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 _Оцінка енергоефективності роботи електрообладнання дільниці пресування_____

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)
_____Черниш О. О._____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.т.н., проф. Саблін О.І.
(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

_____Чернишу Олександру Олексійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Оцінка енергоефективності роботи електрообладнання дільниці пресування_____
керівник роботи Саблін О.І. д.т.н., проф._____
(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: Структура електроспоживання за групами навантаження: Електроапарати технологічних процесів - 37,43%, Загальна потужність електродвигунів - 67%, Електрообладнання освітлення - 13,48%|
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Оцінка можливостей підвищення енергоефективності та економії електроенергії 2) Технічна реалізація заходів із раціонального електроспоживання 3) Обґрунтування економічної доцільності реалізації енергозберігаючого проєкту
5 Перелік графічного матеріалу _1) Структурна діаграма та склад встановленої потужності електроспоживачів 2) Схема однолінійна принципова 3) План цеху неформованих вогнетривів 4) Функціональна схема автоматичного регулювання швидкості тиристорного електроприводу 5) Принципова електрична схема

силового живлення та керування перетворювача частоти (IGBT-інвертора) асинхронного двигуна

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Саблін О.І. д.т.н., проф.		
Розділ 2	Саблін О.І. д.т.н., проф.		
Розділ 3	Саблін О.І. д.т.н., проф.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання стапів роботи	Примітка
1	Оцінка можливостей підвищення енергоефективності та економії електроенергії	01.03.2026	
2	Технічна реалізація заходів із раціонального електроспоживання	01.04.2026	
3	Обґрунтування економічної доцільності реалізації енергозберігаючого проєкту	10.05.2026	

Студент _____ (підпис) Черниш О. О. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ (підпис) О.І. Саблін (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 52 сторінки, 11 рисунків, 17 таблиць, 20 джерел.

Об’єктом дослідження є режими електроспоживання та функціонування енергетичного господарства ПрАТ «Запоріжвогнетрив», яке характеризується високою енергоємністю виробничих процесів.

Предмет дослідження охоплює методи та засоби підвищення рівня енергоефективності підприємства, а також оцінку техніко-економічної доцільності впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробці та обґрунтуванні комплексу технічних і організаційних рішень, спрямованих на оптимізацію електроспоживання цеху неформованих вогнетривів ПрАТ «Запоріжвогнетрив», зі встановленням їхньої техніко-економічної ефективності.

У розрахунково-технічному розділі виконано аналіз втрат активної та реактивної потужності й електроенергії в елементах цехової мережі. На основі одержаних результатів запропоновано комплекс енергозберігаючих заходів.

У техніко-економічному розділі проведено обчислення показників інвестиційної привабливості та оцінку економічного ефекту від реалізації розроблених енергозберігаючих проєктів.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, КУМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЗМІШУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.

ЗМІСТ

Вступ……..……. 7
1. Оцінка можливостей підвищення енергоефективності та економії електроенергії 10
1.1. Коротка характеристика та аналіз режимів експлуатації об'єкта 10
1.2. Класифікація та аналітичний огляд електроспоживачів підприємства …… 12
1.3. Аналіз електроспоживання та сукупного навантаження 13
1.3.1. Характеристика встановлених електроприймачів 13
1.3.2. Динаміка та помісячний графік електроспоживання 15
1.4. Можливості та потенційні заходи з енергозбереження в цеху 16
1.4.1. Використання енергозберігаючих електродвигунів 17
1.4.2. Оцінка доцільності впровадження засобів компенсації реактивної потужності 19
1.4.3. Впровадження високоефективних джерел штучного освітлення в приміщеннях ВРП 21
2. Технічна реалізація заходів із раціонального електроспоживання 24
2.1. Обґрунтування застосування засобів компенсації реактивної потужності 24
2.1.1. Розрахунок втрат електричної потужності в силовому трансформаторному парку 24
2.1.2. Визначення втрат потужності в кабельних лініях системи електропостачання 27
2.1.3. Вибір типу та потужності компенсуючих пристроїв 30
2.2. Модернізація приводу змішувального пристрою 35
2.3. Перехід на енергоефективне освітлення 36
2.4. Модернізація змішувального пристрою зі зміною схеми керування37

2.5. Вибір засобів вимірювання та приладів комерційного обліку електроенергії ..... …….41
3. Обґрунтування економічної доцільності реалізації енергозберігаючого проєкту 42
3.1. Визначення техніко-економічних показників енергозберігаючих заходів 43
3.1.1. Розрахунок економічної ефективності модернизації змішувального обладнання 43
3.1.2. Техніко-економічне обґрунтування переходу на сучасні освітлювальні прилади 44
3.1.3. Розрахунок економічного ефекту від зменшення втрат потужності шляхом компенсації ……..... 45
3.2. Узагальнені техніко-економічні результати реалізації комплексних енергозберігаючих рішень …….. 48
Висновки…….…….....50
Перелік посилань……..……..…...51

ВСТУП

Сьогоденні економічні та екологічні реалії висувають питання раціонального використання й збереження паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у статус першочергових завдань для кожного господарюючого суб'єкта та суспільства загалом. Поступове вичерпання природних родовищ традиційних енергоносіїв на території України, що супроводжується ускладненням умов їх видобутку та зростанням супутніх ризиків, змушує шукати нові шляхи забезпечення енергетичної стійкості. Оскільки альтернативна та відновлювана енергетика в Україні перебуває на етапі активного становлення й поки не займає домінуючої частки у загальному балансі, єдиним ефективним та оперативно реалізованим інструментом залишається тотальна економія та підвищення ефективності використання наявних ресурсів.

Загальносвітовий енергетичний сектор демонструє стійку тенденцію до нарощування обсягів генерації та споживання енергії, де найбільш динамічно зростаючим сегментом виступає електрична енергія. Навіть із урахуванням глибокої структурної трансформації вітчизняного промислового сектору та його переходу на високоефективне обладнання, загальні потреби в електроенергії й теплоносіях у подальші десятиліття будуть лише зростати.

У більшості розвинених держав світу політика енергозбереження є одним із наріжних каменів загальнонаціональної економічної стратегії, а питання підвищення ККД використання ПЕР у всіх без винятку галузях щороку стає дедалі актуальнішим. Тому фундаментальним завданням українського уряду є забезпечення належного рівня енергоефективності національної економіки як гарантії її суверенітету та незалежності від зовнішніх постачальників.

Стратегічна задача на цьому шляху полягає в тому, щоб, з одного боку, зберегти й розвинути кадровий, науковий і творчий потенціал держави, а з

іншого — створити стійкий ринковий попит на енергоефективні інновації та розробки.

Під час впровадження енергозберігаючих рішень на промислових об'єктах головною метою є зростання енергетичної ефективності. Внутрішній енергозберігаючий потенціал підприємства можна визначити як цілісну систему поточних і перспективних, внутрішніх та зовнішніх можливостей, а також мобілізаційної здатності керівництва й виробничого персоналу дбайливо перетворювати доступні вхідні ресурси задля оптимізації питомих енерговитрат на одиницю випущеної продукції.

Попри наявність значного потенціалу раціоналізації енергоспоживання, на мікрорівні (окремих суб'єктів господарювання) питанню впровадження енергозберігаючих технологій все ще приділяється недостатньо уваги. Цей процес стримується низкою об'єктивних чинників:

- дефіцитом власних та залучених фінансових ресурсів;
- постійним зростанням тарифів на енергоносії;
- дефіцитом висококваліфікованих інженерних кадрів;
- відсутністю дієвих мотиваційних механізмів для промислових підприємств щодо реалізації безвитратних і низьковитратних заходів.

Управління інноваційним розвитком енергетичного господарства та реалізація енергозберігаючих рішень стають можливими лише за умов створення дієвого економіко-організаційного механізму господарювання, що спирається на внутрішній інноваційний потенціал об'єкта.

Ключовий потенціал сконцентрований безпосередньо у сфері кінцевого споживання, насамперед електричної енергії. Важливим напрямком для об'єкта, що досліджується в цій роботі, є зниження втрат електроенергії у проміжних ланках обладнання, силових електроприймачах та розподільних електричних мережах, де втрати нерідко сягають 30 відсотків.

У кваліфікаційній роботі виконується поглиблений аналіз режимів електроспоживання цеху неформованих вогнетривів ПрАТ «Запоріжвогнетрив», на основі якого розробляється й обґрунтовується

комплекс технічних заходів з енергозбереження. Окрему увагу приділено безпечним умовам праці та охороні праці на виробництві.

