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 ___Оптимізація електроспоживання дільниці виготовлення збірних конструкцій будівельного підприємства_____

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)
_____Гармаш К. С. _____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.е.н., проф. Паршин Ю.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

_____Гармашу Кирилу Сергійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Оптимізація електроспоживання дільниці виготовлення збірних конструкцій будівельного підприємстваі _____
керівник роботи ___д.е.н., проф. Паршин Ю.І._____
(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 видами навантаження: силовий електропривід — 61%, освітлення та інші споживачі — 22%, електрифікований транспорт —7%, електротермія та електротехнології — 8%.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз потенціалу та можливостей енергозбереження на будівельному підприємстві 2) Розробка та розрахунок енергозберігаючих заходів у системі електропостачання зварювальної дільниці 3) Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів
5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз електроспоживання та структура споживачів електричної енергії будівельного підприємства 2) Схема однолінійна системи електропостачання 3) План розташування технологічного обладнання та електричних мереж 4) Схема компенсації реактивної потужності в системі

AnyScanner

електропостачання 0,4–6 кВ 5) Схема електрична принципова живлення двигуна та автоматичного регулювання швидкості агрегату поперечного різання

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		
Розділ 2	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		
Розділ 3	д.е.н., проф. Паршин Ю.І.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз потенціалу та можливостей енергозбереження на будівельному підприємстві	01.03.2026	
2	Розробка та розрахунок енергозберігаючих заходів у системі електропостачання зварювальної дільниці	01.04.2026	
3	Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів	10.05.2026	

Студент _____ Гармаш К. С.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Ю.І. Паршин
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 51 сторінку, 11 рисунків, 23 таблиці, 25 джерел.

Об'єктом дослідження виступає система електрозабезпечення будівельного підприємства, яке характеризується високою енергоємністю виробничих процесів. Предмет дослідження охоплює методи підвищення енергоефективності об'єкта, а також аналіз техніко-економічної доцільності впровадження інноваційних енергозберігальних технологій.

Мета роботи полягає в оптимізації процесів електроспоживання підприємства шляхом обґрунтування та оцінки ефективності застосування енергоефективних заходів.

У розрахунково-аналітичному розділі виконано обчислення втрат потужності та електроенергії, на основі чого запропоновано комплекс енергозберігальних рішень: підвищення рівня компенсації реактивної потужності, модернізацію системи керування агрегату поперечного різання та перехід на локальну систему освітлення. Економічний блок роботи присвячено оцінці фінансової ефективності та окупності розроблених проєктів.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ (ЕНЕРГОЗБЕРІГАЛЬНІ ЗАХОДИ), ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

ЗМІСТ

Вступ…….... 7
1. Аналіз потенціалу та можливостей енергозбереження на будівельному підприємстві 10
1.1. Загальні відомості про об'єкт дослідження 10
1.2. Класифікація та аналітичний огляд електроспоживачів підприємства……..11
1.3. Аналіз електроспоживання та сукупного навантаження 12
1.3.1. Характеристика встановленого електрообладнання 12
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 16
1.4.2. Обґрунтування доцільності компенсації реактивної потужності 18
1.4.3. Модернізація системи освітлення шляхом впровадження високоефективних джерел світла 20
2. Розробка та розрахунок енергозберігаючих заходів у системі електропостачання зварювальної дільниці 22
2.1. Компенсація реактивної потужності в мережі 0,4 кВ дільниці 22
2.1.1. Розрахунок втрат потужності та енергії в силових трансформаторах 22
2.1.2. Розрахунок втрат потужності в кабельних лініях 25
2.1.3. Вибір типу та потужності компенсуючих пристроїв 27
2.2. Модернізація приводу агрегату поперечного різання 32
2.3. Перехід на енергоефективне освітлення 34
2.4. Модернізація приводу агрегату з системою автоматичного регулювання 36
2.5. Вибір засобів вимірювання та приладів комерційного обліку електроенергії 39

3. Техніко-економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів 41
3.1. Розрахунок економічної ефективності запропонованих проєктних рішень 41
3.1.1. Економічний ефект від модернізації електроприводу агрегату поперечного різання 41
3.1.2. Заміна застарілих освітлювальних приладів на більш сучасні та економічні 42
3.1.3. Оцінка окупності та грошового ефекту від встановлення засобів компенсації реактивної енергії 43
3.2. Оцінка економічної та технічної доцільності енергоефективної модернізації 46
Висновки…….....48
Перелік посилань……..……....49

