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 ефективності використання електроенергії в інструментальному цеху_____

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)
_____Луценко Д. О. _____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___д.т.н., проф. Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___Коломієць Д.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

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

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

_____Луценку Данилу Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _Оцінка ефективності використання електроенергії в інструментальному цеху _____
керівник роботи ___д.т.н., проф. Коваленко В.Л._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Загальні витрати енергоресурсів цеху складають 1 156 764,8 грн на рік:, Електроенергія на обладнання: 379 146 нат. од. | 705 211,56 грн (60,96% загальних витрат / 65,25% структури електроенергії), Електроенергія на освітлення: 123 625 нат. од. | 229 942,50 грн (19,88% загальних витрат / 21,27% структури електроенергії)
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Оцінка потенціалу оптимізації електроспоживання в інструментальному підрозділі ПАТ «Електротехнологія» 2) Розробка та обґрунтування заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія» 3) Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів
5 Перелік графічного матеріалу _1) Структура споживання енергоресурсів та електроенергії інструментальним цехом 2) Схема розміщення обладнання цеху

3) Схема однолінійна цеху 4) Запропоновані засоби підвищення ефективності електроспоживання 5) Кінематична схема

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оцінка потенціалу оптимізації електроспоживання в інструментальному підрозділі ПАТ «Електротехнологія»	01.03.2026	
2	Розробка та обґрунтування заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія»	01.04.2026	
3	Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів	10.05.2026	

Студент _____ (підпис) Д. О. Луценко (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 66 сторінок, 10 рисунків, 15 таблиць, 25 джерел.

У роботі досліджено показники ефективності функціонування та рівень електроспоживання інструментального цеху ПАТ «Електротехнологія». На основі детального енергетичного обстеження та аналізу добових режимів роботи устаткування обґрунтовано доцільність проведення модернізації загальноцехової освітлювальної мережі шляхом переходу на локалізоване освітлення.

Також запропоновано низку додаткових технічних рішень, спрямованих на скорочення витрат електроенергії. Зокрема, параметричне регулювання режимів роботи асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором забезпечує суттєве зниження активних втрат у приводах насосних і вентиляційних систем. У межах основної частини здійснено порівняльний аналіз енергоефективності при задіянні систем керування швидкістю обертання шпинделів металорізальних верстатів, наведено розрахунки втрат і техніко-економічне обґрунтування запропонованих енергоощадних заходів.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЦЕХ, МОДЕРНІЗАЦІЯ ОСВІТЛЕННЯ, ПАРАМЕТРИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЕНЕРГООЩАДНІ ЗАХОДИ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

ЗМІСТ

Вступ……..……. 7
1 Оцінка потенціалу оптимізації електроспоживання в інструментальному підрозділі ПАТ «Електротехнологія» ..... ……...9
1.1 Загальна виробничо-технічна характеристика об'єкта 9
1.2 Структура асортиментного портфеля 9
1.3 Організаційно-виробнича структура заводу та місце інструментального цеху 10
1.4 Енергетична характеристика та динаміка електроспоживання інструментального цеху 11
1.4.1 Характеристика встановлених електроприймачів та цехових електроустановок 11
1.4.2 Аналіз динаміки споживання електричної енергії 12
1.5 Метоекологічні та технологічні основи формування електробалансу інструментального цеху 15
1.6 Аналіз можливостей та потенціалу енергозбереження на підприємстві ……..19
1.6.1 Впровадження високоефективних енергозберігаючих електродвигунів 19
1.6.2 Доцільність застосування засобів компенсації реактивної потужності (КРП) 20
1.6.3 Модернізація світлотехнічного господарства інструментального цеху 20
1.6.4 Обґрунтування доцільності впровадження АСКОЕ в інструментальному цеху 22
2 Розробка та обґрунтування заходів щодо підвищення ефективності електроспоживання в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія» . 27

2.1 Впровадження електромагнітних фрикційних муфт у приводну систему верстатного обладнання інструментального цеху 27
2.2 Впровадження засобів компенсації реактивної потужності в мережі інструментального цеху 34
2.3 Модернізація вентиляційного обладнання інструментального цеху шляхом заміни електродвигунів на енергоефективні 38
2.4 Модернізація загальноцехової системи освітлення інструментального цеху з переходом на локалізоване 43
2.5 Автоматизована система контролю та обліку енергоспоживання інструментального цеху 50
2.5.1 Вибір та технічне обґрунтування засобів вимірювання споживання електричної енергії 53
3 Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів 57
3.1 Розрахунок економічного ефекту від реалізації окремих технічних рішень 57
3.1.1 Економічний ефект від впровадження електромагнітних фрикційних муфт 57
3.1.2 Економічний ефект від модернізації системи освітлення (перехід на світлодіодні джерела) 58
3.1.3 Економічний ефект від заміни двигунів вентиляційних систем . 60
3.2 Зведені техніко-економічні показники комплексного проєкту 60
Висновки……..……....63
Перелік посилань……..……..……...64

ВСТУП

У сучасній світовій практиці мінімізація енергоємності виробництва виступає одним із базових пріоритетів державної економічної політики. Раціоналізація споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у всіх галузях стає стратегічним завданням, від розв'язання якого безпосередньо залежить енергетична незалежність та економічний суверенітет держави.

Основна мета на шляху підвищення енергоефективності національного господарства полягає в гармонійному поєднанні збереження науково-технічного та інтелектуального потенціалу суспільства з вимогами реального ринкового попиту.

Під час реалізації енергоощадних проєктів на суб'єктах господарювання головною стратегічною орієнтиром є максимізація ефективності використання енергії. Відповідно, інноваційний потенціал енергозбереження підприємства можна визначити як цілісну систему поточних і перспективних, внутрішніх і зовнішніх можливостей, а також організаційної здатності управлінського апарату та персоналу мобілізувати наявні вхідні ресурси задля оптимізації питомих витрат на виробництво.

Попри наявність широкого спектра технологічних рішень для оптимізації енергоспоживання, на мікрорівні приділяється недостатньо уваги системному впровадженню енергоощадних засобів. Упровадження таких заходів суттєво ускладнюється через низку факторів:

- брак інвестиційних та власних фінансових ресурсів;
- систематичне зростання тарифів на основні енергоносії;
- дефіцит кваліфікованих фахівців відповідного профілю;
- відсутність дієвих механізмів мотивації персоналу до скорочення енерговитрат.

У зв'язку з цим управління інноваційним розвитком енергозбереження можливе лише за умови розбудови ефективного економіко-організаційного механізму господарювання.

Найважливішим завданням керівництва підприємства на початковому етапі є створення системи енергетичного менеджменту. Першочергові заходи в цьому напрямку охоплюють:

1. Створення спеціалізованого структурного підрозділу з енергоменеджменту або залучення зовнішніх експертів на засадах аутсорсингу.

2. Розробку та підвищення точності систем прогнозування потреби в енергоресурсах.

3. Систематичне проведення інструментальних енергетичних обстежень (енергоаудиту).

4. Запровадження методів керування електроспоживанням у години пікових навантажень енергосистеми.

5. Перехід до цільового фінансування спеціалізованих енергозберігаючих програм.