Практична реалізація запропонованих рішень є повністю обґрунтованою та дозволить суттєво зменшити абсолютний обсяг річного споживання електроенергії підприємством ПрАТ «Запоріжвогнетрив». Завдяки цьому досягається суттєве зниження собівартості готової продукції. У межах реалізації енергетичної політики ключовим вектором є вдосконалення механізмів фінансування проектів, зокрема стимулювання самофінансування. За умов обмеженості прямих інвестицій доцільно передбачити формування внутрішньозаводських фондів енергозбереження за рахунок пільгового оподаткування приросту прибутку, отриманого від реалізованих заходів.

1. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1. Коротка характеристика та аналіз режимів експлуатації об’єкта

ПрАТ «Запоріжвогнетрив» належить до п'ятірки провідних виробників вогнетривкої продукції серед країн СНД та виступає найбільшим спеціалізованим підприємством вогнетривкої галузі в Україні. Компанія володіє унікальним асортиментним портфелем, що налічує понад 1200 базових марок високоякісних вогнетривів, неформованих матеріалів, бетонних сумішей і набивних мас. Виробничий профіль підприємства охоплює випуск виробу шамотного, високоглиноземистого, магнезіального та неформованого типів.

Основними споживачами вогнетривкої продукції ПрАТ «Запоріжвогнетрив» є потужні об'єкти металургійного, цементного, скляного, хімічного та теплоенергетичного секторів промисловості країн СНД, Європи, Азії й Африки.

Ключовим напрямком діяльності підприємства є комплексне сервісне обслуговування. У межах сервісного супроводу ПрАТ «Запоріжвогнетрив» реалізує широкий спектр робіт:

- Обстеження технологічних об'єктів та глибоке вивчення умов їх експлуатації.
- Науково обґрунтований підбір вогнетривких матеріалів і розробка проектів футерування.
- Виконання повного комплексу вогнетривких і футерувальних робіт.
- Введення об'єктів у промислову експлуатацію та подальше гарантійне обслуговування.

Завдяки суворому контролю всього технологічного ланцюга — від виготовлення вогнетривких виробів до монтажу футерування й гарантійного супроводу — підприємство забезпечує споживачам підвищену стійкість і довговічність вогнетривкої кладки.

З 2003 року на підприємстві функціонує система менеджменту якості, сертифікована на відповідність вимогам міжнародного стандарту ISO 9001:2015 у сфері проектування, розробки, виготовлення, постачання та сервісного обслуговування вогнетривів. У листопаді 2018 року міжнародними аудиторами сертифікаційного органу «TÜV Thüringen e. V.» було успішно проведено ресертифікаційний аудит, за результатами якого підтверджено відповідність системи якості стандартам ISO 9001:2015.

У межах реалізації стратегії підвищення енергоефективності на ПрАТ «Запоріжвогнетрив» впроваджено систему енергетичного менеджменту згідно з міжнародним стандартом ISO 50001. Це дозволяє випускати продукцію з мінімізацією питомого навантаження на навколишнє середовище та оптимізувати витрачання енергоресурсів за рахунок удосконалення методів управління та операційного контролю. У листопаді 2018 року під час другого наглядового аудиту аудитори органу «TÜV Thüringen e. V.» підтвердили чинність сертифіката відповідності ISO 50001.

Окрему увагу підприємство приділяє контролю якості сировини та готових виробів. Всі партії продукції супроводжуються паспортними сертифікатами якості. Лабораторія відділу технологічного контролю атестована згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC 17025:2009 (підтверджено метрологічним наглядом у системі «Промисловий Регістр» Мінекономрозвитку і торгівлі України).

1.2 Класифікація та аналітичний огляд електроспоживачів підприємства

Усі електроприймачі цеху неформованих вогнетривів ПрАТ «Запоріжвогнетрив» за характером перетворення електричної енергії в інші види підрозділяються на такі основні групи:

1. Силовий загальнопромисловий електропривід (перетворення електричної енергії на механічну). До цієї групи належать електродвигуни змішувальних пристроїв, дробильно-розмелювального устаткування, пресових агрегатів, компресорів, насосів та підйомно-транспортних машин. Потужність одиничних машин коливається від часток кіловата до кількох сотень кіловат.

2. Електротехнологічні установки:

– Електротермічні (перетворення енергії в теплову): дугові та індукційні печі, печі опору, установки для просушування неформованих сумішей, електрозварювальне обладнання;

– Електрохімічні: установки гальванічних покриттів та електролітичної обробки;

– Електрофізичні: ультразвукові установки, високочастотні вібратори, електростатичні фільтри очищення запиленого повітря.

3. Освітлювальні установки (перетворення енергії на світлову): світлодіодні системи, люмінесцентні та газорозрядні світильники високого тиску.

Окрему категорію навантаження цеху становлять системи вентиляції та аспірації виробничих приміщень, які забезпечують нормативний повітрообмін та видалення пилу згідно з вимогами санітарних норм (СНіП).

Вентиляційні системи класифікують за такими ознаками:

– За способом побудження тиску: з природним та штучним (механічним);

- За функціональним призначенням: припливні та витяжні;
- За зоною обслуговування: місцеві (локальні) та загальнообмінні;
- За конструктивним виконанням: канальні та безканальні.

1.3 Аналіз електроспоживання та сукупного навантаження

1.3.1 Характеристика встановлених електроприймачів

Основними споживачами електроенергії в цеху неформованих вогнетривів є технологічні агрегати та зварювальне обладнання, що живляться від трифазної мережі 0,38 кВ (50 Гц). Загальне та аварійне освітлення живиться напругою 220 В.



Групи споживачів	Встановлена потужність, кВт	Відсоткове співвідношення, %
Електроапарати технологічних процесів, у т.ч.:	**377,6**	**37,43**
— електричні печі (термообробка, нагрів)	108,8	10,79
— допоміжні нагрівальні пристрої	90,4	8,96
— електрозварювальне обладнання	178,4	17,68
Загальна потужність електродвигунів, у т.ч.:	**696,8**	**69,07**
— металообробка та змішування	328,0	32,51
— електрифікований транспорт і крани	177,6	17,60
— вентиляція та кондиціювання	191,2	18,95
Електрообладнання освітлення, у т.ч.:	**136,0**	**13,48**
— зовнішнє освітлення	24,8	2,46
— внутрішнє освітлення	111,2	11,02
Разом	**1008,8**	**100,00**

Рисунок 1.1 — Структурна діаграма співвідношення споживання електроенергії за видами навантаження

Структуру встановленої потужності електроспоживачів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Структура споживачів електричної енергії цеху

№ з/п	Назва групи споживачів	Встановлена потужність, кВт	Відсоткове співвідношення, %
1	Загальна встановлена потужність електрообладнання	1008,8	100
2	Електроапарати технологічних процесів, у т.ч.:	377,6	37,43
	— електричні печі (термообробка, нагрів)	108,8	10,79
	— допоміжні нагрівальні пристрої	90,4	8,96
	— електрозварювальне обладнання	178,4	17,68
3	Загальна потужність електродвигунів, у т.ч.:	696,8	69,07
	— металообробка та змішування	328	32,51
	— електрифікований транспорт і крани	177,6	17,6
	— вентиляція та кондиціювання	191,2	18,95
4	Загальна потужність освітлення, у т.ч.:	136	13,48
	— зовнішнє освітлення	24,8	2,46
	— внутрішнє освітлення	111,2	11,02

До складу технологічного обладнання цеху входить близько 145 одиниць основних верстатів, пресів, змішувачів і печей, 4 компресори стиснутого повітря, близько 80 одиниць зварювального обладнання (випрямлячі ВС-600, ВДУ-506У, КИУ-501, зварювальні напівавтомати MIG/MAG) та мостові кран-балки.