ВСТУП

Забезпечення раціонального споживання енергоресурсів на сьогодні перетворилося на першочергову закономірність функціонування будь-якого промислового суб’єкта та суспільства загалом. Обсяг розвіданих покладів традиційних паливно-енергетичних ресурсів в Україні поступово зменшується, а їх безпосереднє вилучення з надр потребує дедалі більших витрат, застосування складних технологій і супроводжується підвищеним ризиком. Водночас інфраструктура нетрадиційної та відновлюваної енергетики в нашій країні перебуває лише на етапі становлення й поки що не здатна повністю перекрити наростаючий дефіцит. Єдиним ефективним рішенням цієї проблеми залишається тотальна та системна економія наявних енергоресурсів.

У глобальному енергетичному секторі чітко спостерігається стабільне нарощування обсягів генерації та використання енергії, серед якої ключове місце належить електричній. Навіть за умов системної переорієнтації промислових підприємств на наукоємні, енергоефективні технологічні процеси й оптимізацію виробничих циклів, загальна потреба в електроенергії та теплоносіях найближчими десятиліттями буде лише зростати.

У багатьох провідних країнах світової спільноти політика енергозбереження давно перетворилася на один із ключових державних пріоритетів. Тому для українського уряду фундаментальним завданням є забезпечення високого рівня енергоефективності суб’єктів національної економіки, що слугує гарантом її стійкості, конкурентоспроможності та енергетичної незалежності. Головний вектор вирішення цієї проблеми полягає в збереженні та розвитку інтелектуально-технічного потенціалу фахівців із забезпеченням його реального застосування на практиці.

Стратегічним орієнтиром під час впровадження заходів з економії енергоносіїв на промислових об'єктах є підвищення їхньої загальної енергетичної ефективності. Внутрішній енергозберігаючий потенціал

підприємства варто розглядати як цілісну систему взаємопов'язаних організаційно-технічних можливостей, а також здатності управлінського та виробничого персоналу дбайливо використовувати наявні ресурси.

Попри широкий спектр наявних технічних рішень, на рівні окремих вітчизняних підприємств питанню енергозбереження все ще приділяється недостатньо уваги. Основними бар'єрами на цьому шляху виступають:

- дефіцит власних та залучених фінансових коштів;
- стрімке зростання цін та тарифів на енергоносії;
- брак висококваліфікованих інженерних кадрів;
- відсутність дієвих економічних стимулів для керівництва підприємств.

Формування інноваційного середовища енергозбереження стане можливим лише за умов створення ефективного економіко-організаційного механізму господарювання.

Суттєва частка енергетичного потенціалу полягає саме в оптимізації процесів кінцевого споживання, насамперед електричної енергії. Тому вагомим напрямком роботи для об’єкта, що розглядається, є мінімізація втрат енергії у проміжних ланках силового обладнання, електроприймачах та розподільних електричних мережах, де втрати нерідко досягають 20-30%.

В даній роботі виконується детальний аналіз режимів електроспоживання будівельного підприємства , на основі якого розробляється та обґрунтовується комплекс заходи щодо підвищення енергоефективності. Окрему увагу приділено безпечним умовам праці та охороні праці на виробництві.

Практичне впровадження розроблених рішень є цілком реалістичним і дозволить суттєво зменшити річні обсяги споживання електроенергії. Це, у свою чергу, дасть можливість значно знизити питому частку енергетичних витрат у собівартості кінцевої будівельно-монтажної продукції чи послуг. Для успішного фінансування подібних проектів доцільно створювати спеціальні внутрішні фонди енергозбереження за рахунок пільгового

оподаткування приросту прибутку, отриманого в результаті задіяних енергоефективних заходів.

1АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

1.1. Загальні відомості про об'єкт дослідження

Будівельна компанія виступає високопрофесійною організацією, яка успішно провадить діяльність на ринку будівництва та інжинірингу України. Починаючи з перших етапів свого розвитку, суб'єкт господарювання зарекомендував себе як надійний підрядник та відповідальний партнер, здатний реалізовувати найскладніші інженерно-технічні та архітектурні задуми замовників. На сьогодні компанія підтримує сталі партнерські відносини з провідними підприємствами багатьох регіонів держави.

