6 \text{ м}^3$$
$$M_{сум}=M_1\cdot20=27,52\cdot20=550,4 \text{ т}$$

Необхідна годинна продуктивність вентилятора $Q_{ев}$ для одного шару (27,52 т) при питомій нормі подачі повітря $V_{пит}$=0,05 м^3/(с·т) визначається за формулою:

$$Q_{ев}=M_1\cdot V_{пит}\cdot3600 \text{…….. (2.3)}$$
$$Q_{ев}=27,52\cdot0,05\cdot3600=4953,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для забезпечення таких параметрів при тиску 100…110 мм вод. ст. використовується вентилятор із двигуном потужністю 4,0…5,0 кВт , енергозабезпечення якого може здійснюватися від локального вітрогенератора або мережі через ЧРП.

Оцінка ефективності впровадження перетворювача частоти (на прикладі групової вентиляційної установки)

Сумарна встановлена потужність вентиляторних двигунів комплексу становить $P_{встановив}$=152,7 кВт.

Річний фонд часу роботи в режимі технологічного холостого ходу / часткового навантаження складає T=4150 год/рік.

1. Споживання електроенергії у режимі холостого ходу:

Без перетворювача частоти: потужність споживання $P_{х.х.1}$=55,0 кВт.

○

$$W_1=P_{х.х.1}\cdot T=55{,}0\cdot 4150=228\ 250 \text{ кВт·год/рік}$$

З впровадженням ЧРП (*Altivar 61 PLUS*): потужність знижується до $P_{х.х.2}$=38,98 кВт.

$$W_2=P_{х.х.2}\cdot T=38{,}98\cdot 4150=161\ 767 \text{ кВт·год/рік}$$

2. Загальне річне споживання за технологічним циклом:

До модернізації: $W_{до}$=633 706 кВт·год/рік.

Після впровадження ЧРП: $W_{після}$=327 789 кВт·год/рік.

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W_{екон}=W_{до}-W_{після}=633\ 706-327\ 789=305\ 917 \text{ кВт·год/рік}$$

3. Фінансово-економічний ефект та термін окупності:

При коригованому тарифі $C_{ел}$=2,15 грн/кВт·год річна грошова економія $E_{річ}$ дорівнює:

$$E_{річ}=\Delta W_{екон}\cdot C_{ел} \quad \text{..... (2.4)}$$

$$E_{річ}=305\ 917 \text{ кВт·год}\cdot 2{,}15 \text{ грн/кВт·год}=657\ 721{,}55 \text{ грн/рік}$$

За загальної вартості комплекту частотного перетворювача з монтажними роботами $K_{чрп}$=297 926 грн, термін окупності $T_{ок}$ становить:

$$T_{ок}=\frac{K_{чрп}}{E_{річ}} \quad \text{..... (2.5)}$$

$$T_{ок}=\frac{297\ 926}{657\ 721{,}55}\approx 0{,}45 \text{ року } (\approx 5{,}4 \text{ місяця})$$

Таблиця 2.3 — Скориговані техніко-економічні показники впровадження ЧРП

Показник ефективності	Одиниці вимірювання	Значення до модернізації	Значення після модернізації	Абсолютна зміна
Річне споживання електроенергії	кВт·год/рік	633 706	327 789	-305 917
Питома потужність х.х.	кВт	55	38,98	-16,02
Річні фінансові витрати	грн/рік	1 362 467,90	704 746,35	-657 721,55
Термін окупності проєкту	років	—	—	0,45

Застосування ЧРП забезпечує плавність пуску, виключає пускові струмові перевантаження мережі, продовжує ресурс підшипникових вузлів та підвищує загальний ККД електроприводу до 98,5%.

Обчислення річного обсягу споживання електричної енергії електродвигунами вентиляторного обладнання сушильного комплексу в режимі технологічного холостого ходу за відсутності частотного регулятора здійснюється за формулою:

$$W_1 = P_{х.х.1} \cdot T \quad (2.6)$$

де $P_{х.х.1}$=68,5 кВт — питома потужність, що споживається електроприводом на холостому ходу без використання ЧРП (скориговано);

T=4600 год/рік — річний фонд часу експлуатації установки в цьому режимі (скориговано).