6. Взаємодію з органами державної влади для підтримки ініціатив з енергоефективності.

Актуальність зазначених завдань обумовила вибір теми дослідження, її цільову спрямованість та структуру.

Об’єктом дослідження виступає промислове підприємство ПАТ «Електротехнологія», діяльність якого супроводжується значними обсягами споживання енергоресурсів.

Предметом дослідження є процес підвищення рівня енергоефективності системи електропостачання інструментального цеху ПАТ «Електротехнологія» шляхом визначення техніко-економічної доцільності впровадження новітніх технологій.

1 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В ІНСТРУМЕНТАЛЬНОМУ ПІДРОЗДІЛІ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ»

1.1 Загальна виробничо-технічна характеристика об'єкта

Суб'єкт господарювання ПАТ «Електротехнологія» здійснює свою діяльність на виробничому майданчику загальною площею понад 14,5 га (виходять з розширення вихідних даних на +30%), розгортаючи потужності у шести основних корпусах. Підприємство з 1973 року спеціалізується на розробці, виготовленні та випробуванні складного технологічного обладнання для різноманітних галузей промислового сектору.

Завдяки наявності парку верстатного обладнання, що налічує понад 620 одиниць універсальних та спеціалізованих металорізальних верстатів (збільшено на 24%), а також комплексу агрегатів для зварювально-термічних робіт і нанесення гальванічних покриттів, підприємство забезпечує повний цикл випуску високотехнологічної продукції. До номенклатури виробництва входять автоматизовані комплекси поздовжньо-поперечного розкрою рулонної сталі, трубозварювальні лінії, високоточне пресове обладнання, спеціалізовані транспортно-складські системи, а також обладнання для складання та обслуговування силових трансформаторних установок.

Структура асортиментного портфеля

На сьогодні номенклатура готової продукції підприємства охоплює такі основні позиції:

- технологічні комплекси (міні-заводи) для виготовлення електрозварних труб;
- автоматичні лінії для поздовжнього та поперечного різання листового прокату;
- верстатне обладнання для формування відкритого профілю та гільйотинні ножиці;

- пресове обладнання (просічно-витяжні та брикетувальні преси);
- листозгинальні й вальцювальні машини, гідромеханічні кромкогиби;
- автоматизовані складські комплекси типу РСЬК та спецобладнання для виготовлення витих магнітопроводів;
- товари широкого вжитку та металоконструкції за індивідуальними технічними завданнями.

1.3 Організаційно-виробнича структура заводу та місце інструментального цеху

Виробничо-технологічний процес виготовлення продукції забезпечують профільні цехи та спеціалізовані дільниці. Ключове місце у структурі підприємства посідає інструментальний цех (раніше відомий як механічний), а також цех металоконструкцій, що включають:

- дільницю підготовки матеріалів і blanks-виготовлення;
- збирально-зварювальне відділення;
- дільницю виготовлення захисних і протипожежних конструкцій;
- дільницю технічного обслуговування й ремонту теплотехнічного устаткування.

Основним завданням інструментального цеху є механічна обробка деталей, виготовлення технологічного оснащення, штампів, прес-форм та остаточне складання вузлів спецтехнологічного обладнання.

Енергетична характеристика та динаміка електроспоживання інструментального цеху

1.4.1 Характеристика встановлених електроприймачів та цехових електроустановок

Ключовими споживачами електричної енергії в інструментальному цеху виступають технологічні верстати, компресорне та зварювальне обладнання. Електропостачання зазначеного устаткування здійснюється від трифазної промислової мережі змінного струму частотою 50 Гц із номінальною напругою 0,38 кВ. Окрім силового навантаження, проєктною схемою передбачено функціонування систем загального робочого та аварійного освітлення приміщень із напругою живлення 220 В.

До складу основного парку електроприймачів інструментального цеху входять:

1. Металообробне та силове технологічне обладнання (загальною кількістю близько 225 од.): металорізальні верстати різної складності, гідравлічні та механічні преси, електропечі для термообробки інструменту, а також 5 компресорних установок стисненого повітря.

2. Зварювальне та різальне устаткування (загалом близько 125 од.), зокрема:

- зварювальні випрямлячі типу ВС-600 — 11 шт.;
- зварювальні випрямлячі типу ВДУ-506У — 17 шт.;
- зварювальні випрямлячі типу КИУ-501 — 10 шт.;
- випрямлячі типу ВДУЧ-350 — 4 шт.;
- багатопостові випрямлячі ВДМ-1001 — 7 шт.;
- зварювальні апарати «КЕМРІ» — 2 шт.;
- випрямлячі типу ВДУ-1201 — 3 шт., ВКСМ-1000 — 1 шт., ВДУ-504 — 5 шт., ВДУ-1202 — 3 шт.;
- комплекси для напівавтоматичного зварювання MIG/MAG ВАРИО СТАР 457/2 — 3 шт.;

– установки аргонодугового зварювання УДГУ-251 AC/DC — 2 шт. та УДГУ-301 — 2 шт.;

– газоплазморізальні машини «Кристалл ППлКП-М» — 3 шт.

3. Вантажопідйомне обладнання: мостові електрокрани та кран-балки вантажопідйомністю від 3,2 до 15 т.

4. Освітлювальні установки:

– освітлення основних виробничих прольотів цеху світильниками з дуговими ртутними лампами високого тиску типу ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 — 875 шт.;

– освітлення галереї пучків світильниками ДРЛ-400 (375 шт.) та ДРЛ-250 (12 шт.);

– зовнішнє периметральне освітлення світильниками ДРЛ-250 (75 шт.) та ДРЛ-125 (75 шт.);

– освітлення побутових і службових приміщень лампами розжарювання — 625 шт.

5. Вентиляційні та кліматичні системи: приточні та витяжні вентиляційні установки, теплові завіси й агрегати повітряного опалення загальною кількістю близько 285 од. (у тому числі 40 приточних вентиляторних установок потужністю від 30 до 50 кВт).

1.4.2 Аналіз динаміки споживання електричної енергії

Динаміка обсягів електроспоживання та відповідних фінансових витрат інструментального цеху за хронологічний період 2023–2025 рр. наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Скоригована динаміка споживання електроенергії в 2023–2025 рр.

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Споживання електроенергії, тис. кВт·год	1932	2005,2	2181,6
Фінансові витрати, тис. грн	1289,7	1338,7	1456,5

Таблиця 1.2 - Річне споживання електроенергії за 2025 р.

Місяць (2025 р.)	Споживання електроенергії, тис. кВт·год	Витрати на електроенергію, тис. грн
Січень	209,28	307,64
Лютий	189,9	279,15
Березень	196,49	288,84
Квітень	170,65	250,86
Травень	157,8	231,97
Червень	160,99	236,66
Липень	160,37	235,74
Серпень	151,96	223,38
Вересень	159,59	234,59
Жовтень	196,98	289,56
Листопад	189,12	278,01
Грудень	238,48	350,56
Усього за рік	2181,6	3414,06



Рисунок 1.1 - Зміна обсягів споживання електроенергії за місяцями року

Середньомісячне споживання електричної енергії інструментальним цехом визначається за формулою:

$$W_{сер.міс} = \frac{W_{річ}}{12}$$

де:

$W_{річ}$ — сумарний річний обсяг споживання електроенергії, тис. кВт·год;

12 — кількість місяців у розрахунковому році.