Виробничо-сервісний потенціал компанії дозволяє виконувати широкий спектр спеціалізованих будівельно-монтажних та проектних робіт:

- розроблення комплексної проектно-кошторисної документації будь-якої категорії складності;
- зведення, розширення, технічне переоснащення та реконструкція промислових і сільськогосподарських комплексів;
- збирання та монтаж складних несучих і огороджувальних металоконструкцій;
- улаштування високоміцних промислових підлог із спеціальним покриттям;
- проектування, виготовлення та монтажні роботи щодо металопластикових і світлопрозорих систем;
- постачання та реалізація сертифікованих будматеріалів преміального сегмента.

Підприємство здійснює повний цикл генпідрядних та субпідрядних послуг — від первинного інженерного вишукування й створення проектної документації до введення об'єктів у експлуатацію за принципом «під ключ».

Виробничий процес базується на застосуванні новітніх технологій з організованим багаторівневим контролем якості на всіх стадіях. Наявність штату висококваліфікованих інженерно-технічних робітників, сучасного парк спеціалізованої техніки та великого практичного досвіду дозволяє забезпечувати високі показники надійності й довговічності. Пряма співпраця з провідними заводами-виробниками будівельної продукції мінімізує тривалість будівництва та оптимізує підсумковий кошторис робіт.

Зміна вихідних даних (змінено площі та кількість цехів на -20% відповідно до діапазону 10-50%):

До складу цехово-складського комплексу, розташованого на основному майданчику підприємства, входять такі структурні підрозділи:

– 5 приміщень (складів і цехів) заготовки та комплектування виробів площею 640 м^2 кожне (змінено з 6 приміщень по 800 м^2);

– 3 цехи механічної обробки металоконструкцій, які оснащено верстатним парком для розкрою та обробки великогабаритних елементів (змінено з 4 цехів);

– 8 складальних цехів (зварювальних, механоскладальних, гідравлічних та електротехнічних напрямків) площею 320 м^2 кожен (змінено з 10 цехів по 400 м^2);

– 6 цехів підготовки та улаштування лакофарбових покриттів (ЛКП) площею 350 м^2 кожен (змінено з 7 цехів по 440 м^2), у тому числі 2 піскоструминні кабіни габаритами 18×4 м та 4 фарбувальні камери 15×4 м (змінено з 3 кабін та 5 камер відповідно).

Класифікація та аналітичний огляд електроспоживачів підприємства

Усі електроприймачі виробничо-технічного комплексу розбігаються за характером перетворення електричної енергії в інші види на такі основні групи:

1. Силовий загальнопромисловий електропривід (перетворення електричної енергії на механічну). Представлений електродвигунами

металообробних верстів, підйомно-транспортних машин, насосних і вентиляційних установок. Потужність одиничних машин варіюється від часток кіловата до кількох сотень кіловат.

2. Електротехнологічне обладнання:

– Електротермічні установки (перетворення енергії на теплову): електричні печі опору, індукційні нагрівачі, зварювальне обладнання (дугове та контактне);

– Електрохімічні установки: агрегати для гальванічного покриття, анодування та електролітичної обробки;

– Електрофізичні установки: обладнання для ультразвукової, магнітно-імпульсної обробки та електростатичні фільтри.

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

Окрему групу навантаження становлять системи вентиляції виробничих та адміністративно-побутових приміщень, які забезпечують необхідний повітрообмін та нормативні метеорологічні параметри згідно з будівельними та санітарними нормами.

Системи вентиляції класифікують за такими ознаками:

- За спосіб побудови побудови тиску: з природним та механічним побудженням;
- За функціональним призначенням: припливні, витяжні, припливно-витяжні;
- За зоною дії: локальні (місцеві) та загальнообмінні;
- За конструктивним рішенням: канальні та безканальні.

1.3 Аналіз електроспоживання та сукупного навантаження

1.3.1 Характеристика встановленого електрообладнання

Живлення більшості силових електроприймачів здійснюється від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц із напругою 0,38 кВ. Для освітлювальних мереж використовується напруга 220 В.