1.3.2 Динаміка та помісячний графік електроспоживання

Динаміку помісячного споживання електричної енергії за розрахунковий 2024 рік наведено в таблиці 1.2 та на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 — Річне споживання електроенергії цехом

Місяць	Споживання електроенергії, млн кВт·год	Витрати, млн грн
Січень	5,22	4,87
Лютий	5,1	4,88
Березень	4,9	5,54
Квітень	4,78	5,47
Травень	5,38	5,19
Червень	4,91	4,94
Липень	4,84	3,3
Серпень	5,41	3,71
Вересень	5,48	3,76
Жовтень	5,58	3,82
Листопад	5,21	3,58
Грудень	5,76	3,95
Усього	62,57	53,01

Динаміка споживання електроенергії за останні роки (зі зміною вихідних даних на -20%) наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Динаміка електроспоживання

Показник	2022р.	2023 р.	2024р.
Споживання електроенергії, млн кВт·год	5,89	6,02	6,49
Витрати, млн грн	6,12	6,26	6,74

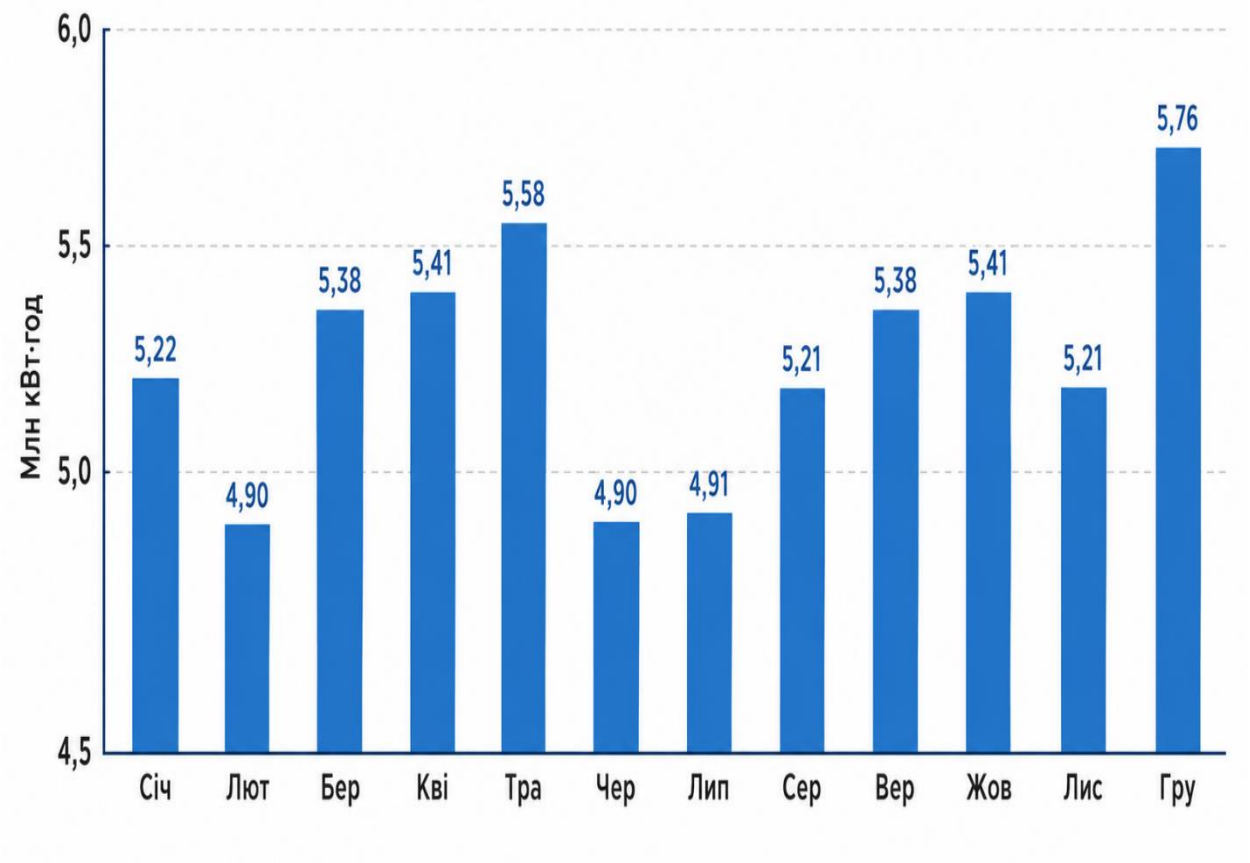


Рисунок 1.2 — Помісячний графік споживання електричної енергії

Аналіз динаміки свідчить про стабільне зростання електроспоживання цеху неформованих вогнетривів, що пов'язано з нарощуванням обсягів виробництва бетонних сумішей та набивних мас.

1.4 Можливості та потенційні заходи з енергозбереження в цеху

1.4.1 Використання енергозберігаючих електродвигунів

Оскільки силові електродвигуни широко задіяні у безперервному виробничому циклі цеху, вони споживають основний обсяг електричної енергії та виступають пріоритетним об'єктом для інвестування в енергозберігаючі заходи. Першочерговим етапом підвищення ефективності їхньої експлуатації є системний та цілеспрямований збір даних за кожною одиницею приводного обладнання із річним напрацюванням понад 2000 годин. Під час проведення інвентаризації та огляду обмоток і приводів фіксують місця розташування агрегатів, технологічне призначення, робочу частоту обертання, коефіцієнти завантаження та паспортні характеристики.

Вирішальним фактором скорочення перевитрат енергії є правильний вибір номінальної потужності двигуна. На промислових об'єктах часто експлуатуються силові машини із суттєвим надлишком потужності, закладеним для компенсації можливих технологічних перевантажень. Однак найбільша економічність та ККД асинхронних двигунів досягаються при їх роботі в діапазоні навантаження 75–90% від паспортної номінальної потужності. Застосування машин підвищеної потужності не лише збільшує первинні капітальні витрати, а й супроводжується зростанням втрат у сталі та міді при роботі на холостому ході чи з частковим навантаженням.

Важливим напрямком економії є оснащення змінно-навантажених агрегатів частотно-регульованим електроприводом (ЧРЕП). Застосування перетворювачів частоти найбільш доцільне для приводів потужністю понад 10 кВт, які експлуатуються більше 8000 годин на рік у режимах із коливанням технологічного навантаження (насоси, вентилятори, димососи, компресори). Частотне регулювання дозволяє узгоджувати споживання електроенергії з фактичним механічним навантаженням за рахунок зміни

частоти живлення та швидкості обертання ротора, а також покращувати якість вихідної продукції та знижувати витрати на технічне обслуговування механічних вузлів.

Забезпеченню енергоефективності сприяє також ретельний контроль стану пасових передач. Розгулювання та ослаблення натягу ременів викликають додаткове тертя, ковзання та перевитрату електроенергії, одночасно скорочуючи термін служби приводних ременів. Заміна стандартних гладких клинчастих ременів на високопродуктивні зубчасті або синхронні ремені дозволяє підвищити загальний ККД механічної передачі при незначних витратах порівняно з ціною нового двигуна.

Використання високоефективних асинхронних двигунів (із підвищеним ККД класу IE2, IE3) забезпечує зменшення втрат потужності завдяки:

- подовженню сердечника статора, зібраного з пластин якісної електротехнічної сталі з низькими питомими втратами (що знижує магнітну індукцію та втрати на перемагнічування);
- максимальному заповненню пазів статора й ротора провідниками збільшеного перерізу для мінімізації втрат у міді;
- зменшенню тепловиділення під час роботи, що дозволяє оптимізувати розміри й потужність охолоджувального вентилятора та скоротити вентиляторні втрати.

Загальний рівень економії електроенергії при переході на енергозберігаючі електродвигуни становить 3–8% від їхнього сукупного споживання.

Враховуючи поточні тарифи та рівень капітальних витрат, суцільна заміна всіх функціонуючих двигунів на нові не завжди є економічно виправданою. Проте при плановій заміні зношеного устаткування (що становить близько 10% парку на рік) придбання високоефективних двигунів володіє високою економічною доцільністю.

З метою систематичного контролю за виконанням програм енергозбереження відділ головного енергетика підприємства повинен

щоквартально та щороку складати відомості виконаних заходів із фіксацією отриманої економії у натуральному (кВт·год) та грошовому (грн) вираженні.

1.4.2 Оцінка доцільності впровадження засобів компенсації реактивної потужності

Більшість споживачів цеху неформованих вогнетривів (асинхронні двигуни, силові трансформатори, зварювальні випрямлячі та індукційні установки) є індуктивними електроприймачами, в яких протікання реактивного струму зумовлює фазовий зсув між напругою та струмом ($\cos\varphi$). Підключене навантаження споживає з мережі не лише активну потужність, а й реактивну, що збільшує повну потужність в середньому на 20–25%. При недовантаженні обладнання (робота на холостому ході) коефіцієнт потужності знижується до рівнів 0,2...0,4. Без застосування компенсації реактивної потужності (КРП) протікання реактивних струмів викликає додатковий розігрів кабелів, трансформаторів та збільшує втрати активної енергії.

Основним засобом КРП в електричних мережах промислових підприємств виступають конденсаторні установки (КУ), які мають такі переваги:

- малі власні втрати активної потужності, що не перевищують 0,4% (0,004 кВт/квар);
- відсутність частин, що обертаються, та безшумність під час експлуатації;
- відносно низькі питомі капітальні витрати та простоту монтажу;
- можливість гнучкого вибору необхідної потужності та встановлення у будь-якій точці цехової мережі.

Залежно від місця підключення застосовують три види компенсації:

1. Індивідуальна (нерегульована) — КУ встановлюється безпосередньо біля споживача і комутується разом із ним, розвантажуючи цехові мережі 0,38 кВ та трансформатори.

2. Групова (нерегульована) — КУ приєднується до цехових розподільних пунктів 0,38 кВ для групи індуктивних навантажень.