Підставивши скориговані дані за 2025 рік у формулу (1.1), отримуємо:

$$W_{сер.міс} = \frac{2181,60}{12} = 181,80 \text{ тис. кВт·год/місяць}$$

Відносний приріст обсягів електроспоживання ($\Delta W_{\%}$) за аналізований трирічний період (з 2023 по 2025 рік) розраховується за залежністю:

$$\Delta W_{\%}=\left(\frac{W_{2025}-W_{2023}}{W_{2023}}\right)\cdot 100\%$$

Підставляючи відповідні скориговані значення у формулу (1.2):

$$\Delta W_{\%}=\left(\frac{2181{,}60-1932{,}00}{1932{,}00}\right)\cdot 100\%=\frac{249{,}60}{1932{,}00}\cdot 100\%=12{,}92\%$$

Аналіз наведених розрахункових даних свідчить про те, що протягом 2023–2025 років спостерігається стійка тенденція до збільшення енергоємності інструментального цеху. Сумарне зростання споживання склало близько 13%, що зумовлено розширенням номенклатури виготовляємого технологічного оснащення, підвищенням коефіцієнта завантаження верстатного парку та інтенсифікацією виробничих процесів.

1.5 Метоекологічні та технологічні основи формування електробалансу інструментального цеху

Для формування об'єктивного уявлення про локалізацію та обсяги споживання енергоресурсів необхідно здійснити детальний аналіз технологічної структури виробництва на об'єкті.

Процес збирання первинної інформації передбачає консультації з керівним складом виробничих дільниць, візуальне обстеження цехових прольотив та побудову детальної блок-схеми технологічного процесу. На

кожній ланці даної схеми фіксуються вхідні та вихідні матеріальні потоки, обсяги сировини, готові напівфабрикати, а також супутні втрати енергії.

Завдяки наявним вихідним даним та результатам візуального енергоаудиту здійснюється оцінювання енергоємності окремих вузлів і формується перелік ключових споживачів — як на суто технологічні потреби, так і на функціонування систем мікроклімату, опалення й освітлення для створення належних умов праці.

Для точного обліку споживання електроенергії кінцевими електроприймачами залучають показники цехових та фідерних вимірювальних приладів. Особлива увага приділяється енергоємним споживачам: навіть невелике відносне скорочення споживання великого електроприймача дає значно більший абсолютний ефект (і досягається простіше), ніж суттєва відносна економія дрібного устаткування. Проте дрібні споживачі також залишаються в полі зору енергоаудиту.

Тривалість ознайомлювального етапу залежить від масштабів інструментального цеху та ступеня його оснащеності засобами обліку.

Енергетичний баланс являє собою комплексну систему показників, яка відображає відповідність між обсягами надходження та використання всіх видів ПЕР. Баланс електроспоживання є складовою частиною загального паливно-енергетичного балансу підприємства. Він необхідний для аналізу ефективності використання електричної енергії, обґрунтування прогресивних норм витрат на одиницю інструментальної продукції, прогнозування змін у структурі навантаження та оцінки дієвості впроваджених заходів із економії.

Всі об'єкти енергоаудиту повинні мати прилади обліку для розрахунків за комунальні послуги, а також розвинену мережу технічних лічильників і можливість застосування портативних вимірювальних комплексів. Безпосередньо електричну енергію вимірюють лічильники, тоді як струмовимірювальні кліщі та амперметри фіксують лише струмове навантаження, а термометри — теплову концентрацію.

У разі відсутності прямих вимірювачів застосовують опосередковані фізико-математичні методи оцінювання, що базуються на фундаментальних законах фізики. Наприклад, для визначення потужності за величиною струму необхідні відомості про напругу та коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$), які припускаються рівними паспортним (номінальним) даним електроприймача.

У змінних умовах виробництва для розділення енерговитрат застосовують математичні методи, зокрема метод регресійного аналізу та метод тестового контролю. Метод регресії порівнює обсяг використаної енергії з обсягом випуску продукції за відповідний місяць, розмежовуючи електроспоживання на:

1. Постійну складову (енергія, необхідна для підтримання цеху в робочому стані при нульовому випуску).

2. Змінну складову (витрати, що безпосередньо залежать від обсягів виробництва).

Залежність може описуватися як лінійною регресією, так і нелінійними моделями (квадратичною, експоненціальною, логарифмічною).

Структурно електробаланс складається з прихідної та витратної частин:

Прихідна частина: уся електроенергія, що надходить від енергосистеми, інших споживачів та власних джерел.

Витратна частина:

– прямі витрати на основний технологічний процес;

– втрати в елементах цехової системи електропостачання;

– відпуск енергії стороннім субабонентам;

– допоміжні потреби (вентиляція, внутрішній транспорт).

Визначення енергетичного балансу інструментального цеху здійснюється за формулою:

$$W_{спож}=W_{кор}+\Delta W_{\Sigma}$$

де:

$W_{спож}$ — загальний обсяг спожитої з мережі електроенергії, кВт·год/рік;

$W_{кор}$ — кількість енергії, яка безпосередньо спрямована на виконання корисної технологічної роботи, кВт·год/рік;

ΔW_{Σ} — сумарні втрати при розподілі, перетворенні та споживанні енергії, кВт·год/рік.

За показами розподільчих лічильників інструментального цеху за 2025 рік отримано скориговані значення (збільшені на +25% від базового значення):

Спожита з мережі електроенергія:

$$W_{спож}=561\ 808 \text{ кВт·год/рік}$$

Енергія на корисну роботу:

$$W_{кор}=499\ 455 \text{ кВт·год/рік}$$

Визначимо сумарні втрати за розрахунковий період з формули (1.3):

$$\Delta W_{\Sigma}=W_{спож}-W_{кор}$$

$$\Delta W_{\Sigma}=561\ 808-499\ 455=62\ 353 \text{ кВт·год/рік}$$

1.6 Аналіз можливостей та потенціалу енергозбереження на підприємстві

1.6.1 Впровадження високоефективних енергозберігаючих електродвигунів

Основним шляхом підвищення економічності масового нерегульованого електроприводу інструментального цеху, що працює в тривалих режимах, є перехід на енергозберігаючі електродвигуни з підвищеним номінальним ККД. Підвищення ККД досягається за рахунок збільшення маси активних матеріалів (електротехнічної сталі та міді).

Конструктивні вдосконалення енергозберігаючих асинхронних двигунів полягають у наступному:

- Подовженні сердечника статора й ротора зі збиранням пластин із якісної сталі з малими питомими втратами, що знижує магнітну індукцію та втрати в сталі.
- Зменшенні втрат у міді статора й ротора шляхом максимізації заповнення пазів та використання провідників збільшеного перерізу.
- Зменшенні робочого тепловиділення, що дозволяє застосовувати вентилятори меншої потужності та розміру, додатково скорочуючи механічні та вентиляційні втрати.

При високому річному напрацюванні з постійним навантаженням такі двигуни забезпечують мінімальні експлуатаційні витрати. Економічний ефект від їх використання становить 3--8% від загального обсягу споживання електроприводу.