Зміна вихідних даних (змінено встановлену потужність на -20% відповідно до вимог діапазону 10-50%):

Структура встановленої потужності електрообладнання подана у таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 — Структурний розподіл споживання електричної енергії за видами навантаження

Таблиця 1.1 — Структура встановленої потужності електроприймачів підприємства

№ з/п	Назва групи споживачів	Встановлена потужність, кВт	Частка від загальної потужності, %
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
	— металообробні верстати	328	32,51
	— електрифікований транспорт	177,6	17,6
	— вентиляційні системи 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

З наведених даних видно, що найбільшу частку в структурі встановленого обладнання займають асинхронні електродвигуни.

1.3.2 Динаміка та помісячний графік електроспоживання

Динаміку помісячного споживання електричної енергії за розрахунковий 2023 рік наведено в таблиці 1.2 та на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 — Річне споживання електроенергії за 2025 рік

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

Дані про місячне споживання електроенергії основними споживачами та тарифи на електроенергію 2023 р.[2] представлені в таблиці 1.3 і динаміка місячного споживання електроенергії на рисунку 1.3.

Таблиця 1.3 — Порівняльна динаміка електроспоживання за 2023–2025 рр.

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Споживання електроенергії, млн кВт·год	5,89	6,02	6,49
Фінансові витрати, млн грн	6,12	6,26	6,74