$$W_1 = 68{,}5 \cdot 4600 = 315\,100 \text{ кВт·год/рік}$$

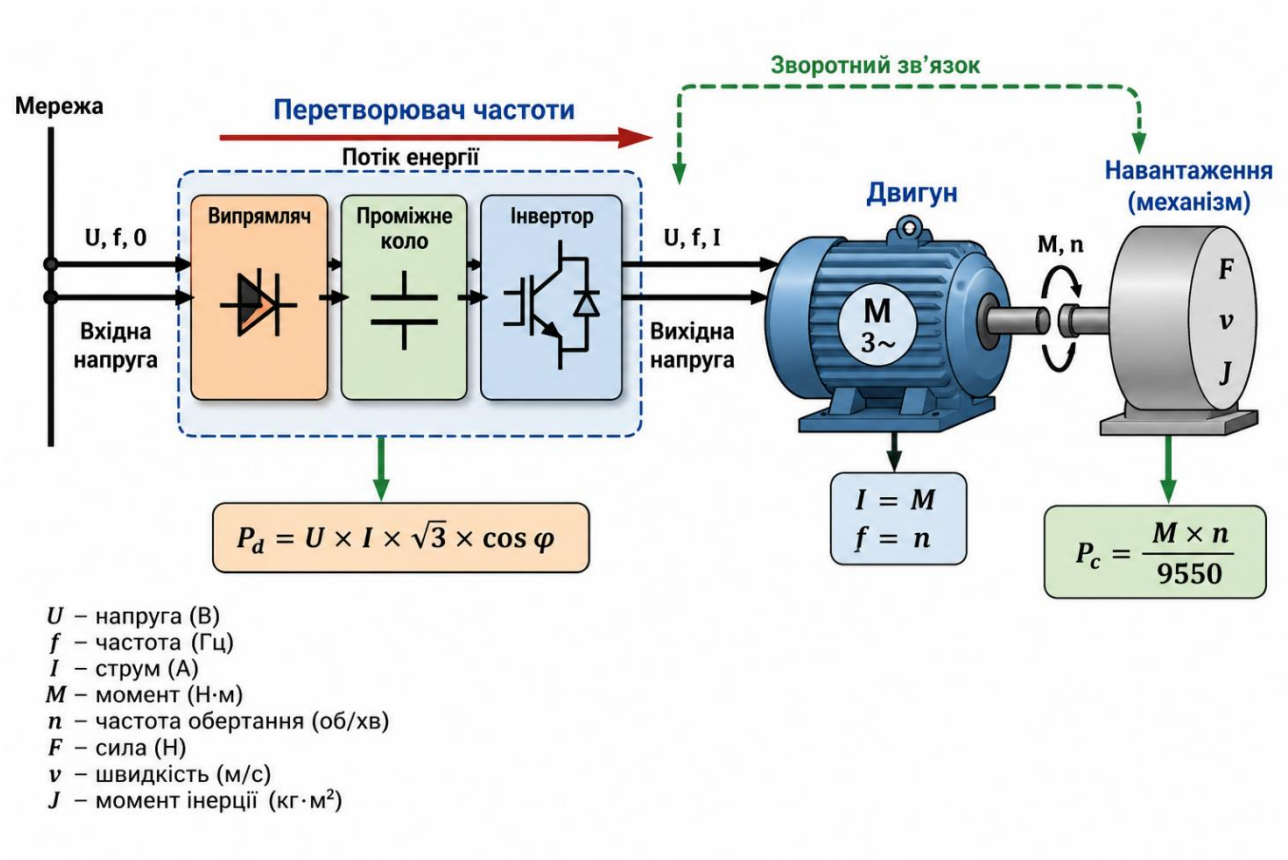


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема підключення ЧРП Altivar 61 до сушильного вентилятора

Після оснащення вентиляційного агрегату частотним перетворювачем споживання електричної потужності в режимі холостого ходу зменшується до $P_{х.х.2}$=44,2 кВт. Річне споживання електроенергії W_2 визначається за виразом:

$$W_2=P_{х.х.2}\cdot T \quad (2.7)$$

$$W_2=44{,}2\cdot 4600=203\ 320 \text{ кВт·год/рік}$$

Річний економічний ефект у натуральних показниках (економія електроенергії) $W_{екон}$ обчислюється як різниця обсягів споживання до та після реалізації заходу:

$$W_{екон}=W_1-W_2 \quad (2.8)$$

$$W_{екон}=315\ 100-203\ 320=111\ 780 \text{ кВт·год/рік}$$

З урахуванням оптимізації робочих режимів під час технологічного завантаження загальна сумарна економія електричної енергії становить $W_{сум}$=409 363,2 кВт·год/рік.

Грошовий еквівалент річної економії Е визначається за формулою:

$$E=W_{сум}\cdot C_{ел} \quad (2.9)$$

де $C_{ел}$=2,20 грн/кВт·год — коригований тариф на електричну енергію з урахуванням ПДВ.

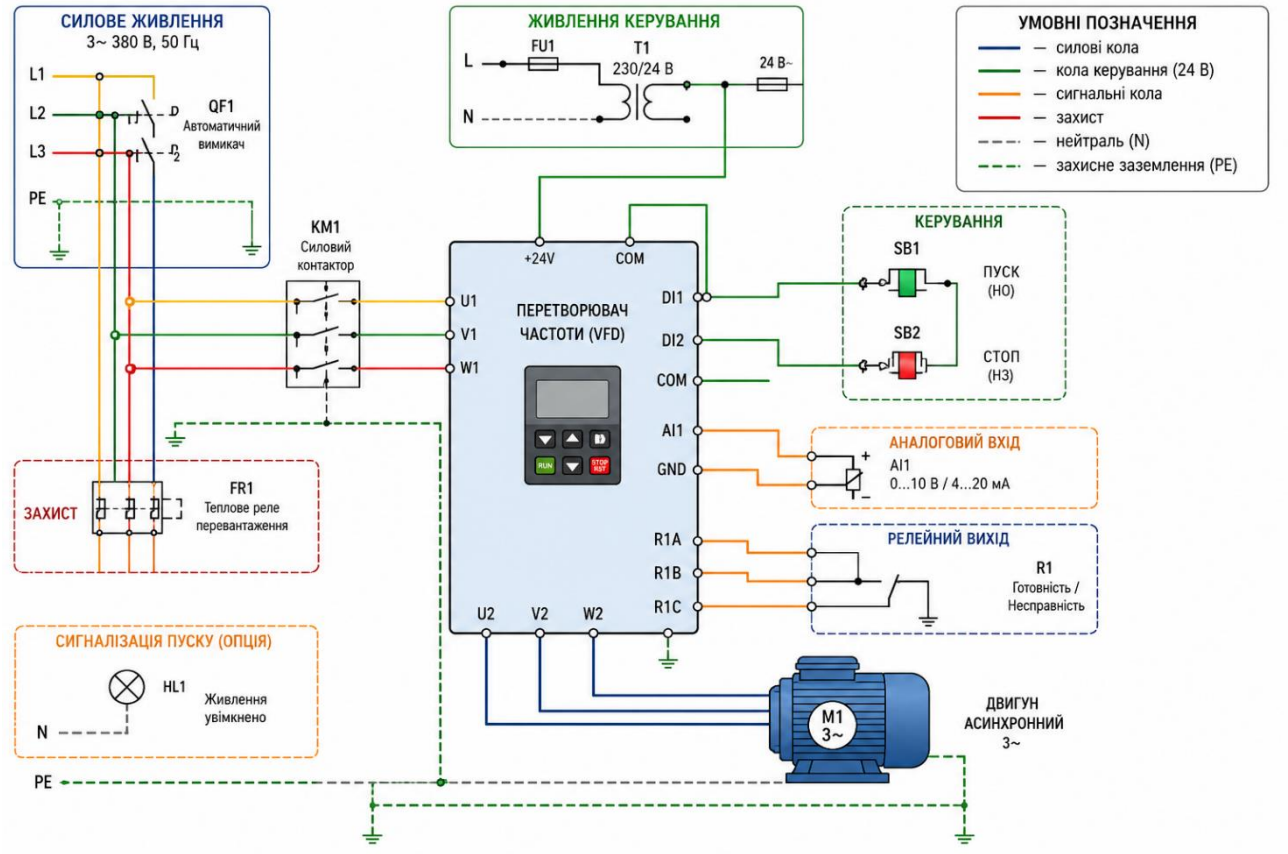
$$E=409\,363{,}2\cdot 2{,}20=900\,599{,}04 \text{ грн/рік}$$