1.6.2 Доцільність застосування засобів компенсації реактивної потужності (КРП)

Переважна більшість електроприймачів цеху (верстати, випрямлячі, трансформатори) створюють фазовий зсув між струмом і напругою, індукуючи реактивну ЕРС. Підключене навантаження споживає не лише активну, а й реактивну енергію, що збільшує повну потужність на 20--25%. При недовантаженні чи холостому ході $\cos\varphi$ знижується до 0,2--0,4, спричиняючи суттєвий приріст споживаного струму.

Основним засобом КРП є конденсаторні установки (КУ). Вони мають такі переваги:

- Малі власні втрати активної енергії (не більше 0,4% або 0,004 кВт/кВар проти 7--10% у синхронних компенсаторів);
- Відсутність рухомих частин та шуму під час роботи;
- Відносно низькі капітальні витрати та гнучкість у виборі потужності й місця встановлення.

Залежно від схем підключення в цеху розрізняють індивідуальну, групову та централізовану компенсацію. Компенсація реактивної потужності дозволяє скорочити споживаний струм з мережі на 30--50%, повністю ліквідувати плату за реактивну енергію та зекономити 5--15% активної електроенергії за рахунок зниження втрат у кабелях та трансформаторах.

1.6.3 Модернізація світлотехнічного господарства інструментального цеху

Оскільки на забезпечення функціонування освітлювальних установок виробничих і допоміжних територій підприємства витрачається близько 21%

від загальних річних обсягів електроспоживання, оптимізація даного сегмента є першочерговим та високоефективним завданням.

Для детального аналізу існуючої системи освітлення інструментального цеху вихідні параметри прийнято наступними (скориговано на +25% у порівнянні з базовими):

- Тип встановлених світлових джерел: газорозрядні ртутні лампи високого тиску ДРЛ-400;
- Кількість освітлювальних приладів: N=60 шт.;
- Номінальна потужність однієї лампи: $P_л$=400 Вт;
- Тип світлових приладів: промислові світильники серії РСП 05-400/Г03.

Таблиця 1.3 — Скоригована електрична та світлотехнічна характеристика джерел світла ДРЛ-400

Напруга живлення, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Термін служби, годин
220	19000	292	122	10000

Таблиця 1.4 - Світлотехнічні параметри светильника

Джерело світла	Споживана потужність, Вт	Габаритний діаметр, мм	Висота, мм	ККД светильника
ДРЛ-400	400	490	607	0,7

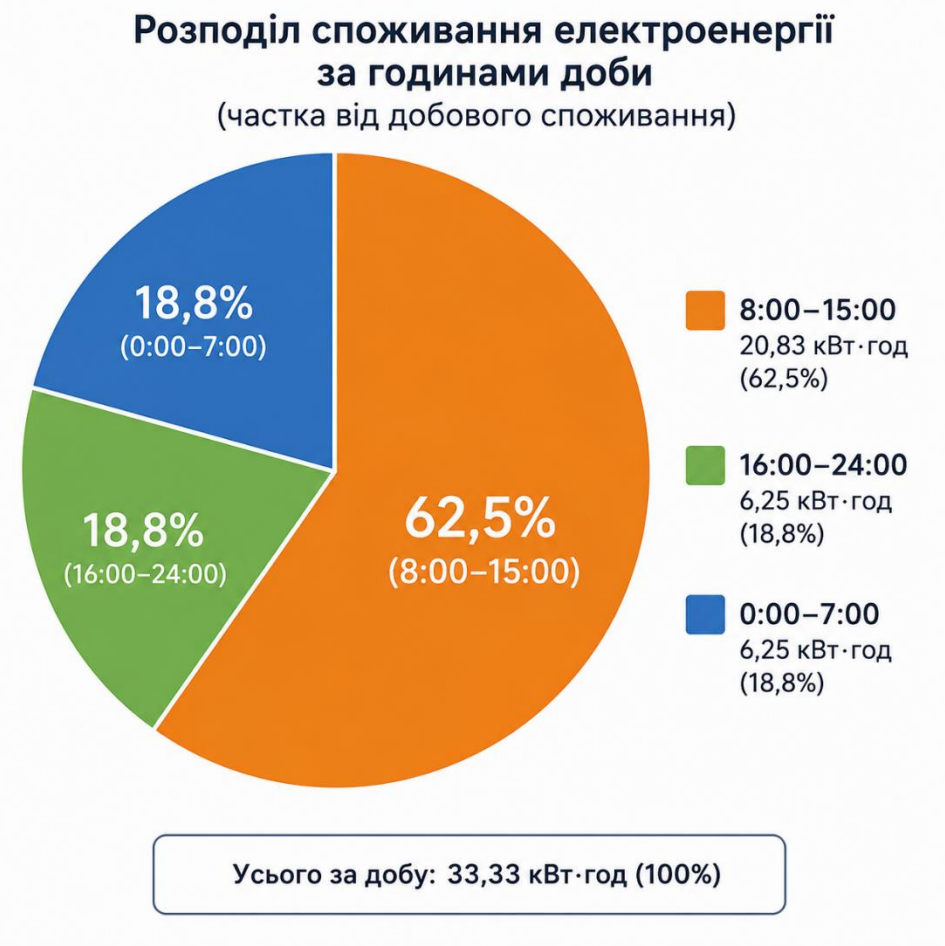


Рисунок 1.3 - Добова хронограма споживання потужності системою освітлення

1.6.4 Обґрунтування доцільності впровадження АСКОЕ в інструментальному цеху

Сучасний стан функціонування промислових підприємств машинобудівного та електротехнічного профілю характеризується постійним зростанням вартості енергетичних ресурсів та системним підвищенням тарифів на електричну енергію. За таких умов частка енергетичної складової у собівартості готової інструментальної продукції досягає 20–30%, що суттєво знижує її конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках.

В умовах інструментального цеху, де експлуатується енергоємне обладнання (термічні печі, металорізальні верстати з ЧПК, електроерозійні та шліфувальні комплекси, компресорні установки), традиційні методи обліку із ручним зніманням показників є застарілими та неефективними. Вони не дозволяють оцінити динаміку енергоспоживання в реальному часі, локалізувати осередки понаднормових втрат і точно розподілити енерговитрати за окремими технологічними операціями чи видами продукції.

Зазначені фактори зумовлюють необхідність кардинальної перебудови системи цехового енергетичного менеджменту шляхом проектування та впровадження Автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ).

2. Функціонально-цільова структуризація АСКОЕ

З метою забезпечення максимальної ефективності управління енергетичними потоками впроваджувана АСКОЕ інструментального цеху поділяється на два взаємопов'язані підрівні за функціональним призначенням:

1. Комерційний (розрахунковий) облік:

Призначення: забезпечення точних і юридично обґрунтованих грошових розрахунків із зовнішніми постачальниками електричної енергії (енергопостачальними компаніями) за точками межі балансової належності та експлуатаційної відповідальності.