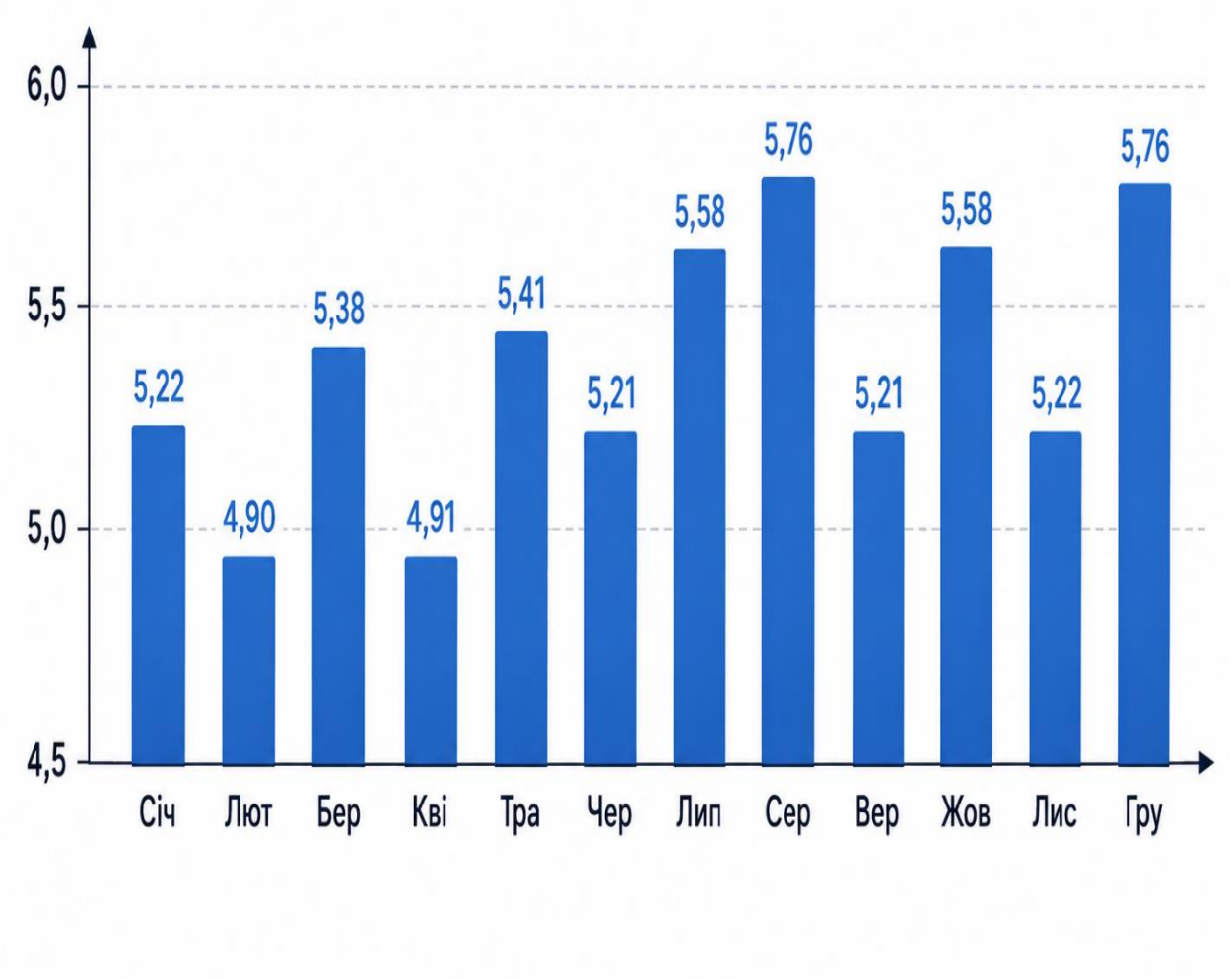


Рисунок 1.2 — Помісячний графік споживання електричної енергії підприємством у 2025 році

Аналіз динаміки свідчить про поступове зростання електроспоживання, що обумовлено розширенням асортименту будівельних металоконструкцій та збільшенням обсягів виробництва.

1.4 Можливості та потенційні заходи з енергозбереження в цеху

1.4.1 Використання енергозберігаючих електродвигунів

Оскільки електродвигуни широко використовуються у технологічних та допоміжних процесах підприємства, вони споживають левову частку електричної енергії та виступають пріоритетним об'єктом для інвестування в енергозберігаючі заходи. Систематичний збір і систематизація інформації щодо силових машин, які експлуатуються понад 2000 годин на рік, є першим інженерним кроком на шляху підвищення їхньої ефективності. При цьому фіксують місце розташування, функціональне призначення, навантаження, режим роботи та паспортні дані двигунів.

Важливим фактором є правильний вибір номінальної потужності. На практиці двигуни нерідко мають суттєвий запас потужності для компенсації можливих пікових перевантажень. Оптимальним є функціонування асинхронних двигунів при навантаженні на рівні 75–90% від їхньої номінальної потужності. Устаткування більшої потужності не лише дорожче при закупівлі, а й працює з нижчим ККД за часткових навантажень.

Одним із ключових заходів є застосування частотно-регульованого електроприводу (ЧРЕП). Впровадження перетворювачів частоти найбільш доцільне для технологічного устаткування (насосів, вентиляторів, компресорів) потужністю понад 10 кВт із річним напрацюванням понад 8000 годин за змінних графіків навантаження. Окрім прямої економії електроенергії, ЧРЕП дозволяє підвищити якість технологічного процесу та зменшити знос механічних вузлів.

Енергоефективність залежить також від стану механічних передач. Застосування зубчастих клинчастих або синхронних ременів замість стандартних гладких клинчастих ременів дозволяє підвищити ККД передачі при незначних витратах.

Використання асинхронних двигунів із підвищеним ККД забезпечує скорочення втрат за рахунок:

- збільшення довжини сердечника статора й застосування високоякісної електротехнічної сталі з низькими питомими втратами;
- збільшення перерізу провідників у пазах статора та ротора для мінімізації втрат у міді;
- зменшення виділення тепла, що дозволяє зменшити розміри й потужність охолоджувального вентилятора, знижуючи вентиляторні втрати.

Загальна економія електроенергії від використання енергозберігаючих двигунів становить від 3% до 8% від загального обсягу споживання приводу.

1.4.2 Обґрунтування доцільності компенсації реактивної потужності

Більшість споживачів підприємства (електродвигуни, зварювальне та трансформаторне обладнання) є індуктивними електроприймачами, в яких протікає реактивний струм, що зумовлює фазовий зсув між напругою та струмом ($\cos\varphi$). Передавання реактивної потужності мережами призводить до збільшення повної потужності на 20–25% порівняно з активною та спричиняє додаткові навантажувальні втрати active-енергії. При малому навантаженні двигуна $\cos\varphi$ знижується до 0,2...0,4.