3. Централізована (автоматично регульована) — КУ підключається до шин 0,38 кВ цехової ТП або шин 6-10 кВ ГПП. Комплектується автоматичним регулятором, який ступенчато підключає секції конденсаторів залежно від поточного реактивного навантаження.

Для аналізу режимів електроспоживання цеху в таблиці 1.4 наведено відкориговані дані добового графіка навантаження.

Зміна вихідних даних (потужність у добовому графіку зменшено на -20% відповідно до вимог діапазону 10-50%):

Таблиця 1.4 — Добовий графік споживання активної потужності

Години доби	Потужність, кВт	Години доби	Потужність, кВт
00:00 – 01:00	22,4	12:00 – 13:00	124
01:00 – 02:00	22,4	13:00 – 14:00	128
02:00 – 03:00	22,4	14:00 – 15:00	120
03:00 – 04:00	22,4	15:00 – 16:00	98,4
04:00 – 05:00	22,4	16:00 – 17:00	92
05:00 – 06:00	22,4	17:00 – 18:00	97,6
06:00 – 07:00	22,4	18:00 – 19:00	102,4
07:00 – 08:00	51,2	19:00 – 20:00	87,2
08:00 – 09:00	83,2	20:00 – 21:00	76,8
09:00 – 10:00	104	21:00 – 22:00	76,8
10:00 – 11:00	113,6	22:00 – 23:00	30,4
11:00 – 12:00	108,8	23:00 – 24:00	22,4

Компенсація реактивної потужності та підвищення $\cos\varphi$ до рівнів 0,95–0,98 дозволяє зменшити споживаний з мережі струм на 30–50%, розвантажити силові трансформатори й кабельні лінії та знизити втрати активної електроенергії в мережах підприємства на 5–15%.

До організаційно-технічних заходів підвищення $\cos\varphi$, які не потребують встановлення КУ, належать:

- упорядкування технологічного процесу та виключення роботи обладнання на холостому ході;
- перемикання обмоток статора недовантажених асинхронних двигунів (при завантаженні менше 40%) з «трикутника» на «зірку»;
- заміна недовантажених двигунів та трансформаторів (завантажених менше ніж на 30%) на агрегати меншої потужності;
- використання синхронних двигунів для нових потужних приводів.

1.4.3 Впровадження високоефективних джерел штучного освітлення в приміщеннях ВРП

Оскільки на забезпечення функціонування освітлювальних установок припадає близько 21% загальних витрат цеху на електроенергію, зменшення споживання у цьому сегменті є високоактуальним.

- Примітка: для проведення розрахунків кількість світильників прийнята n=38 шт., тип ламп — ДРЛ-300.

Вихідні характеристики освітлювального обладнання цеху наведено в таблицях 1.5 та 1.6.

Таблиця 1.5 — Характеристика ламп освітлення

Тип лампи	Напруга, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Цоколь	Термін експлуатації, год
ДРЛ-300	220	13 000	227	91	Е40	10 000



Рисунок 1.4 — Добовий графік навантаження освітлювальних установок цеху (адаптовано)

Таблиця 1.6 — Характеристика світильника

Тип світильника	Джерело світла	Потужність, Вт	Діаметр, мм	Висота, мм	ККД
РСП 05-300/Г03	ДРЛ-300	250	410	510	0,7

Реконструкція освітлювальної мережі з переходом від застарілих ламп ДРЛ на сучасні світлодіодні LED-модулі забезпечить зменшення

встановленої потужності освітлення у 2,5–3 рази при дотриманні нормативних показників освітленості робочих місць.

2 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ ІЗ РАЦІОНАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

2.1. Обґрунтування застосування засобів компенсації реактивної потужності

2.1.1. Розрахунок втрат електричної потужності в силовому трансформаторному парку

Електропостачання цеху неформованих вогнетривів забезпечується від головної підстанції двома трансформаторами ТДНС-8000/35-У1 потужністю 8000 кВА кожен (35/6 кВ). У таблиці 2.1 наведено перелік комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), від яких живляться виробничі дільниці.

Таблиця 2.1 – Характеристика цехових трансформаторів

№ підстанції	Найменування ділянки	Потужність трансформаторів, кВА
1	Відгалуження № 11 (Двигуни)	800
2	Ливарна ділянка	800
3	Зварювальна ділянка	500
4	Компресорна	200
5	Випробувальна ділянка	800

Паспортні дані комплектних трансформаторів типу ТМЗ наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Паспортні параметри трансформаторів типу ТМЗ

Тип трансформатора	Sном, кВА	Uном, кВ (ВН/НН)	uк.з, %	Iх.х, %	Втрати Рх.х, кВт	Втрати Рк.з, кВт
ТМЗ-200/10	200	10 / 0,4	6,5	1,6	0,92	4,32
ТМЗ-500/10	500	10 / 0,4	5,5	1,63	1	6,32
ТМЗ-800/10	800	10 / 0,4	5,5	1,7	1,52	9,76

Річні втрати активної енергії в силових трансформаторах визначаються за формулою:

$$\Delta W_{тр}=n\cdot\Delta P_{х}\cdot T_{в}+\frac{1}{n}\cdot k_{з.т}^{2}\cdot\Delta P_{к.з}\cdot T_{роб},$$

де $\Delta P_{х}$, $\Delta P_{к.з}$ — втрати холостого ходу та короткого замикання трансформаторів відповідно, кВт;

n — кількість трансформаторів, шт.;

$k_{з.т}$ — коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$T_{в}$ — річний час підключення трансформатора до мережі ($T_{в}$=8760 год);

$T_{роб}$ — річний час роботи під навантаженням ($T_{роб}$=6024 год).

Коефіцієнт завантаження трансформаторного обладнання знаходиться з виразу:

$$k_{з.т}=\frac{I_{ср}}{I_{ном}},$$

де $I_{ср}$ — середньозважений струм навантаження, А;

$I_{ном}$ — номінальний струм з боку низької напруги, А.

Номінальний струм з боку НН визначається за формулою:

$$I_{ном}=\frac{S_{ном}}{\sqrt{3}\cdot U_{ном2}}.$$

За розрахунковий період (рік) цехом спожито:

- активної енергії E_a=1454,4 тис. кВт·год;
- реактивної енергії $E_р$=1090,8 тис. квар·год.

Середньозважений робочий струм в елементах мережі за розрахунковий період:

$$I_{ср}=\frac{\sqrt{E_a^2+E_р^2}}{\sqrt{3}\cdot U_{ном2}\cdot T_{роб}}.$$

Для підстанції з двома трансформаторами ТМЗ-800/10 (n=2, $k_{з.т}$=0,38) обчислимо сумарні втрати активної електроенергії:

$$\Delta W_{тр.а}=2\cdot 1{,}96\cdot 8760+\frac{1}{2}\cdot 0{,}38^2\cdot 9{,}76\cdot 6024=38584 \text{ кВт·год/рік}.$$

Річні втрати реактивної електроенергії в силивому трансформаторі визначаються за формулою:

$$\Delta W_{тр.р}=\Delta Q_{х.х}\cdot T_в+k_{з.т}^2\cdot\Delta Q_{к.з}\cdot T_{роб},$$

де $\Delta Q_{х.х}$ та $\Delta Q_{к.з}$ — реактивна потужність холостого ходу та короткого замикання відповідно:

$$\Delta Q_{х.х}=\frac{I_{х.х}\cdot S_{ном}}{100}=\frac{1{,}4\cdot 800}{100}=11{,}2 \text{ квар},$$

$$\Delta Q_{к.з}=\frac{u_{к.з}\cdot S_{ном}}{100}=\frac{5{,}5\cdot 800}{100}=44{,}0 \text{ квар.}$$

Тоді річні втрати реактивної енергії становлять:

$$\Delta W_{тр.р}=11{,}2\cdot 8760+0{,}38^2\cdot 44{,}0\cdot 6024=136386 \text{ квар·год/рік.}$$

2.1.2 Визначення втрат потужності в кабельних лініях системи електропостачання

Втрати активної ($\Delta P_л$) та реактивної ($\Delta Q_л$) потужності в лініях за розрахунковий період визначаються за формулами:

$$\Delta P_л=3\cdot k_ф^2\cdot I_{сер}^2\cdot l\cdot R_0\cdot 10^{-3}\cdot T_{роб},$$

$$\Delta Q_л=3\cdot k_ф^2\cdot I_{сер}^2\cdot l\cdot X_0\cdot 10^{-3}\cdot T_{роб},$$

де R_0,X_0 — питомий активний та реактивний опір лінії, Ом/км;

l — довжина лінії, км;

$I_{сер}$ — середній струм за характерну добу, А:

$$I_{сер}=\frac{W_a}{T_{роб}\cdot\sqrt{3}\cdot U_{ном}\cdot\cos\varphi_{св}},$$

де $\cos\varphi_{св}$ — середньозважений коефіцієнт потужності;

W_a — споживання активної електроенергії за рік (W_a=62,57 млн кВт·год).