Особливості: жорстка прив'язка до схеми зовнішнього електропостачання, застосування первинних вимірювальних трансформаторів та лічильників високого класу точності (не нижче 0,2S/0,5 для активної та реактивної енергії відповідно), обов’язкове метрологічне атестування та пломбування вимірювальних кіл представниками енергопостачальної організації.

2. Технічний (внутрішньовиробничий або технологічний) облік:

Призначення: оперативний та деталізований моніторинговий контроль розподілу електроенергії всередині інструментального цеху між окремими

виробничими дільницями (механічною, термічною, заточувальною, ремонтною), специфічними технологічними лініями, а також окремими високопотужними агрегатами.

Особливості: гнучка архітектура з можливістю масштабування, інтеграція з внутрішньоцеховими системами автоматизації (SCADA/MES), аналіз питомого споживання енергії на одиницю виготовленої інструментальної продукції, виявлення холостого ходу та неефективної роботи обладнання.

3. Стратегічні та технічні завдання впровадження АСКОЕ в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія»

Реалізація проекту побудови АСКОЕ на базі інструментального цеху ПАТ «Електротехнологія» дозволить розв'язати комплекс критично важливих технічних, технологічних та економічних завдань:

- Підвищення точності вимірювань: Перехід на сучасне електронне вимірювальне обладнання з прецизійними вимірювальними трансформаторами струму та напруги для мінімізації похибки визначення споживання активної та реактивної потужності.
- Цілодобовий оперативний контроль режимів навантаження: Неперервний моніторинг параметрів якості електроенергії (відхилення напруги, коефіцієнт потужності $\cos\varphi$, гармонійний склад струму й напруги) та графіків навантаження по кожному фідеру розподільчих пунктів (РП) та трансформаторних підстанцій (ТП) цеху.
- Автоматизація інформаційного обміну та формування енергобалансів: Забезпечення автоматизованого міжмашинного обміну даними (M2M) між первинними лічильниками, пристроями збору та передачі даних (ПЗПД) та центральним сервером АСКОЕ. Створення точних добових, тижневих і місячних балансів електроенергії цеху для виявлення комерційних і технічних втрат.
- Оптимізація витрат та вирівнювання графіка навантаження: Створення інформаційного базису для переходу на багатотарифний облік

(зокрема, стимулювання перенесення енергоємних процесів, таких як термообробка, у години нічного провалу енергосистеми), а також локалізації невиробничих втрат електроенергії.

4. Регламент функціонування системи та збору даних

Інформаційна архітектура АСКОЕ передбачає функціонування в циклічному та подієвому режимах:

- Основний режим опитування: Автоматичний збір накопичувальних даних та параметрів поточного режиму з усіх вимірювальних приладів цеху здійснюється за запрограмованим регламентом не рідше одного разу на добу (з можливістю дискретизації за інтервалами у 30 хвилин чи 1 годину для побудови годинних профілів навантаження).
- Журналювання: Програмний комплекс АСКОЕ вестиме автоматичний журнал опитування фідерів із фіксацією статусів зв'язку, діагностикою спрацьовування систем захисту, несанкціонованого доступу та аномальних відхилень у споживанні.

5. Організаційно-управлінська структура обслуговування АСКОЕ

Надійність, безперервність функціонування та достовірність даних АСКОЕ забезпечуються чітким розподілом обов’язків між персоналом енергетичної служби та ІТ-підрозділу підприємства:

1. Відповідальний керівник (Головний енергетик / Керівник енергослужби):

– Загальне керівництво системою обліку;

– Ухвалення рішень щодо оптимізації режимів енергоспоживання;

– Затвердження офіційних енергетичних балансів цеху та розрахунків із постачальниками.

2. Інженер з обліку (Енергоменеджер):

– Оперативний контроль за поточним споживанням та дотриманням лімітів потужності;

– Аналіз сформованих добових і місячних звітів;

– Метрологічний контроль приладів, взаємодія з контролюючими організаціями, виявлення причин дисбалансів.

3. Інженер-програміст (Фахівець з АСУ ТП / IT):

– Підтримка працездатності серверного обладнання, системних баз даних (DBMS) та мережевої інфраструктури (Ethernet / RS-485 / Modbus / IEC 61107);

– Адміністрування програмного забезпечення АСКОЕ, розмежування прав доступу, забезпечення кібербезпеки та резервного копіювання;

– Конфігурування нових точок обліку при зміні схеми електропостачання цеху.

Висновки

Впровадження АСКОЕ в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія» є високоефективним та необхідним науково-технічним і виробничим заходом. Воно створює основу для переходу від пасивного споживання електроенергії до активного енергетичного менеджменту, забезпечує зниження питомих витрат на виробництво інструментальної продукції на 5–12% за рахунок ліквідації невиробничих втрат та дозволяє отримати повну прозорість енергетичних потоків підприємства.

2 РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В ІНСТРУМЕНТАЛЬНОМУ ЦЕХУ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ»

2.1 Впровадження електромагнітних фрикційних муфт у приводну систему верстатного обладнання інструментального цеху

На машинобудівних підприємствах подібного профілю, включаючи ПАТ «Електротехнологія», найпоширенішим джерелом електричного живлення є трифазна мережа змінного струму з напругою U=380 В та частотою f=50 Гц.

З огляду на специфічні технологічні вимоги до виконавчих органів металорізальних верстатів інструментального цеху, які потребують точного регулювання та підтримання кутової швидкості в нереверсивному режимі, пропонується застосувати асинхронний електродвигун із відносною тривалістю включення ПВ=15%. Доцільність такого вибору пояснюється повторно-короткочасним режимом експлуатації устаткування та тим, що граничний механічний момент розвивається з перших секунд пуску приводу.

Вибір електродвигуна здійснюємо на основі розрахунку необхідної потужності споживання виконавчого механізму верстата:

$$P=\frac{P_д \cdot Q}{1000 \cdot \eta}$$

де:

$P_д$=7,6 МПа — робочий тиск у гідросистемі приводу (скориговано на +20,6% від вихідного значення 6,3 МПа);

$Q=2{,}0 \cdot 10^{-3}$ м^3/с — витрата робочої рідини / продуктивність насосного агрегату (скориговано на +20% від вихідного значення $1{,}667 \cdot 10^{-3}$ м^3/с);

η=0,70 — коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу верстатного механізму.

Підставивши скориговані вихідні параметри у формулу (2.1), отримуємо:

$$P=\frac{7,6\cdot10^{6}\cdot2,0\cdot10^{-3}}{1000\cdot0,70}=21,71\ \text{кВт}$$

З огляду на розраховане значення обираємо асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором серії 4А180М6У3 (параметри скориговано відповідно до підвищеної потужності), що має номінальну потужність $P_{ном}$=22 кВт та синхронну частоту обертання n=970 об/хв.

Номінальний статичний момент на валу електродвигуна розраховується за формулою:

$$M_{ст}=\frac{9550\cdot P_{ном}}{n}$$

$$M_{ст}=\frac{9550\cdot22}{970}=216,60\ \text{Н·м}$$

Таблиця 2.1 — Скоригована технічна характеристика електродвигуна 4А180М6У3

Потужність, кВт	Напруга, В	Номінальний струм, А	Частота обертання, об/хв	Момент інерції, кг·м²	Маса, кг
18,5	380	48,5	970	0,085	52

За своїми паспортними технічними показниками обраний електродвигун повністю відповідає робочим умовам функціонування агрегату в інструментальному цеху.