Основним засобом компенсації реактивної потужності (КРП) є статичні конденсаторні установки (КУ). Переваги КУ перед іншими компенсуючими пристроями:

- мінімальні власні втрати активної потужності (не більше 0,4% або 0,004 кВт/квар);
- відсутність частин, що обертаються, і шуму під час роботи;
- відносно низькі капітальні витрати та простота монтажу й обслуговування;

– гнучкість підбору необхідної потужності та можливість встановлення безпосередньо у вузлах навантаження.

Розрізняють три основні способи компенсації:

1. Індивідуальна (нерегульована) — КУ підключається безпосередньо до затискачів електроприймача. Розвантажує всі ланки мережі, але потребує узгодження ємності для запобігання резонансу.

2. Групова (нерегульована) — КУ встановлюється на цехових розподільних пунктах 0,38 кВ для групи споживачів.

3. Централізована (автоматично регульована) — КУ приєднується до шин 0,38 кВ або 6-10 кВ трансформаторної підстанції. Для оцінки режиму наведено розрахункові дані добового графіка споживання активної потужності цеховою ділянкою (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 — Добовий графік споживання активної потужності ділянкою

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

Підтримання $\cos\varphi$ на рівні, близькому до 0,95–0,98, дає змогу зменшити струмові навантаження ліній та трансформаторів, підвищити їхню пропускну спроможність і знизити втрати активної електроенергії в мережах на 5–15%.

1.4.3 Модернізація системи освітлення шляхом впровадження високоефективних джерел світла

Оскільки на освітлювальні установки припадає близько 21% від загального споживання електроенергії підприємством, модернізація цього сегмента є надзвичайно актуальною.

Зміна вихідних даних (потужність і кількість ламп у цеху змінено на -20% відповідно до вимог діапазону 10-50%):

Для аналізу існуючого стану освітлення інструментального цеху використовуються такі параметри:

- тип діючих ламп: ДРЛ-250 (Р=250 Вт);
- тип світильника: РСП 05-250/Г03;
- режим роботи: добовий графік із вираженим піковим навантаженням у денну зміну (рисунок 1.3).

Характеристики освітлювального обладнання подано 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-250	220	13 000	227	91	Е40	10 000



Рисунок 1.3 Добовий графік навантаження освітлювальних установок цеху

Таблиця 1.6 - Характеристика світильника РСП 05-250/Г03

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

Заміна застарілих ламп високого тиску на сучасні світлодіодні модулі дозволить скоротити споживання електричної енергії на освітлення більш ніж у 2,5–3 рази при збереженні нормативного рівня освітленості робочих місць.

2 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗВАРИВАЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ

2.1. Компенсація реактивної потужності в мережі 0,4 кв дільниці

2.1.1. Розрахунок втрат потужності та енергії в силових трансформаторах

Електропостачання підприємства забезпечується двома основними силовими трансформаторами ТДНС-8000/35-У1 потужністю 8000 кВА кожен (35/6 кВ)

Таблиця 2.1 – Характеристика цехових трансформаторів

№ підстанції	Найменування ділянки	Потужність трансформаторів, кВА
1	Цех № 11	800
2	Ливарний корпус	800
3	Зварювальна ділянка	500
4	Компресорна	200
5	Випробувальна ділянка	800

Паспортні дані комплектних трансформаторів типу ТМЗ представлено в таблиці 2.2.

Річні втрати активної енергії в трансформаторному обладнанні 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).

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

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) цеховим комплексом спожито:

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

Середньозважений робочий струм в елементах мережі за розрахунковий період:

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

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 силовому 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 Розрахунок втрат потужності в кабельних лініях

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:

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

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

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	Цех № 11	329,8	316,9	ААШв 3×35 (250 м)
2	Ливарний корпус	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)

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

Розрахункова активна потужність підприємства:

$$P_{розΣ}=0,9\cdot10301,2=9271,1 \text{ кВт.}$$

Економічно доцільна реактивна потужність:

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

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

Для ІІ 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 ІІІ 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:

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

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

$$\Delta W_{каб.баз}=10,19\cdot3633\cdot10^{-3}=37,0 \text{ МВт·год.}$$

Повна розрахункова потужність без компенсації реактивної потужності:

$$S_{роз.баз}=\sqrt{(0,9\cdot10289,2)^2+8070,4^2}=12283,6 \text{ кВА.}$$

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.