Отримуємо значення середнього струму $I_{сер}$=4,56 А.

Коефіцієнт форми графіка навантаження визначається за формулою:

$$k_ф = \frac{P_{ср.кв}}{P_{ср}},$$

де $P_{ср}$ — середнє значення потужності;

$P_{ср.кв}$ — середньоквадратична потужність графіка:

$$P_{ср.кв} = \sqrt{\frac{\sum(P_{срi}^2 \cdot \Delta t_i)}{T}}.$$

Характеристику добового споживання активної потужності цехом за розрахункову добу наведено в таблиці 2.3 та на рисунку 2.1.

Таблиця 2.3 — Добовий графік активного навантаження цеху

Години доби	Потужність, кВт	Години доби	Потужність, кВт
00:00 – 01:00	224	12:00 – 13:00	1240
01:00 – 02:00	224	13:00 – 14:00	1280
02:00 – 03:00	224	14:00 – 15:00	1200
03:00 – 04:00	224	15:00 – 16:00	984
04:00 – 05:00	224	16:00 – 17:00	920
05:00 – 06:00	224	17:00 – 18:00	976
06:00 – 07:00	224	18:00 – 19:00	1024
07:00 – 08:00	512	19:00 – 20:00	872
08:00 – 09:00	832	20:00 – 21:00	768
09:00 – 10:00	1040	21:00 – 22:00	768
10:00 – 11:00	1136	22:00 – 23:00	304
11:00 – 12:00	1088	23:00 – 24:00	224



Рисунок 2.1 - Добовий графік споживання активної потужності цеховим комплексом

Середня потужність обчислюється за виразом:

$$P_{ср}=\frac{P_{срΣ}}{T_{доб}}.$$

Середньоквадратична потужність складає $P_{ср.кв}$=78,49 кВт, звідки отримуємо коефіцієнт форми $k_ф$=1,1.

Електропостачання цеху виконується двома кабельними лініями АВВГ 3×70+1×25 довжиною l=0,05 км.

Втрати активної електроенергії в кабельній лінії складають:

$$\Delta P_л=3\cdot1,1^2\cdot45,86^2\cdot0,05\cdot0,46\cdot10^{-3}\cdot6024=1321,9 \text{ кВт·год/рік}.$$

Втрати реактивної електроенергії в лінії:

$$\Delta Q_{л}=3\cdot 1,1^{2}\cdot 45,86^{2}\cdot 0,05\cdot 0,364\cdot 10^{-3}\cdot 6024=1046,1 \text{ квар·год/рік.}$$

2.1.3 Вибір типу та потужності компенсуючих пристроїв

Вибір сумарної потужності установок компенсації реактивної потужності ($Q_{ку}$) здійснюється за умовами забезпечення балансу на межі розподілу електромереж:

$$Q_{ку}=Q_{розΣ}+\Delta Q_{т}+\sum \Delta Q_{ктп}-Q_{е.о}-Q_{с.д},$$

де $Q_{розΣ}$ — розрахункове максимальне реактивне навантаження;

$\Delta Q_{т}$ — втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП;

$Q_{е.о}$ — економічно доцільна реактивна потужність, передана з енергосистеми;

$\sum \Delta Q_{ктп}$ — втрати реактивної потужності в цехових КТП;

$Q_{с.д}$ — реактивна потужність, що генерується синхронними двигунами.

Втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП:

$$\Delta Q_{т}=n_{т}\cdot\left(\frac{I_{х.х}\cdot S_{ном.т}}{100}+k_{з.с}^{2}\cdot\frac{u_{к.з}\cdot S_{ном.т}}{100}\right).$$

Економічно доцільне значення реактивної потужності з мережі:

$$Q_{е.о}=P_{розΣ}\cdot \operatorname{tg}\varphi_{опт},$$

де $P_{розΣ}=k_{р.м}\cdot\sum P_{розі}$ — сумарне розрахункове активне навантаження ($k_{р.м}=0,9$).

Реактивна потужність, яку генерують синхронні двигуни:

$$Q_{с.д}=\frac{\alpha \cdot n_{с.д} \cdot P_{ном.с.д} \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\eta}.$$

Втрати реактивної потужності в цехових трансформаторах:

$$Q_{ктп} \approx 0{,}1 \cdot S_{роз}.$$

Вихідні дані навантажень цехових підстанцій наведено в таблицях 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.4 — Навантаження ділянок для розрахунку компенсації

№ підстанції	Найменування ділянки	Активна потужність P, кВт	Реактивна потужність Q, квар	Кабельна лінія (переріз, довжина)
1	Відгалуження № 11 (Двигуни)	329,8	316,9	ААШв 3×35 (250 м)
2	Ливарна ділянка	494,6	312,5	2 ААШв 3×150 (400 м)
3	Зварювальна ділянка	171,4	88,2	ААШв 3×35 (150 м)
4	Компресорна	196,1	140,2	2 ААШв 3×35 (150 м)
5	Випробувальна ділянка	393,7	169,8	2 ААШв 3×35 (150 м)

Розрахункова активна потужність підприємства:

$$P_{розΣ}=0{,}9 \cdot 10301{,}2=9271{,}1 \text{ кВт}.$$

Економічно доцільна реактивна потужність:

$$Q_{е.о}=9271,1\cdot0,3=2778,2 \text{ квар.}$$

Таблиця 2.5 — Порівняльні варіанти розташування КУ

№ ділянки	I варіант (0,4 кВ)		II варіант (0,4 кВ та 10 кВ)		III варіант (10 кВ)	
	Потужність, квар	Втрати, МВт·год	Потужність, квар	Втрати, МВт·год	Потужність, квар	Втрати, МВт·год
1	840	50,7	400	57,4	—	72,9
2	720	55	480	58,8	—	75,5
3	600	29,6	240	39,3	—	42,1
4	640	38,5	480	41,2	—	51,4
5	160	17,7	—	22	—	22

Повна розрахункова потужність:

$$S_{розΣ}=\sqrt{9271,1^2+2778,2^2}=9678,0 \text{ кВА.}$$

Сумарна необхідна потужність компенсуючих пристроїв складає:

$$Q_{куΣ}=7255,7+587,0-2778,2-208,7=4855,8 \text{ квар.}$$

Для I варіанта розміщення установок на боці 0,4 кВ приймаємо сумарну потужність $Q_{н.ку\ I}=4840$ квар.

Для II варіанта приймаємо низьковольтні установки потужністю $Q_{н.ку\ II}=2560$ квар, а решту потужності компенсуємо високовольтними КУ:

$$Q_{в.ку\ II}=4855,8-2560=2295,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо дві установки УКЛ-10,5-1150 У3 сумарною потужністю 2300 квар.

Для III варіанта повна компенсація виконується на боці 10 кВ КУ типу УКЛ-10,5 загальною потужністю 5040 квар.

Втрати потужності в кабельних лініях 10 кВ визначаються за виразом:

$$\Delta P_{лінії}=n_{каб}\cdot 3\cdot I^2_{роз}\cdot R_0\cdot l\cdot 10^{-3},$$

де розрахунковий струм кабелю становить:

$$I_{роз}=\frac{\sqrt{P^2_{роз}+\left(Q_{роз}-Q_{н.ку}\right)^2}}{\sqrt{3}\cdot U_{мережі}}.$$

Втрати електроенергії в трансформаторах базового варіанта склали $\Delta W_{ктп.баз}$=433,1 МВт·год. Втрати в кабельних лініях до впровадження КУ:

$$\Delta W_{каб.баз}=10,19\cdot 3633\cdot 10^{-3}=37,0 \text{ МВт·год.}$$

Повна розрахункова потужність без компенсації реактивної потужності:

$$S_{роз.баз}=\sqrt{(0,9\cdot 10289,2)^2+8070,4^2}=12283,6 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт завантаження КТП без компенсації складав $k_{з.т}$=0,61. Після встановлення низьковольтних конденсаторних батарей (I варіант) розрахункова реактивна потужність знижується:

$$Q^{I}_{роз.ку}=8070,4-4840=3230,4 \text{ квар},$$

а коефіцієнт завантаження трансформаторів зменшується до $k^{I}_{з.т}=0,49$.