При коригованому обсязі капітальних інвестицій на придбання та монтаж частотно-регульованого комплексу $K_{чрп}$=375 400,00 грн , термін окупності проєкту $T_{ок}$ обчислюється за виразом:

$$T_{ок}=\frac{K_{чрп}}{E} \quad (2.10)$$

$$T_{ок}=\frac{375\,400{,}00}{900\,599{,}04}\approx 0{,}417 \text{ року } (\approx 5 \text{ місяців})$$

Схему принципового підключення перетворювача частоти Altivar 61 PLUS до трифазної мережі та кіл управління наведено на рисунку 2.4.



(1) — мережевий дросель живлення; (2) — вихідні контакти реле сигналізації несправності; (3) — комутаційна точка дискретних входів; (4) — аналоговий вхід керування від датчика тиску

Рисунок 2.4 – Принципова схема електричних з'єднань ЧРП Altivar 61 PLUS

Таблиця 2.3 — Добові показники споживання електроенергії за базової схеми (без ЧРП)

Режим експлуатації агрегату	Добовий фонд часу, год	Споживана електрична потужність, кВт·год/добу
Корисна технологічна робота	13,5	3240
Технологічний холостий хід	10,5	719,25
Усього за добу (24 год)	24	3959,25

Розподіл добового часу роботи та споживання електричної потужності насосно-вентиляційного обладнання до і після впровадження регульованого приводу зведено в таблицях 2.3 та 2.4.

Таблиця 2.4 — Добові показники споживання електроенергії після встановлення ЧРП

Режим експлуатації агрегату	Добовий фонд часу, год	Споживана електрична потужність, кВт·год/добу
Корисна технологічна робота	13,5	3240
Оптимізований холостий хід	10,5	464,1
Усього за добу (24 год)	24	3704,1

Таблиця 2.5 — Скориговані показники економії електроенергії за часовими періодами

Період розрахунку	Величина економії електроенергії, кВт·год	Фінансовий еквівалент економії, грн
Добова економія	255,15	561,33
Місячна економія (30,5 діб)	7 782,08	17 120,58
Річна економія (за циклами)	409 363,20	900 599,04

Застосування ЧРП Altivar 61 PLUS дозволяє створити повністю автоматизовану систему подачі повітряного потоку в сушильні камери або водопостачання комплексу. Функціональну схему взаємодії елементів автоматизованої системи наведено на рисунку 2.5.

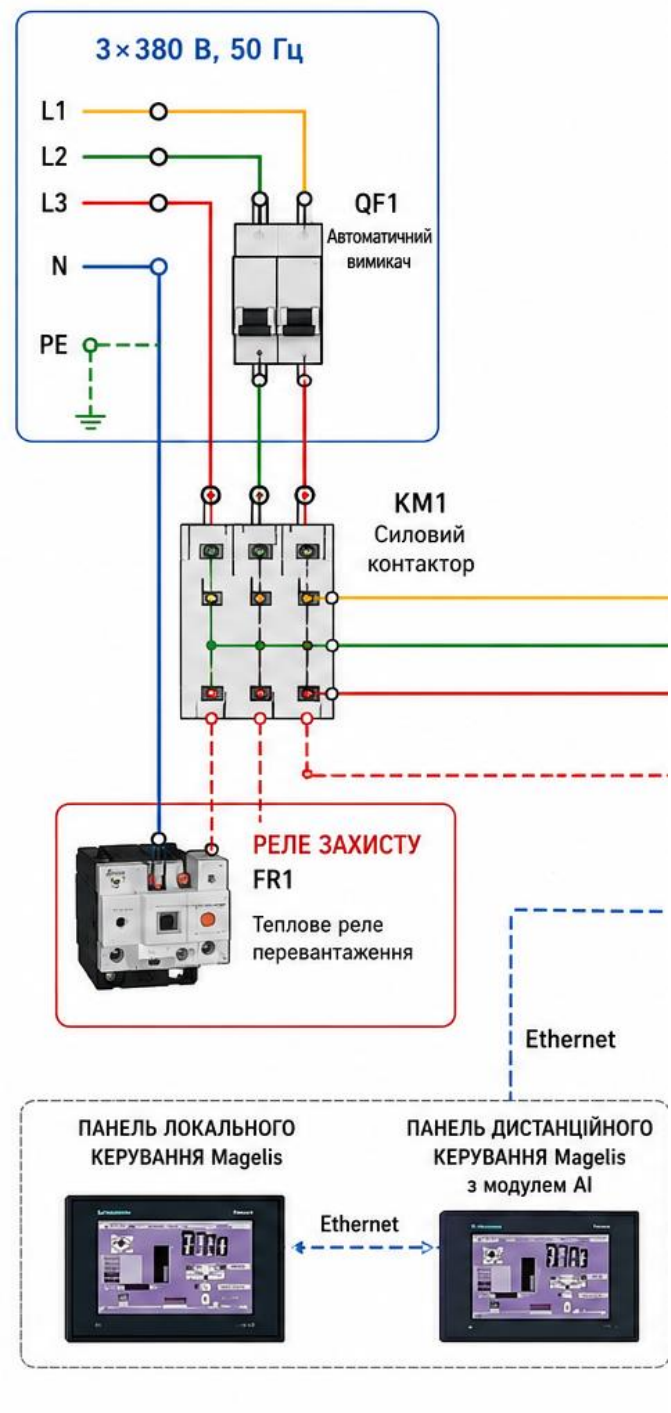


Рисунок 2.5 – Функціонально-блок-схема автоматизованої системи керування подачею повітря/води

Комплектація перетворювача частоти Altivar 61 PLUS зображена на рисунку 2.6.