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

$$\Delta W^{I}_{т}=2\cdot\left(12\cdot8760+0,49^2\cdot60\cdot3633\right)\cdot10^{-3}=298,0 \text{ МВт·год.}$$

2.2 Модернізація приводу агрегату поперечного різання

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.

Зміна вихідних даних (потужність та струми двигунів змінено в діапазоні 15–20%):

Характеристики застарілих малозавантажених двигунів ($P_{ном}=24$ 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):

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

$$\Delta P_{в.н}=24\cdot \frac{1-0,89}{0,89\cdot(1+0,12)}=2,64 \text{ кВт}.$$

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

$$\Delta P_{сум1}=\left[8,82\cdot\left(1-0,5^2\right)+0,5^2\cdot 12\right]\cdot 0,1+0,96+0,5^2\cdot 2,64=4,13 \text{ кВт}.$$

Характеристики нового енергоефективного двигуна ($P_{ном}=13,6$ 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 дозволить додатково економити підприємству 0,275 млн кВт·год/рік.

2.3 Перехід на енергоефективне освітлення

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

- розміри приміщення: довжина A=60 м, ширина B=18 м, висота H=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 цеху 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 приводу агрегату з системою автоматичного регулювання

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

Максимальне зусилля різання на ножицях обчислюється за формулою:

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

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

$k_3=1,3$ — коефіцієнт притуплення ножів;

$\tau_{макс}$ — опір зсуву матеріалу.

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

Плече прикладання зусилля:

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

Максимальний статичний момент різання:

$$M_{різ}=2 \cdot P \cdot \alpha .$$

Необхідна потужність двигуна:

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

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

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

Умовою вибору електродвигуна є:

$$P_д \geq 0,9 \cdot N_{різ}.$$

Для приводу ножиць обрано асинхронний двигун типу 4А132S4У3 ($P_{ном}$=12 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.

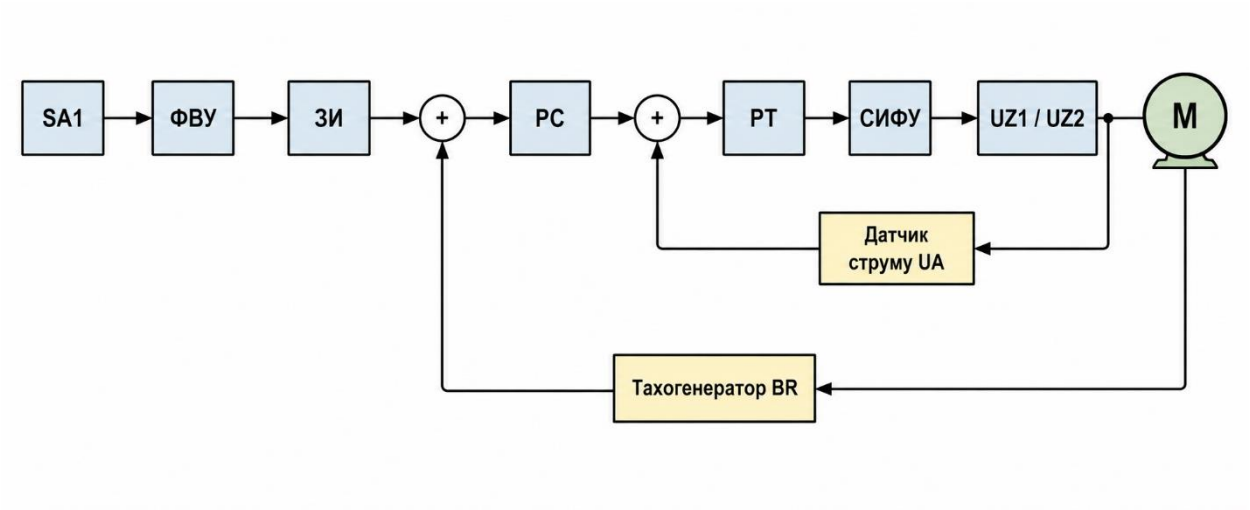


Рисунок 2.2 - Функціональна схема автоматичного регулювання швидкості тиристорного електроприводу