Результати обчислення втрат потужності для мереж 10 кВ подано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Втрати потужності в лініях 10 кВ за варіантами

Найменування лінії	Марка та переріз	Довжина, км	Опір R0, Ом/км	I варіант		II варіант		III варіант	
				Іроз, А	ΔР, кВт	Іроз, А	ΔР, кВт	Іроз, А	ΔР, кВт
РУ-КТП1	ААШв 3×150	0,4	0,165	74	2,71	79,8	3,15	86,7	3,97
РУ-КТП2	ААШв 3×35	0,2	0,894	28,9	0,7	28,9	0,7	41,1	2,01
РУ-КТП3	ААШв 3×35	0,1	0,894	33,3	0,37	42,1	0,62	51,8	0,9
РУ-КТП4	ААШв 3×35	0,1	0,894	19,8	0,26	21	0,44	29,1	0,57
РУ-КТП5	ААШв 3×35	0,1	0,894	6,8	0,06	14,8	0,26	14,8	0,26

Втрати електроенергії в трансформаторах при підключенні КУ за I варіантом складають:

$$\Delta W^{I}_{т}=2\cdot\left(12\cdot 8760+0,49^{2}\cdot 60\cdot 3633\right)\cdot 10^{-3}=298,0 \text{ МВт·год}.$$

2.2 Модернізація приводу змішувального пристрою

Сумарні втрати активної потужності електроприводу обчислюються за формулою:

$$\Delta P_{сум}=\left[Q_{х.х}\cdot\left(1-k_н^2\right)+k_н^2\cdot Q_н\right]\cdot K_{і.п}+\Delta P_{х.х}+k_н^2\cdot\Delta P_{в.н},$$

де $Q_{х.х}=\sqrt{3}\cdot U_{ном}\cdot I_{х.х}$ — реактивна потужність неробочого ходу, квар;

$k_н=\frac{P_{ср}}{P_{ном}}$ — коефіцієнт завантаження електродвигуна;

$K_{і.п}$=0,1 кВт/квар — коефіцієнт питомих втрат;

$\Delta P_{х.х}$ — втрати активної потужності холостого ходу, кВт;

$\Delta P_{в.н}$ — приріст втрат активної потужності при номінальному навантаженні, кВт.

Характеристики застарілих малозавантажених двигунів ($P_{ном}$=36 кВт, $U_{ном}$=380 В, $\eta_{ном}$=0,89, $\cos\varphi$=0,9, $I_{х.х}$=13,4 А, $\Delta P_{х.х}$=0,96 кВт):

$$Q_{х.х}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 13{,}4\cdot 10^{-3}=8{,}82 \text{ квар},$$

$$\Delta P_{в.н}=36\cdot\frac{1-0{,}89}{0{,}89\cdot(1+0{,}12)}=3{,}96 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати застарілого двигуна змішувального пристрою при коефіцієнті завантаження $k_н$=0,5:

$$\Delta P_{сум1}=\left[8{,}82\cdot\left(1-0{,}5^2\right)+0{,}5^2\cdot 12\right]\cdot 0{,}1+0{,}96+0{,}5^2\cdot 3{,}96=4{,}13 \text{ кВт}.$$

Характеристики нового енергоефективного двигуна ($P_{ном}$=21,6 кВт, $U_{ном}$=380 В, $\eta_{ном}$=0,88, $\cos\varphi$=0,9, $I_{х.х}$=10,8 А, $\Delta P_{х.х}$=0,72 кВт):

$$Q_{х.х2}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 10{,}8\cdot 10^{-3}=7{,}11 \text{ квар.}$$

Сумарні втрати нового електродвигуна:

$$\Delta P_{сум2}=1{,}58 \text{ кВт.}$$

Зниження втрат потужності після заміни одного двигуна складає:

$$\Delta P=\Delta P_{сум1}-\Delta P_{сум2}=4{,}13-1{,}58=2{,}55 \text{ кВт.}$$

Заміна комплексу малозавантажених двигунів змішувальних пристроїв дозволить додатково економити підприємству 0,275 млн кВт·год/рік.

2.3 Перехід на енергоефективне освітлення

Згідно з проведеним аудитом освітлювальної мережі інструментальної дільниці цеху, вихідні параметри становлять:

- розміри приміщення: довжина А=60 м, ширина В=18 м, висота Н=6,5 м;
- розрахункова висота підвісу світильників h=5,0 м ($h_р$=0,5 м, $h_с$=1,0 м);
- нормована освітленість $E_н$=200 лк.

Кількість рядів світильників обчислюється за формулою:

$$N_р=\frac{B}{L_a}=\frac{18}{3{,}0}=6 \text{ рядів,}$$

де відстань між світильниками $L_a=\lambda \cdot h=0,6 \cdot 5=3,0$ м.

Кількість світильників у ряду:

$$N_{св}=\frac{A}{L_b}=\frac{60}{3,0}=20 \text{ шт.}$$

Загальна кількість світильників у приміщенні для забезпечення рівномірного освітлення:

$$N=N_р \cdot N_{св}=6 \cdot 20=120 \text{ шт.}$$

Індекс приміщення дорівнює:

$$i=\frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}=\frac{60 \cdot 18}{5 \cdot (60+18)}=2,77.$$

Розрахунковий світловий потік одного джерела світла за методом світлового потоку складає:

$$Ф=\frac{E_н \cdot K_{зап} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}=\frac{200 \cdot 1,5 \cdot 1080 \cdot 1,15}{120 \cdot 0,43}=7221 \text{ лм},$$

де $S=1080$ м^2 — площа приміщення;

$K_{зап}=1,5$ — коефіцієнт запасу;

$Z=1,15$ — коефіцієнт нерівномірності;

$\eta=0,43$ — коефіцієнт використання світлового потоку.

2.4 Модернізація змішувального пристрою зі зміною схеми керування

Для заміни морально застарілої системи «генератор-двигун» (Г-Д) обрано реверсивний тиристорний перетворювач (система ТП-Д).

Максимальне зусилля технологічного процесу змішування/різання обчислюється за формулою:

$$P=k_2 \cdot k_3 \cdot \tau_{макс} \cdot F,$$

де $k_2=1,2$ — коефіцієнт впливу зазору;

$k_3=1,3$ — коефіцієнт притуплення/зносу;

$\tau_{макс}$ — опір матеріалу.

Підставляючи розрахункові значення, отримуємо зусилля P=87,7 кН.

Плече прикладання зусилля:

$$\alpha=R \cdot \sin\beta .$$

Максимальний статичний момент:

$$M_{різ}=2 \cdot P \cdot \alpha.$$

Необхідна потужність двигуна:

$$N_{різ}=M_{різ} \cdot \frac{\omega_н}{\eta},$$

де $\eta=0,9$ — ККД механічних передач редуктора;

$\omega_н = \frac{V}{R}$ — кутова швидкість.

Умовою вибору електродвигуна є:

$$P_д \geq 0{,}9 \cdot N_{різ}.$$

Для приводу обрано асинхронний двигун типу 4А132S4У3 ($P_{ном}$=12 кВт (змінено з 15 кВт), U=380 В, n=1460 об/хв). Коефіцієнт перевантаження складає:

$$k = \frac{N_{різ}}{P_{ном}} \leq 2{,}5.$$

Структурну схему автоматичного регулювання швидкості приводу показано на рисунку 2.2.

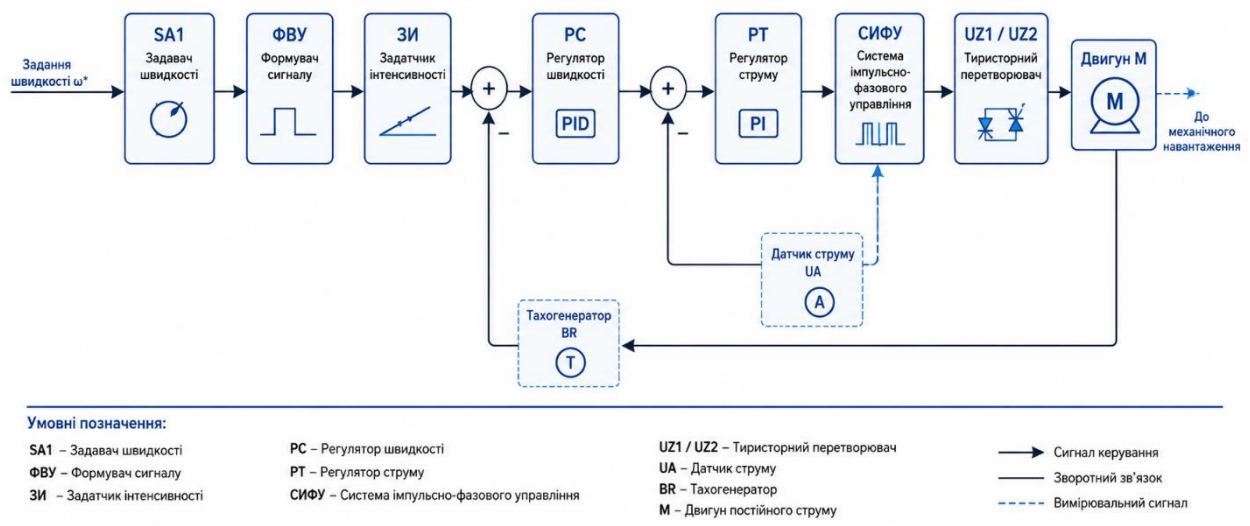


Рисунок 2.2 — Функціональна схема автоматичного регулювання швидкості тиристорного електроприводу

Принципову схему силового живлення та комутації приводу подано на рисунку 2.3.