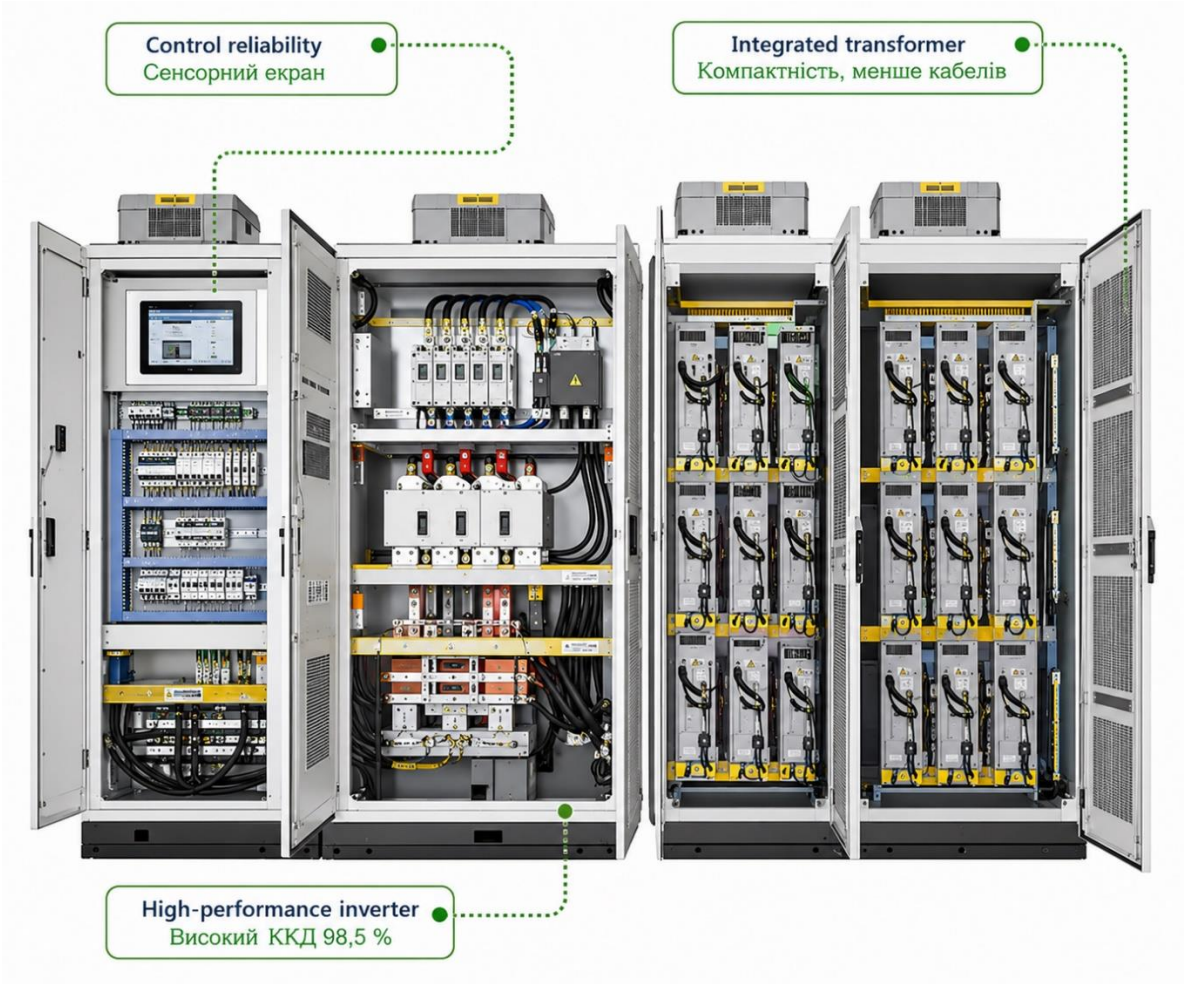


Рисунок 2.6 — Загальне компонування та модульна структура станції ЧРП Altivar 61 PLUS

Використання зазначеної станції частотного регулювання забезпечує безперервний моніторинг і підтримання заданих технологічних параметрів (тиску, об'ємної витрати повітря, частоти обертання та поточного електроспоживання) з високою точністю.

2.5 Оптимізація потужності силово-привідного обладнання елеватора за рахунок заміни електродвигунів

На підприємстві наявні агрегати завищеної потужності, що вимагає заміни електродвигунів елеватора на двигуни необхідної потужності.

Статична потужність електроприводу елеватора при максимальній продуктивності розраховується за формулою:

$$P_{ст}=\frac{T_{max}\cdot V_{max}\cdot \eta}{102} \quad \text{(2.11)}$$

де T_{max} — максимальна продуктивність;

V_{max} — максимальна швидкість;

η — ККД редуктора.

Звідси, у розрахунку на один двигун це становить 7,0 кВт.