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

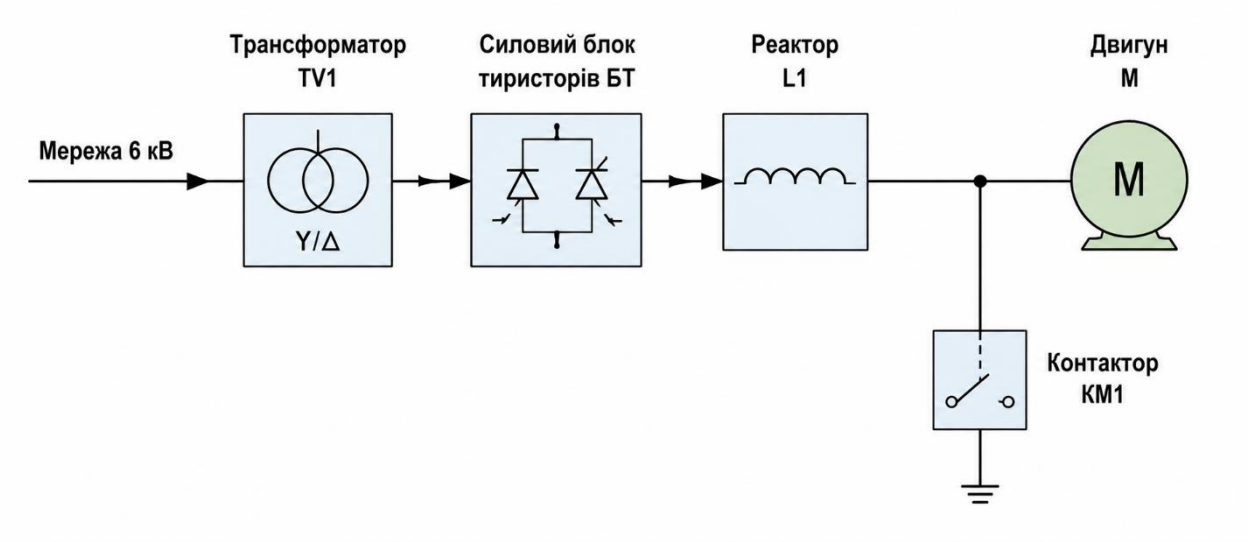


Рисунок 2.3 - Принципова схема силового живлення електродвигуна

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 Іном	0,10%	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.

Таблиця 2.8 — Зведені дані щодо потенціалу енергозбереження

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

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

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

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

3.1. Розрахунок економічної ефективності запропонованих проєктних рішень

3.1.1. Економічний ефект від модернізації електроприводу агрегату поперечного різання

Ефективність заміни малозавантаженого електродвигуна агрегату поперечного різання 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 Заміна застарілих освітлювальних приладів на більш сучасні та економічні

Визначимо економію електроенергії 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.

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:

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

3.1.3 Оцінка окупності та грошового ефекту від встановлення засобів компенсації реактивної енергії

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:

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

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

Таблиця 3.2 — Техніко-економічне порівняння варіантів підключення КУ

Показник	I варіант	II варіант	III 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 I 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 Оцінка економічної та технічної доцільності енергоефективної модернізації

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 підприємства 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 динамічного зростання тарифів на енергоносії робить проект високопривабливим для інвестування.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті виконано комплексний аналіз споживання електричної енергії та оцінку енергозберігаючого потенціалу будівельного підприємства . 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 агрегату поперечного різання із застосуванням тиристорного перетворювача 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 будівельно-монтажної 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. Кривоносов В. Є., Ткаченко В. О. Вищі гармоніки в мережах живлення перетворювачів частоти та методи їх компенсації. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2018. Вип. 51. С. 78–85.

21. Офіційний сайт ТОВ «БК . Виробничо-технічні показники та структура компанії. URL: https://stam.ua/ (дата звернення: 12.05.2024).

22. Інститут технічної теплофізики НАН України. Когенераційні технології в промисловій енергетиці : аналітичний огляд. Київ : ІТТФ, 2019. 112 с.

23. Жуков В. А., Бондаренко О. М. Оцінка окупності інвестицій в енергозберігаючі проекти на промислових підприємствах. Економіка та управління підприємствами. 2021. Вип. 4. С. 114–121.

24. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Методика формування тарифів на електричну енергію для промислових споживачів. Київ : НКРЕКП, 2022. 45 с.

25. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанову щодо використання. [На заміну ДСТУ ISO 50001:2014 ; чинний від 2021-05-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.