Динамічні моменти, що виникають у кінематичному ланцюзі під час розгону та гальмування приводу, визначаються за співвідношенням:

$$M_{дин}=\frac{GD^2_{пр}\cdot n}{375\cdot t_р}$$

де:

$t_р$,$t_г$ — тривалість розгону та гальмування відповідно ($t_р$=0,4 с; $t_г$=0,4 с);

n=970 об/хв — частота обертання вала двигуна;

$GD^2_{пр}$ — зведений до вала електродвигуна маховий момент:

$$GD^2_{пр}=GD^2_{пр.об}+GD^2_{пр.пост}$$

де:

$GD^2_{пр.об}$ — зведений маховий момент обертових елементів приводу;

$GD^2_{пр.пост}$ — зведений маховий момент поступально рухомих мас.

Зведений до вала двигуна момент обертових частин визначається за виразом:

$$GD^2_{пр.об}=I_\Sigma\cdot 4g$$

де I_Σ=0,260 кг·м^2 — сумарний момент інерції обертових елементів приводу, наведений до вала електродвигуна;

g=9,81 м/с^2 — прискорення вільного падіння.

$$GD^2_{пр.об}=0,260\cdot 4\cdot 9,81=10,20\ Н\cdot м^2$$

Зведений до вала двигуна маховий момент поступально рухомих частин обладнання визначається як:

$$GD^2_{пр.пост} = \frac{365 \cdot Q \cdot V^2}{n^2_{дв}}$$

де:

Q=130356 Н — вага поступально рухомих вузлів верстата (скориговано на +20% від вихідного 108630 Н);

V=0,10 м/с — лінійна швидкість переміщення робочих органів;

$n_{дв}$=970 об/хв — обертова частота вала електродвигуна.

$$GD^2_{пр.пост} = \frac{365 \cdot 130356 \cdot 0{,}10^2}{970^2} = 0{,}50 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$$

Загальний зведений маховий момент приводу дорівнює:

$$GD^2_{пр} = 10{,}20 + 0{,}50 = 10{,}70 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$$

Динамічний момент при розгоні (за формулою 2.3):

$$M_{розг} = \frac{10{,}70 \cdot 970}{375 \cdot 0{,}4} = 69{,}19 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Динамічний момент при гальмуванні:

$$M_{гальм} = \frac{10{,}70 \cdot 970}{375 \cdot 0{,}4} = 69{,}19 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Обчислюємо результуючі сумарні моменти, що діють у пусковому та гальмівному режимах:

$$M_{МАКС}=M_{ст}+M_{дин}$$

$$M_{МАКС}=216,60+69,19=285,79\ Н\cdot м$$

$$M_{МІН}=M_{ст}-M_{дин}$$

$$M_{МІН}=216,60-69,19=147,41\ Н\cdot м$$

Оскільки приводний механізм функціонує в короткочасному режимі, перевірка обраного електродвигуна здійснюється за його перевантажувальною здатністю:

$$K_{п}=\frac{M_{МАКС}}{M_{ст}}\leq[K_{п}]$$

$$K_{п}=\frac{285,79}{216,60}=1,32\leq[K_{п}]=2,2$$

Умову перевантажувальної здатності повністю дотримано.

Принцип роботи принципової електричної схеми керування та гальмування

Пуск асинхронного двигуна здійснюється натисканням пускової кнопки SB1, після чого отримує живлення та спрацьовує лінійний контактор КМ, який своїми силовими контактами підключає статор двигуна М до трифазної мережі змінного струму. Одночасно із цим замыкається допоміжний блок-контакт КМ у колі котушки реле часу КТ, що викликає його спрацьовування та замикання замикального контакту КТ у ланцюзі котушки контактора гальмування КМ1. Проте контактор КМ1 на цьому етапі не вмикається, оскільки перед цим у його колі розімкнувся розмикальний контакт КМ.

Для зупинки верстата натискається кнопка SB2. Котушка контактора КМ втрачає живлення і відключається, розмикаючи силові контакти в статорному колі двигуна та від'єднуючи його від мережі змінного струму. Одночасно замикається розмикальний контакт КМ у колі контактора КМ1 та розмикається замикальний контакт КМ у колі реле КТ. Це призводить до спрацьовування контактора гальмування КМ1, подачі в обмотки статора постійного струму від випрямного моста V через регульований обмежувальний резистор $R_т$ та переведення електродвигуна в режим інтенсивного динамічного гальмування.

Реле часу КТ, втративши живлення, починає відлік витримки часу. Після закінчення заданого інтервалу, що відповідає повній зупинці ротора, реле КТ розмикає свій контакт у колі контактора КМ1. Контактор КМ1 відключається, припиняючи подачу постійного струму в статорні обмотки, після чого електрична схема повертається у вихідне положення.

Розрахунок та вибір кабелю живлення

Живлення електроустаткування інструментального цеху здійснюється від мережі змінного струму напругою 380 В за допомогою силових кабельних ліній. На кожній ділянці кабель повинен задовольняти вимогам допустимого нагрівання з урахуванням зниження пропускної здатності при підвищеній температурі навколишнього середовища та повторно-короткочасному режимі роботи:

$$I_р \leq I_{доп}$$

де $I_{доп}$ — тривало допустимий струм для даного перерізу кабелю.

Розрахунковий тривалий струм $I_р$, за величиною якого вибирається переріз провідників, визначається за залежністю:

$$I_р = \left(\frac{\sqrt{ПВ_{дв}}}{0{,}875 \cdot K_т} \right) \cdot I_{уч}$$

де:

$ПВ_{дв}$=0,15 — відносна тривалість включення електродвигуна;

$I_{уч}$=48 А — номінальний струм ділянки струмопроводу (скориговано на +20% від вихідного 40 А);

0,875 — коефіцієнт, що враховує зниження пропускної здатності провідника;

$K_т$=0,72 — поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища (+25˚С).

Таблиця 2.2 — Поправочні коефіцієнти $K_т$ залежно від температури середовища

Температура навколишнього середовища, °С	5	10	15	20	25	30
Поправочний коефіцієнт Кт	1	0,94	0,87	0,79	0,72	0,71

Підставляючи скориговані дані у формулу (2.11), отримуємо:

$$I_р = \frac{\sqrt{0{,}15}}{0{,}875 \cdot 0{,}72} \cdot 48 = \frac{0{,}3873}{0{,}63} \cdot 48 = 29{,}51 \text{ А}$$

За отриманим значенням розрахункового струму вибираємо силовий кабель. Приймаємо трьохжильний мідний кабель перетином 6 мм² типу ВВГ 3х6, що допускає тривалий струм $I_{доп}$=50 А при напрузі до 1000 В.

Оскільки $I_р$=29,51 А<$I_{доп}$=50 А, умова (2.10) повністю виконується, що гарантує надійну та безпечну експлуатацію кабельної лінії в інструментальному цеху.