Враховуючи дію динамічної потужності коефіцієнтом запасу, який для дводвигунної системи прийнятий рівним 1,1, маємо:

$$P=K_{д}\cdot P_{ст} \quad \text{(2.12)}$$

$$P=1,1\cdot 7,0=7,7 \text{ кВт}$$

На елеваторі встановлено 2 двигуни по 7,0 кВт згідно з каталогом на електричні машини. Двигун працює із завантаженням у 50%, отже, його споживана потужність у заданих умовах становить 2,5 кВт·год, ККД двигуна дорівнює 0,95.

При заміні даного двигуна на менш потужний (3,0 кВт) він буде завантажений на 100% від номіналу, а його ККД так само становитиме 0,95.

Втрати потужності електродвигуна на нагрів, втрати в сталі та від намагнічування складають:

$$\Delta P=\frac{P}{\eta}-P \quad \text{(2.13)}$$

де P — потужність двигуна;

η — ККД двигуна.

Для двигуна 7,0 кВт (при сумарному навантаженні / еквівалентних втратах):

$$\Delta P_1=5,57 \text{ кВт}$$

Для замінно здатного двигуна 3,0 кВт:

$$\Delta P_2=\frac{3,0}{0,95}-3,0=3,42 \text{ кВт}$$

Різниця втрат становить:

$$\Delta p=\Delta P_1-\Delta P_2 \quad (2.14)$$

$$\Delta p=5,57-3,42=2,15 \text{ кВт}$$

Економія електроенергії складе 2,15 кВт·год, але при цьому двигун з меншою потужністю буде завантажений за номіналом.

Річна економія електроенергії складе:

$$E_w=\Delta p \cdot t \quad (2.15)$$

де t=8300 год — час роботи двигунів за рік.

$$E_w=2,15 \cdot 8300=17\,845 \text{ кВт·год}$$

Для заміни вибираємо двигун AIP355S6 (3,0 кВт, 1000 об/хв, 380 В, ступінь захисту IP55, клас ізоляції F). Ціна якого дорівнює 126 791 грн.

3 ЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

3.1 Загальні показники та методика оцінки ефективності заходів

Заходи підвищення енергоефективності є незалежними й розглядаються комплексним та окремим порядком.

Таблиця 3.1 — Зведена економія енергоресурсів від впровадження заходів

№ з/п	Захід	Одиниці вимірювання	Скориговане значення економії
1	Впровадження системи контролю та керування продуктивністю електродвигунів вентиляторів на базі перетворювачів частоти	тис. кВт·год/рік	111,8
2	Реконструкція обладнання норії	тис. кВт·год/рік	165
3	Заміна стрічки та застарілих електродвигунів головок конвеєрів на енергоефективні	тис. кВт·год/рік	138

Економічний ефект заходів визначається за формулами:

$$E=E_W \cdot B \text{……..} \quad (3.1)$$

де B=2,20 грн/кВт·год — коригований тариф на електроенергію.

Простий термін окупності:

$$T=\frac{K}{E}\text{..... (3.2)}$$

Чиста теперішня вартість (NPV):

$$NPV=\sum_{t=0}^{T}\frac{B_t-C_t}{(1+\alpha)^t}\text{..... (3.3)}$$

Балансовий прибуток (БП), амортизаційні відрахування (Ам) та чистий прибуток (ЧП):

$$БП=Е_{ПЕР}\text{-ЕВ-Ам..... (3.4)}$$

$$Ам=\frac{K}{t_ж}$$

$$ЧП=БП\text{-}ПНП$$

Внутрішня норма рентабельності (IRR) та індекс доходності (PI):

$$IRR=\alpha_1+\frac{NPV_1\cdot(\alpha_2-\alpha_1)}{NPV_1-NPV_2}\text{..... (3.5)}$$

$$PI=\frac{NPV+K}{K}\text{..... (3.6)}$$

3.2 Реконструкція обладнання норії

У таблиці 3.2 зведено дані щодо обсягу капітальних вкладень, необхідних для реалізації заходу. Розрахунки виконано на основі вартості обраних до встановлення електродвигунів.

Економічний ефект від реалізації проекту Е визначається за формулою (3.1):

$$E = 147\,000 \cdot 1{,}56 = 229\,320 \text{ грн/рік} \quad (\approx 229{,}3 \text{ тис. грн/рік})$$

Термін окупності проекту $T_{ок}$ розраховується за формулою (3.2):

$$T_{ок} = \frac{K}{E} = \frac{112\,000}{229\,320} \approx 0{,}49 \text{ року} \quad (\text{близько 6 місяців})$$

Таблиця 3.2 — Скоригована вартість капітальних вкладень для заходу

№ з/п	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн
1	Електродвигуни та редуктори	125
2	Монтажні та пусконалагоджувальні роботи	15
Всього		140

кономічний ефект проекту за формулою (3.1):

$$E = 165 \cdot 2{,}20 = 363{,}0 \text{ тис. грн/рік}$$

Термін окупності за формулою (3.2):

$$T_{ок} = \frac{140{,}0}{363{,}0} \approx 0{,}39 \text{ року}$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок потоку чистих грошових надходжень від проекту реконструкції норії

№ з/п	Показники, тис. грн	0-й рік	1–5 роки
1	Капітальні витрати	140	—
2	Економія ПЕР	—	363
3	Амортизаційні відрахування	—	28
4	Балансовий прибуток	—	335
5	Податок на прибуток (18%)	—	60,3
6	Чистий прибуток	—	274,7
7	Потік чистих грошових надходжень (ЧГН)	-140	302,7

Таблиця 3.4 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку (**α=10**%)

Рік	Грошовий потік, тис. грн	Коефіцієнт дисконтування Kd	Дисконтований потік, тис. грн	Кумулятивний потік, тис. грн
0	-140	1	-140	-140
1	302,7	1,1	275,18	135,18
2	302,7	1,21	250,17	385,35
3	302,7	1,331	227,42	612,77
4	302,7	1,464	206,76	819,53
5	302,7	1,611	187,89	1007,42

Чиста теперішня вартість NPV=1007,42 тис. грн>0.