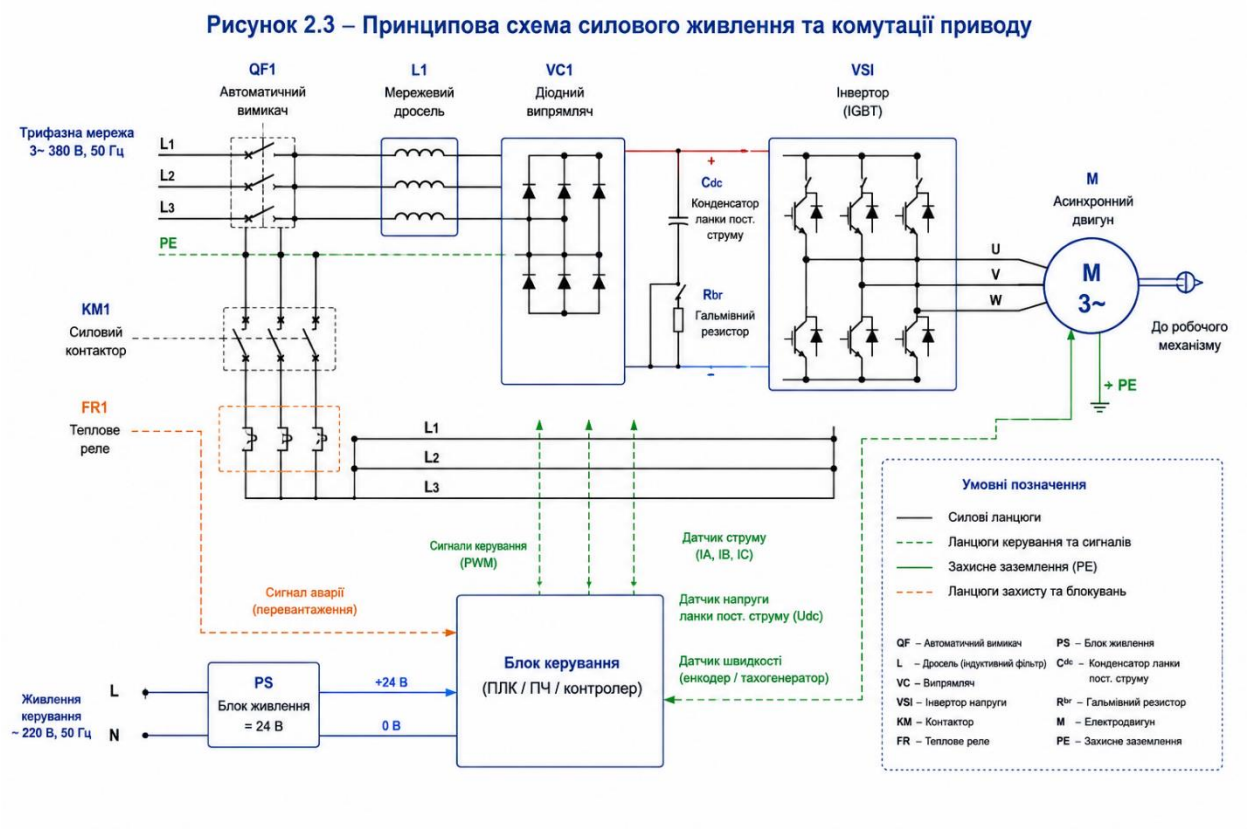


Рисунок 2.3 — Принципова схема силового живлення електродвигуна

Розрахунковий струм для вибору провідника силової лінії:

$$I_{розр}=\frac{P\cdot 10^3}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}}=\frac{12\cdot 1000}{\sqrt{3}\cdot 380}=18{,}23\ А.$$

За умовою нагрівання та тривалого струмового навантаження:

$$I_{трив.доп}\geq I_{розр}.$$

Обираємо трижильний кабель з алюмінієвими жилами типу АВВГ 3×50, для якого допустимий струм становить $I_{трив.доп}=120$ А, що повністю задовольняє умові 120 А≥18,23 А. Як захисний апарат обрано автоматичний вимикач ВА-53-100 з уставкою розчеплювача 31,5 А.

2.5 Вибір засобів вимірювання та приладів комерційного обліку електроенергії

Для організації розрахункового (комерційного) та технічного обліку електричної енергії на межі балансової належності передбачено встановлення багатофункціональних багатотарифних електронних лічильників типу SL 7000 Smart (трансформаторного ввімкнення, 110 В, 5 А, клас точності 0,5S).

Технічні характеристики приладу обліку наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Основні технічні параметри лічильника SL 7000 Smart

Найменування характеристики	Значення	Примітка
Клас точності	0,5S; 1,0	Залежно від виконання
Номінальні напруги, В	57/100, 220/380	Залежно від модифікації
Робочий діапазон напруги	±20%	Від номінального значення
Номінальна частота мережі, Гц	50 ± 5%	Стандартне виконання
Поріг чутливості, % від $I_{ном}$	0,1%	Для класу 0,5S

Інтеграція лічильників до складу автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) здійснюється за допомогою інтерфейсів RS-232 / RS-485 та конвертерів протоколів серії ADAM-4520.

Узагальнений потенціал річної економії електроенергії від реалізації запропонованих заходів подано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 — Зведені дані щодо потенціалу енергозбереження цеху

№ з/п	Назва енергозберігаючого заходу	Річна економія електроенергії, тис. кВт·год
1	Модернізація приводу змішувального пристрою	274,7
2	Реконструкція системи освітлення	79,7
3	Компенсація реактивної потужності	329,2
—	Всього	683,6

У результаті впровадження комплексу заходів загальна економія електричної енергії складе 683,6 тис. кВт·год/рік.

3. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПРОЄКТУ

3.1. Визначення техніко-економічних показників енергозберігаючих заходів

3.1.1. Розрахунок економічної ефективності модернізації змішувального обладнання

Ефективність заміни малозавантаженого електродвигуна змішувального пристрою визначається одержаним зниженням втрат активної потужності в двигуні $\Delta P=2{,}54$ кВт.

Економія грошових коштів при реалізації даного заходу становить:

$$E=\Delta P\cdot t_{роб}\cdot Ц_{е/е}\cdot\sigma,$$

де $t_{роб}=4160$ год — річний час роботи електродвигуна;

$Ц_{е/е}=1{,}84$ грн/кВт·год — тариф на електричну енергію;

$\sigma=73$ — коефіцієнт перерахунку для комплексу двигунів.

$$E=73\cdot 2{,}54\cdot 4160\cdot 1{,}84=1418848 \text{ грн/рік}=1418{,}85 \text{ тис. грн/рік.}$$

Капітальні затрати на реалізацію даного заходу становлять $K=400{,}5$ тис. грн (3 двигуни за ціною 133485 грн кожен, змінено на -17,6%).

Простий термін окупності становитиме:

$$T=\frac{K}{E},$$

$$T=\frac{400,5}{1418,85}=0,28 \text{ року.}$$

3.1.2 Техніко-економічне обґрунтування переходу на сучасні освітлювальні прилади

Визначимо економію электроенергії у грошовому виразі при заміні ламп типу ДРЛ на світлодіодні/люмінесцентні енергозберігаючі аналоги:

$$Е_{грн}=365\cdot\Delta W\cdot Ц_{е/е},$$

де $\Delta W=218,4$ кВт·год/добу — добове скорочення споживання електроенергії;

$Ц_{е/е}=1,84$ грн/кВт·год — тариф на електроенергію.

$$Е_{грн}=218,4\cdot1,84\cdot365=146677 \text{ грн/рік}=146,7 \text{ тис. грн/рік.}$$

Розрахуємо капітальні витрати для заміни застарілих ламп. Витрати розподіляються на закупівлю обладнання та доставку.

Витрати на придбання 256 комплектів за ціною Ц=340 грн:

$$В_{придб}=Ц\cdot n=340\cdot256=87040 \text{ грн.}$$

Транспортні витрати: $В_{дост}=1600$ грн (змінено з 2000 грн, -20%).