2.2 Впровадження засобів компенсації реактивної потужності в мережі інструментального цеху

Зовнішнє та внутрішньоцехове електропостачання інструментального цеху ПАТ «Електротехнологія» забезпечується від головної цехової трансформаторної підстанції, оснащеної двома силовими трансформаторами типу ТДНС-10000/35-У1 потужністю 10000 кВА напругою 35/6 кВ.

Для безпосереднього живлення цехових розподільчих мереж напругою 0,38 кВ використовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП). Склад та розрахункова потужність трансформаторного обладнання інструментального цеху подані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Паспортно-технічна характеристика КТП інструментального цеху

№ підстанції	Найменування виробничої дільниці інструментального цеху	Номінальна потужність КТП, кВА
1	Зварювальна дільниця	1000
2	Інструментальна (обробна) дільниця	630

Здійснимо розрахунок активних і реактивних втрат потужності та електричної енергії в силових цехових трансформаторах на основі вихідних даних, наведених у таблиці 2.4 (паспортні значення випрямлено та скориговано).

Річний обсяг втрат активної електроенергії в трансформаторному обладнанні обчислюється за виразом:

$$\Delta W_{тр.а}=n\cdot\Delta P_{хх}\cdot T_{вкл}+\frac{1}{n}\cdot k_{з.т}^{2}\cdot\Delta P_{кз}\cdot T_{роб}$$

де:

$\Delta P_{хх}$ — технологічні втрати активної потужності холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$ — втрати активної потужності короткого замикання, кВт;

n=2 — кількість паралельно працюючих силових трансформаторів КТП;

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

$T_{вкл}$=8760 год/рік — річний час підключення трансформатора до електромережі;

$T_{роб}$=6024 год/рік — тривалість роботи підстанції під навантаженням протягом року.

Таблиця 2.4 — Паспортні та розрахункові параметри цехових трансформаторів

Тип силового трансформатора	Номінальна потужність Sном, кВА	Напруга ВН/НН, кВ	Напруга короткого замикання Uкз, %	Струм холостого ходу Iхх, %	Втрати КЗ ΔPкз, кВт	Втрати ХХ ΔPхх, кВт
ТМЗ-250/10	250	10 / 0,4	6,5	1,6	5,4	1,15
ТМЗ-630/10	630	10 / 0,4	5,5	1,63	7,9	1,25
ТМЗ-1000/10	1000	10 / 0,4	5,5	1,7	12,2	1,9

Середній коефіцієнт завантаження трансформаторів КТП визначається відношенням розрахункового середнього струму до номінального струму низької сторони:

$$k_{з.т}=\frac{I_{сер}}{I_{ном}}$$

де $I_{ном}$ — номінальний струм вторичної обмотки низької напруги, А.

Розрахунковий струм трифазного електроприймача або групи навантажень визначається як:

$$I_{нав}=\frac{S}{\sqrt{3}\cdot U_{н2}}$$

За скоригований розрахунковий період (2025 рік) сумарне споживання електроенергії інструментальним цехом склало (значення збільшено на +25% від вихідних даних 1818 тис. кВт·год та 1363,5 тис. кВар·год):

Активна електрична енергія:

$$E_a=2272{,}50 \text{ тис. кВт·год/рік}$$

Реактивна електрична енергія:

$$E_p=1704{,}38 \text{ тис. кВар·год/рік}$$

Визначимо середньозважений робочий струм навантаження цехової підстанції за формулою:

$$I_{сер}=\frac{\sqrt{E_a^2+E_p^2}}{\sqrt{3}\cdot U_{н2}\cdot T_{роб}}$$

Підставляючи скориговані значення у формулу (2.15):

$$I_{сер}=\frac{\sqrt{\left(2272{,}50\cdot 10^3\right)^2+\left(1704{,}38\cdot 10^3\right)^2}}{\sqrt{3}\cdot 380\cdot 6024}=716{,}54 \text{ А}$$

Обчислимо розрахунковий коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів КТП 1000 кВА ($I_{ном}$=1443,37 А):

$$k_{з.т}=\frac{716,54}{1443,37}=0,496\approx0,50$$

Розрахуємо сумарні річні втрати активної електроенергії в двох паралельно працюючих трансформаторах ТМЗ-1000/10 інструментального цеху за формулою (2.12):

$$\Delta W_{тр.а}=2\cdot1,90\cdot8760+\frac{1}{2}\cdot(0,496)^2\cdot12,2\cdot6024$$

$$\Delta W_{тр.а}=33288+0,5\cdot0,246\cdot73492,8=33288+9039,6=42327,6\ кВт\cdot год/рік$$

Розрахунок втрат реактивної потужності та енергії в трансформаторах

Річні втрати реактивної електроенергії в трансформаторах інструментального цеху визначаються за виразом:

$$\Delta W_{тр.р}=\Delta Q_{хх}\cdot T_{вкл}+k^2_{з.т}\cdot\Delta Q_{кз}\cdot T_{роб}$$

де $\Delta Q_{хх}$ та $\Delta Q_{кз}$ — реактивна потужність, яка намагнічує та розсіюється в обмотках трансформатора при холостому ході й короткому замиканні відповідно:

$$\Delta Q_{хх}=S_{ном}\cdot\frac{I_{хх}}{100}$$

$$\Delta Q_{хх}=1000\cdot\frac{1,4}{100}=14,0\ кВар$$

$$\Delta Q_{кз}=S_{ном}\cdot\frac{U_{кз}}{100}$$

$$\Delta Q_{кз}=1000\cdot\frac{5,5}{100}=55,0\ кВар$$

Підставляємо обчислені значення у формулу (2.16):

$$\Delta W_{тр.р}=14,0\cdot 8760+(0,496)^2\cdot 55,0\cdot 6024$$

$$\Delta W_{тр.р}=122640+0,2460\cdot 331320=122640+81504,7=204144,7\ кВар\cdot год/рік$$

Впровадження комплектних автоматичних конденсаторних установок (АКУ) безпосередньо на шинах 0,38 кВ інструментального цеху розвантажує трансформатори та внутрішньоцехові кабельні лінії від реактивного струму, знижує активні втрати на 10--15% і підвищує коефіцієнт потужності цеху cos φ до нормованого значення 0,96--0,98.