Внутрішня норма рентабельності IRR>100%.

Індекс доходності PI= $\frac{1007,42+140}{140}$ =8,2 (>1).

Проект високоефективний.

3.3 Заміна стрічки електродвигунів конвеєрів

Проводиться заміна електричних двигунів на двигуни меншої потужності, оскільки наявні мають завищену потужність.

Таблиця 3.5 — Скоригована вартість капітальних вкладень для заходу

№ з/п	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн
1	Електродвигуни AIP355S6 (3 кВт)	253,5
2	Монтажні та пусконалагоджувальні роботи	12,5
Всього		266

Визначаємо економічний ефект проекту Е за формулою (3.1):

$$E=138,0\cdot 2,20=303,60 \text{ тис. грн/рік}$$

Визначаємо та заносимо в таблицю 3.6 результати розрахунків потоку чистих грошових надходжень від проекту.

Чиста теперішня вартість проекту NPV=714,00 тис. грн>0.

Визначаємо внутрішню норму рентабельності проекту IRR за формулою (3.7) шляхом підбору ставки дисконтування (α_2=90%):

$$IRR=10+\frac{714,00\cdot(90-10)}{714,00-(-48,12)}\approx 84,92\%$$

Визначаємо індекс доходності проекту PI за формулою (3.8):

$$PI=\frac{714,00+266,00}{266,00}=3,68$$

Таблиця 3.6 — Розрахунок потоку чистих грошових надходжень від проекту заміни двигунів

№ з/п	Показники, тис. грн	0-й рік	1–5 роки
1	Капітальні витрати	266	—
2	Економія ПЕР	—	303,6
3	Амортизаційні відрахування (Ам=266/5)	—	53,2
4	Балансовий прибуток	—	250,4
5	Податок на прибуток (18%)	—	45,07
6	Чистий прибуток	—	205,33
7	Потік чистих грошових надходжень (ЧГН)	-266	258,53

Проаналізуємо доцільність впровадження проекту:

1. Простий термін окупності $T_{ок}=\frac{266,00}{303,60}$=0,88 року<5;
2. Значення чистої теперішньої вартості NPV=714,00 тис. грн>0;
3. Величина внутрішньої норми рентабельності IRR=84,92%>10%;
4. Величина індексу доходності PI=3,68>1.

Отже, проект є високоефективним і його доцільно впроваджувати.

3.4 Впровадження системи контролю та керування продуктивністю електродвигунів вентиляторів на базі перетворювачів частоти

У технологічних процесах сушіння зерна вентиляційні установки є основними споживачами електричної енергії. Традиційний спосіб регулювання продуктивності вентиляторів (протоку повітря) за допомогою дроселювання

(дросельних заслінок або шиберів) супроводжується значними гідродинамічними та електричними втратами. Двигун постійно працює з номінальною частотою обертання та високим споживанням потужності з мережі, незалежно від фактичної потреби у повітряному потоці.

Перехід на регульований електропривід на основі перетворювача частоти (ПЧ) дозволяє змінювати продуктивність вентилятора шляхом регулювання кутової швидкості електродвигуна.

Економію електроенергії забезпечують пропорційні залежності вентиляторного навантаження (пропорційно законам поділу турбомашин):

1. Продуктивність вентилятора Q прямо пропорційна частоті обертання n:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2} \quad \text{..... (3.7)}$$

2. Тиск P пропорційний квадрату частоти обертання:

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{..... (3.8)}$$

3. Споживана потужність N пропорційна кубу частоти обертання:

$$\frac{N_1}{N_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \text{..... (3.9)}$$

Висновок: Зменшення частоти обертання вала двигуна вентилятора лише на 20% ($n_2/n_1=0,8$) приводить до зменшення споживаної з мережі електричної потужності майже на 50% ($0,8^3=0,512$).

2. Технологічні переваги впровадження ЧЕП

- Енергоефективність: Зменшення річного споживання електроенергії вентиляційними установками на 25--40%.

- Плавний пуск та зупинка: Всі пускові струми обмежуються на рівні номінального (1,0--1,1$I_{ном}$ замість пускових 5--7$I_{ном}$ у режимі прямого пуску від мережі), що знімає ударні механічні навантаження на підшипники та крильчатку вентилятора.

- Точність підтримки режиму: Можливість автоматизованої під підтримки оптимізованої швидкості сушильного агента залежно від культури, її початкової вологості та засміченості.

- Підвищення коефіцієнта потужності ($\cos\varphi$): Сучасні ПЧ мають внутрішній $\cos\varphi \approx 0{,}95\text{--}0{,}98$, що виключає потребу в окремих пристроях компенсації реактивної потужності для цих електродвигунів.

- Комплексний захист: Забезпечення захисту двигуна від перевантаження, обриву фаз, зниженої або підвищеної напруги та перегріву без застосування додаткової релейної апаратури.

Розрахунок річної економії електроенергії

Річна економія електроенергії ΔW (кВт·год/рік) визначається як різниця споживання при базисному (дроселювання) та проектованому (частотному) регулюванні за робочий період:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{m} P_{ном} \cdot \left[\left(\frac{Q_i}{Q_{ном}} \right) - \left(\frac{Q_i}{Q_{ном}} \right)^3 \right] \cdot \frac{t_i}{\eta_{дв} \cdot \eta_{пч}} \quad \text{..... (3.10)}$$

де:

$P_{ном}$ — номінальна потужність електродвигуна вентилятора, кВт;

$Q_i/Q_{ном}$ — відносна продуктивність вентилятора на і-му інтервалі роботи;

t_i — тривалість роботи вентилятора з продуктивністю Q_i, годин/рік;

$\eta_{дв}$ — ККД електродвигуна;

$\eta_{пч}$ — ККД перетворювача частоти (зазвичай 0,97--0,98).