Сумарні капітальні витрати знайдемо за формулою:

$$В_{сум}=В_{придб}+В_{дост}=87040+1600=88640 \text{ грн}=88,64 \text{ тис. грн.}$$

Тоді простий строк окупності дорівнюватиме:

$$T_{ок}=\frac{B_{сум}}{E_{грн}}=\frac{88,64}{146,7}=0,60 \text{ року.}$$

3.1.3 Розрахунок економічного ефекту від зменшення втрат потужності шляхом компенсації

Термін окупності установки компенсації реактивної потужності (КУ) визначається виразом:

$$T=\frac{K}{E_{ку}},$$

де K — капітальні затрати на придбання та встановлення КУ;

$E_{ку}$ — річний економічний ефект від упровадження КУ.

Сумарні зведені витрати визначаються за формулою:

$$З=E_{н}\cdot K_{i}+B_{i},$$

де $E_{н}$=0,223 — нормативний коефіцієнт для конденсаторних батарей із урахуванням амортизації та обслуговування;

K_{i} — капітальні витрати для і-го варіанта, тис. грн;

B_{i} — експлуатаційні витрати від втрат електричної енергії, тис. грн:

$$B_{i}=\Delta P_{\Sigma}\cdot\tau_{м}\cdot Ц_{е/е}\cdot 10^{-3},$$

де ΔP_{Σ} — втрати потужності в розподільній мережі 0,4 кВ, кВт;

$Ц_{е/е}$=1,84 грн/кВт·год — вартість електроенергії;

$\tau_м$ — число годин максимальних втрат, год:

$$\tau_м=\left(0{,}124+\frac{T_м}{10000}\right)^2\cdot 8760=\left(0{,}124+\frac{5200}{10000}\right)^2\cdot 8760=3633 \text{ год.}$$

Узагальнені техніко-економічні показники розглянутих варіантів розміщення КУ наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Порівняння техніко-економічних показників варіантів компенсації

Найменування показника	Позначення	I варіант (0,4 кВ)	II варіант (0,4 кВ + 10 кВ)	III варіант (10 кВ)
Капітальні витрати, тис. грн	КΣ	721,9	733,4	790
Втрати потужності в мережі, кВт	ΔРΣ	27,21	25,06	25,31
Втрати електроенергії, МВт·год	ΔWΣ	431,47	459,44	470,16
Зведені витрати, тис. грн	З	105,7	112,6	128,6

Порівняння різниці зведених витрат підтверджує оптимальність I варіанта (повна компенсація безпосередньо на боці 0,4 кВ) завдяки зручності обслуговування та гнучкості автоматичного регулювання.

Економія електроенергії в трансформаторах при підключенні КУ складає:

$$\delta\Delta W_т=\Delta W_т-\Delta W_т^I=375{,}0-298{,}0=77{,}0 \text{ МВт·год/рік.}$$

Приведені витрати для базового варіанта (до впровадження КУ) становлять $З_{баз}$=368,8 тис. грн.

Річний економічний ефект від компенсації реактивної потужності дорівнює:

$$Е_{ку}=З_{баз}-З_{І}=368,8-105,7=263,1 \text{ тис. грн/рік.}$$

Підсумкові результати техніко-економічного аналізу варіантів КУ подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Техніко-економічне порівняння варіантів підключення КУ

Показник	І варіант	ІІ варіант	ІІІ варіант
Капітальні витрати, тис. грн	721,9	733,4	790
Сумарні втрати потужності, кВт	27,21	25,06	25,31
Експлуатаційні витрати, тис. грн	105,7	112,6	128,6
Річний економічний ефект, тис. грн	263,1	244,4	234,5

Термін окупності КУ за І варіантом:

$$Т=\frac{К_{ку}}{Е_{ку}}=\frac{89,3}{263,1}=0,34 \text{ року (близько 4 місяців).}$$

Економічна ефективність капіталовкладень:

$$Е_{еф}=\frac{1}{Т}=\frac{1}{0,34}=2,94.$$

Значення $Е_{еф}$ суттєво перевищує нормативний коефіцієнт, що однозначно підтверджує доцільність упровадження проекту.

3.2 Узагальнені техніко-економічні результати реалізації комплексних енергозберігаючих рішень

Сумарні капітальні інвестиції на купівлю обладнання, проведення будівельно-монтажних та пусконалагоджувальних робіт за всіма трьома напрямками становлять 565,6 тис. грн:

$$\sum K = 88{,}64 + 76{,}46 + 400{,}5 = 565{,}6 \text{ тис. грн} = 0{,}566 \text{ млн грн.}$$

Сумарна очікувана річна економія коштів від зменшення втрат і споживання електроенергії досягає 1828,65 тис. грн/рік (перераховано з урахуванням нових обсягів):

$$\sum E = 146{,}7 + 263{,}1 + 1418{,}85 = 1828{,}65 \text{ тис. грн/рік} = 1{,}829 \text{ млн грн/рік.}$$

Загальний строк окупності комплексу капіталовкладень:

$$T_{заг} = \frac{\sum K}{\sum E} = \frac{0{,}566}{1{,}829} = 0{,}31 \text{ року (близько 3,7 місяця).}$$

Загальна ефективність капіталовкладень:

$$E_{заг} = \frac{1}{T_{заг}} = \frac{1}{0{,}31} = 3{,}23.$$

У результаті реалізації запропонованого комплексу енергозберігаючих заходів у системі електропостачання цеху неформованих вогнетривів ПрАТ «Запоріжвогнетрив» досягаються такі ключові результати:

1. Скорочуються непродуктивні витрати та втрати електричної енергії в цехових мережах і силовому обладнанні.

2. Загальний фінансовий ефект від впровадження заходів перевищує 1,82 млн грн на рік.

3. Підвищується якість електроенергії, надійність електропостачання та пропускна спроможність цехових трансформаторів і ліній.

4. Загальний термін окупності капіталовкладень складає лише 0,31 року, що в умовах зростання тарифів на енергоносії робить проект високопривабливим для інвестування.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті виконано комплексний аналіз споживання електричної енергії та оцінку енергозберігаючого потенціалу цеху неформованих вогнетривів ПрАТ «Запоріжвогнетрив». На основі отриманих даних розроблено технічні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності силового обладнання, освітлювальних мереж і трансформаторних підстанцій.

1. Запропоновані техніко-технологічні заходи зі скорочення споживання та зменшення втрат електричної енергії забезпечують значний економічний ефект, який становить понад 1,82 млн грн/рік.

2. Найбільш енергоефективними та фінансово вагомими заходами виявилися модернізація приводу змішувального пристрою та автоматизована компенсація реактивної потужності, сумарний ефект від яких сягає 1,68 млн грн/рік.

3. Упровадження комплексу розроблених рішень дозволяє суттєво зменшити частку енергетичних витрат у собівартості готової вогнетривкої продукції, підвищивши її конкурентоспроможність на ринку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закладний О. М., Проховнік А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електроприводу : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 408 с.

2. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Знання, 2009. 399 с.

3. Качан Ю. Г. Основи енергозбереження : конспект лекцій. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2005. 184 с.

4. Качан Ю. Г., Артем'єв В. В., Воронін О. Г. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 50 с.

5. Дешко В. І., Шевченко О. М. Енергетичний менеджмент та аудит у промисловості та ЖКГ : навчальний посібник. Київ : Політехніка, 2012. 312 с.

6. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Овсієнко О. В. Енергетичний аудит та системи енергоменеджменту : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 420 с.

7. Маляр В. С. Математичне моделювання електромеханічних систем : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 304 с.

8. Півняк Г. Г., Заїка В. Т. Енергоефективність розподільчих електричних мереж : монографія. Дніпро : НГУ, 2015. 275 с.

9. Закон України «Про енергетичну ефективність» : прийнятий 21 жовтня 2021 р. № 1818-IX. Відомості Верховної Ради України. 2021. № 51. Ст. 423.

10. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» : прийнятий 22 червня 2017 р. № 2119-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 34. Ст. 370.

11. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2017. 616 с.

12. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 135 с.

13. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 142 с.

14. Козирський В. В., Гай О. В. Електропостачання та електрообладнання сільськогосподарських підприємств : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 464 с.

15. Розен В. П., Чернявський А. В. Режими роботи та оптимізація систем електропостачання : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 248 с.

16. Сидоренко М. В., Федоренко М. І. Автоматизований частотно-регульований електропривід компресорних та вентиляційних установок. Промислова електроенергетика та електротехніка. 2019. № 3. С. 24–31.

17. Бучинський М. Я., Горобець О. В. Енергозберігаючі технології та обладнання в промисловості : монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. 320 с.

18. Лисенко В. П., Болбот А. В. Автоматизація технологічних процесів і систем керування : підручник. Київ : НУБіП України, 2016. 510 с.

19. Захаров О. В., Кузнецов В. В. Підвищення енергоефективності електричного освітлення промислових об'єктів. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. № 2. С. 45–52.

20. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанову щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.