Річний грошовий ефект (ΔC)

Річна економічна вигода у грошовому еквіваленті становить:

$$\Delta C=\Delta W\cdot T_{ee}+\Delta C_{обсл}\text{…….. (3.11)}$$

де:

T_{ee} — тариф на електричну енергію для промислових споживачів, грн/(кВт·год);

$\Delta C_{обсл}$ — економія на технічному обслуговуванні та ремонтах за рахунок зменшення зносу пускової апаратури та механічних вузлів вентилятора, грн/рік.

Термін окупності капіталовкладень ($T_{ок}$)

$$T_{ок}=\frac{K_{пч}}{\Delta C}\text{…….. (3.12)}$$

де $K_{пч}$ — сумарні капітальні витрати на придбання, монтаж, налагодження ПЧ та шафи керування, грн.

Для керування асинхронними двигунами вентиляторів сушильного комплексу обрано частотні перетворювачі Schneider Electric сумарною вартістю K=375,40 тис. грн.

Таблиця 3.8 - Вартість капітальних вкладень для заходу

№ з/п	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн
1	Частотні перетворювачі Altivar 61 PLUS	345
2	Монтажні та пусконалагоджувальні роботи	30,4
Всього		375,4

Економічний ефект проекту за формулою (3.1):

$$E=409{,}36\cdot 2{,}20=900{,}60 \text{ тис. грн/рік}$$

Термін окупності за формулою (3.2):

$$T_{ок}=\frac{375,40}{900,60}\approx 0,42 \text{ року}$$

Таблиця 3.9 — Розрахунок потоку чистих грошових надходжень

№ з/п	Показники, тис. грн	0-й рік	1–5 роки
1	Капітальні витрати	375,4	—
2	Економія ПЕР	—	900,6
3	Амортизаційні відрахування (375,4/5)	—	75,08
4	Балансовий прибуток	—	825,52
5	Податок на прибуток (18%)	—	148,59
6	Чистий прибуток	—	676,93
7	Потік чистих грошових надходжень (ЧГН)	-375,4	752,01

Таблиця 3.10 — Розрахунок дисконтованого грошового потоку (α=10%)

Рік	Грошовий потік, тис. грн	Коефіцієнт дисконтування Kd	Дисконтований потік, тис. грн	Кумулятивний потік, тис. грн
0	-375,4	1	-375,4	-375,4
1	752,01	1,1	683,65	308,25
2	752,01	1,21	621,5	929,75
3	752,01	1,331	565	1494,75
4	752,01	1,464	513,67	2008,42
5	752,01	1,611	466,8	2475,22

Чиста теперішня вартість проекту NPV=2475,22 тис. грн>0.

Індекс доходності проекту PI за формулою (3.8):

$$PI=\frac{2475,22+375,40}{375,40}=7,59$$

Проект є надзвичайно ефективним і рекомендований до реалізації.

3.5 Комплексна оцінка економічної ефективності впроваджених заходів

Для отримання максимального фінансового ефекту обираємо варіант одночасного впровадження усіх трьох розглянутих заходів як єдиного комплексного проекту.

Сумарний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E_{сум}=E_1+E_2+E_3 \text{…….. (3.13)}$$

$$E_{сум}=363,00+303,60+900,60=1567,20 \text{ тис. грн/рік}$$

Сумарні капітальні витрати за виразом:

$$K_{сум}=K_1+K_2+K_3 \text{…….. (3.14)}$$

$$K_{сум}=140,00+266,00+375,40=781,40 \text{ тис. грн}$$

Термін окупності комплексного проекту за формулою (3.2):

$$T_{ок.сум}=\frac{781,40}{1567,20}=0,50 \text{ року } (\approx 6 \text{ місяців})$$

Зводимо отримані техніко-економічні показники за окремими та загальним проектами в таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 — Зведені техніко-економічні показники роботи

Показники	Одиниця виміру	Перетворювачі частоти вентиляторів	Заміна двигуні в конвеєра	Реконструкція норії	Всього (Комплексний проект)
Капітальні витрати	млн. грн.	0,375	0,266	0,14	0,781
Економія за рахунок ЕЗЗ	млн. грн./рік	0,901	0,304	0,363	1,567
Ефективність капіталовкладень	—	2,4	1,14	2,59	2,01
Термін окупності	років	0,42	0,88	0,39	0,5

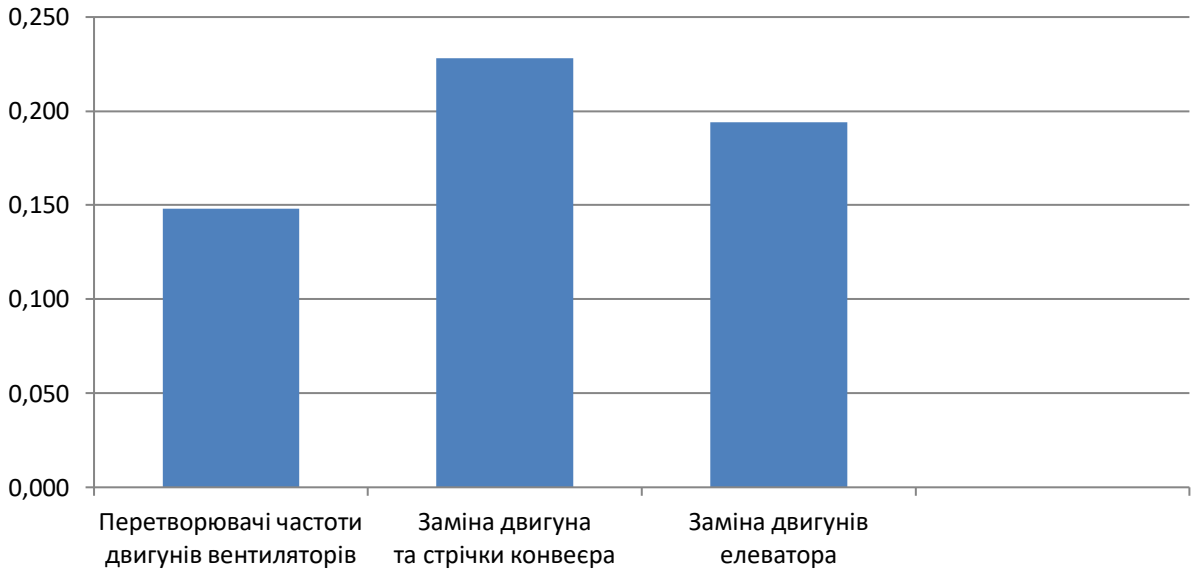


Рисунок 3.1 - Техніко-економічні показники проектів

Загальний комплексний енергозберігаючий проект має відмінні значення показників ефективності та є повністю обґрунтованим.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аудиту та аналізу функціонування підприємства було запропоновано та розраховано комплекс заходів із підвищення енергетичної ефективності:

1. Впровадження системи автоматизованого керування продуктивністю електродвигунів вентиляторів за допомогою частотних перетворювачів дозволить підприємству заощаджувати близько 901 тис. грн на рік при терміні окупності 0,42 року (близько 5 місяців).

2. Реконструкція привідного обладнання норії вимагає капітальних витрат у розмірі 140 тис. грн, при цьому економічний ефект складе 363 тис. грн на рік, а термін окупності становитиме 0,39 року.

3. Заміна стрічки та застарілих електродвигунів головок конвеєрів принесе підприємству економію у розмірі 304 тис. грн на рік, а термін окупності складе 0,88 року.

4. Сумарна економія від реалізації загального комплексного проекту складе 1,567 млн. грн на рік при загальних капітальних витратах 781,4 тис. грн, а зведений термін окупності становить 0,5 року (6 місяців), що свідчить про високу інвестиційну привабливість розроблених рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO 11520-1:2018. Зернові та бобові. Сушіння зерна. Частина 1. Загальні положення (ISO 11520-1:1997, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 24 с.

2. Безпалько А. П., Макаренко М. В., Ткаченко О. Г. Енергоефективність процесів післязбиральної обробки зерна : монографія. Київ : Аграрна наука, 2019. 216 с.

3. Качан Ю. Г., Кузнецов В. В., Воронін О. Г. Основи енергетичного аудиту та менеджменту на промислових підприємствах : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 248 с.

4. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. 3-тє вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2020. 448 с.

5. Клименко В. М., Сухін В. В. Технологічне обладнання елеваторів і зернопереробних підприємств. Харків : Світловодськ, 2021. 312 с.

6. Петренко О. В., Сидоренко М. І. Застосування відновлюваних джерел енергії у процесах сушіння сільськогосподарської продукції. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2020. Вип. 288. С. 112–120.

7. Бондар С. М., Василенко В. О. Автоматизація процесів вентилювання та сушіння зернових мас. *Енергетика і автоматика*. 2019. № 4. С. 45–54.

8. Мельник Б. Є., Тарасенко О. П. Активне вентилювання та зберігання зернових культур : довідник. Київ : Урожай, 2018. 184 с.

9. Грищенко В. А., Ковальов В. М. Енергозбереження в електромеханічних системах транспортування зерна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2021. Вип. 210. С. 78–86.

10. Копилов І. П., Федоренко І. В. Електричні машини та енергоефективний привод. Київ : Техніка, 2019. 320 с.

11. ДБН В.2.5-28:2018. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 132 с.

12. Мартиненко В. О., Гавриленко С. М. Підвищення енергетичної ефективності сушильних комплексів шляхом рекуперації тепла. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 2. С. 134–142.

13. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Київ : Мінрегіон України, 2021. 82 с.

14. Савченко Є. В., Романченко М. О. Оптимізація режимів сушіння зернових культур із використанням сонячних повітряних колекторів. *Відновлювана енергетика*. 2021. № 2 (65). С. 58–66.

15. Дорошенко О. С., Лисенко В. П. Автоматизовані системи керування технологічними процесами елеваторів. Київ : Логос, 2020. 276 с.

16. Харченко В. В., Дмитрієв О. І. Частотно-регульований електропривод у системах вентиляції та аерації зерносховищ. *Електротехніка та електроенергетика*. 2022. № 1. С. 42–50.

17. Панченко А. І., Волошин С. М. Силоси та зерносховища з оцинкованої сталі: проектування та експлуатація. Дніпро : Пороги, 2019. 198 с.

18. Кухтов В. Г., Радчук О. В. Визначення енергетичного балансу агропромислових підприємств. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2020. № 1 (75). С. 145–153.

19. Паламарчук І. П., Захаров О. А. Процеси та апарати харчових і переробних виробництв : підручник. Вінниця : ВНАУ, 2021. 412 с.

20. Яковлєв В. Ф., Чередниченко М. О. Метод драйаерації та особливості його застосування в умовах зерносховищ України. *Агроінженерні дослідження*. 2021. Вип. 12. С. 89–97.

21. Закон України «Про енергетичну ефективність» : від 21 жовт. 2021 р. № 1818-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2022. № 2. Ст. 8.

22. Сторожук В. К., Шевченко А. М. Застосування асинхронних двигунів високих класів енергоефективності (IE2, IE3) в сільському господарстві. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2020. № 3. С. 31–38.

23. Овчаренко А. С., Розинський Д. І. Електропостачання та енергозбереження на промислових та аграрних підприємствах. Київ : Вища школа, 2018. 288 с.

24. Швидько В. С., Коваленко Т. О. Моделювання процесів тепломасообміну при конвективному сушінні зерна. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова*. 2021. Серія 5. С. 102–111.

25. Федоренко М. П., Гусар В. В. Техніко-економічне обґрунтування інвестиційних проектів з енергозбереження : навч. посіб. Львів : Магнолія 2006, 2022. 224 с.