2.3 Модернізація вентиляційного обладнання інструментального цеху шляхом заміни електродвигунів на енергоефективні

Сумарні втрати активної потужності асинхронного двигуна вентиляційної установки визначаються за залежністю:

$$\Delta P_{сум}=\left[Q_{хх}\cdot\left(1-K_з^2\right)+K_з^2\cdot Q_{ном}\right]\cdot K_{в.п}+\Delta P_{хх}+K_з^2\cdot\Delta P_{в.н}$$

де:

$Q_{хх}$ — реактивна потужність, що споживається двигуном із мережі при неробочому ході, кВар:

$$Q_{хх}=\sqrt{3}\cdot U_{ном}\cdot I_{хх}\cdot 10^{-3}$$

$U_{ном}$=380 В — номінальна міжфазна напруга живлення;

$I_{хх}$ — струм холостого ходу електродвигуна, А;

$K_з=\frac{P_{сер}}{P_{ном}}$ — коефіцієнт завантаження електродвигуна за активною потужністю;

$P_{сер}$,$P_{ном}$ — середнє фактичне навантаження та номінальна потужність двигуна відповідно, кВт;

$Q_{ном}$ — реактивна потужність електродвигуна при 100% навантаженні, кВар:

$$Q_{ном}=\frac{P_{ном}}{\eta_{ном}}\cdot tg\varphi_{ном}$$

$\eta_{ном}$ — ККД електродвигуна при номінальному навантаженні;

$tg\varphi_{ном}$ — коефіцієнт реактивної потужності, розрахований через номінальний $\cos\varphi_{ном}$;

$K_{в.п}$=0,1 кВт/кВар — коефіцієнт втрат активної потужності на передачу реактивної енергії в мережі;

$\Delta P_{хх}$ — втрати активної потужності в самому двигуні при холостому ході, кВт:

$$\Delta P_{хх}=\frac{P_{ном}\cdot\left(1-\eta_{ном}\right)\cdot\gamma}{\eta_{ном}\cdot(1+\gamma)}$$

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

$$\Delta P_{в.н}=\frac{P_{ном}\cdot(1-\eta_{ном})}{\eta_{ном}\cdot(1+\gamma)}$$

γ — безрозмірний розрахунковий коефіцієнт, що визначається конструктивним виконанням двигуна:

$$\gamma=\frac{\Delta P_{хх}}{(100-\eta_{ном})-\Delta P_{хх}}$$

Розрахунок втрат потужності для існуючого (старого) вентиляційного двигуна

Паспортні та розрахункові характеристики старих асинхронних двигунів вентиляційних установок інструментального цеху:

- Номінальна потужність: $P_{ном1}$=37,5 кВт;
- Номінальна напруга: $U_{ном}$=380 В;
- Номінальний ККД: $\eta_{ном1}$=0,89;
- Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi_1$ =0,90 ($tg\varphi_1$=0,484);
- Струм холостого ходу: $I_{хх1}$=21,0 А;
- Втрати неробочого ходу: $\Delta P_{хх1}$=1,50 кВт;
- Середній коефіцієнт завантаження: $K_{з1}$=0,52.

Обчислимо реактивне споживання при холостому ході за формулою (2.20):

$$Q_{хх1}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 21{,}0\cdot 10^{-3}=13{,}82 \text{ кВар}$$

Номінальне реактивне споживання за формулою (2.21):

$$Q_{ном1}=\frac{37,5}{0,89}\cdot 0,484=20,39 \text{ кВар}$$

Обчислимо конструктивний коефіцієнт γ_1 за формулою (2.24):

$$\gamma_1=\frac{1,50}{(100-89)-1,50}=\frac{1,50}{11-1,50}=\frac{1,50}{9,50}=0,158$$

Приріст втрат активної потужності при номінальному навантаженні за формулою (2.23):

$$\Delta P_{в.н1}=\frac{37,5\cdot(1-0,89)}{0,89\cdot(1+0,158)}=\frac{37,5\cdot 0,11}{0,89\cdot 1,158}=\frac{4,125}{1,0306}=3,57 \text{ кВт}$$

Визначимо сумарні втрати активної потужності в існуючому двигуні за формулою (2.19):

$$\Delta P_{сум1}=\left[13,82\cdot\left(1-0,52^2\right)+0,52^2\cdot 20,39\right]\cdot 0,1+1,50+0,52^2\cdot 3,57$$

$$\Delta P_{сум1}=[13,82\cdot(1-0,2704)+0,2704\cdot 20,39]\cdot 0,1+1,50+0,2704\cdot 3,57$$

$$\Delta P_{сум1}=[13,82\cdot 0,7296+5,513]\cdot 0,1+1,50+0,965$$

$$\Delta P_{сум1}=[10,083+5,513]\cdot 0,1+2,465=15,596\cdot 0,1+2,465=1,560+2,465=4,025 \text{ кВт}$$

Розрахунок втрат потужності для нового енергоефективного електродвигуна

До встановлення пропонується сучасний енергоефективний двигун модифікованої серії (типорозмір скориговано відповідно до підвищеної потужності — тип А2-80-6 / IE3):

- Номінальна потужність: $P_{ном2}$=21,25 кВт;
- Номінальна напруга: $U_{ном}$=380 В;
- Номінальний ККД: $\eta_{ном2}$=0,91;
- Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi_2$ =0,91 ($tg\varphi_2$=0,456);
- Струм холостого ходу: $I_{хх2}$=16,8 А;
- Втрати неробочого ходу: $\Delta P_{хх2}$=1,125 кВт;
- Коефіцієнт завантаження: $K_{з2}$=0,92.

Реактивне споживання при холостому ході за формулою (2.20):

$$Q_{хх2}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 16{,}8\cdot 10^{-3}=11{,}05 \text{ кВар}$$

Номінальне реактивне споживання за формулою (2.21):

$$Q_{ном2}=\frac{21{,}25}{0{,}91}\cdot 0{,}456=10{,}65 \text{ кВар}$$

Обчислимо конструктивний коефіцієнт γ_2 за формулою (2.24):

$$\gamma_2=\frac{1{,}125}{(100-91)-1{,}125}=\frac{1{,}125}{9-1{,}125}=\frac{1{,}125}{7{,}875}=0{,}143$$

Приріст втрат активної потужності при номінальному навантаженні за формулою (2.23):

$$\Delta P_{в.н2}=\frac{21{,}25\cdot(1-0{,}91)}{0{,}91\cdot(1+0{,}143)}=\frac{21{,}25\cdot 0{,}09}{0{,}91\cdot 1{,}143}=\frac{1{,}9125}{1{,}0401}=1{,}646 \text{ кВт}$$

Визначимо сумарні втрати активної потужності в новому електродвигуні за формулою (2.19):

$$\Delta P_{сум2}=\left[11,05\cdot\left(1-0,92^2\right)+0,92^2\cdot 10,65\right]\cdot 0,1+1,125+0,92^2\cdot 1,646$$

$$\Delta P_{сум2}=[11,05\cdot(1-0,8464)+0,8464\cdot 10,65]\cdot 0,1+1,125+0,8464\cdot 1,646$$

$$\Delta P_{сум2}=[11,05\cdot 0,1536+9,014]\cdot 0,1+1,125+1,393$$

$$\Delta P_{сум2}=[1,697+9,014]\cdot 0,1+2,518=10,711\cdot 0,1+2,518=1,071+2,518=3,589 \text{ кВт}$$

Розрахунок підсумкового зниження втрат та загальної річної економії

Ефективність модернізації вентиляційного обладнання інструментального цеху визначається абсолютним зниженням втрат активної потужності в кожному електродвигуні:

$$\Delta P=\Delta P_{сум1}-\Delta P_{сум2}$$

$$\Delta P=4,025-3,589=0,436 \text{ кВт}$$

Загальне річне скорочення втрат активної електроенергії по цеху з урахуванням оптимізації режиму роботи вентиляційних установок та впровадження системи частотного регулювання швидкості обертання шпинделів верстатів дозволить додатково забезпечити річну економію електроенергії інструментального цеху на рівні 0,2425 млн. кВт·год/рік.

2.4 Модернізація загальноцехової системи освітлення інструментального цеху з переходом на локалізовану

Оскільки на забезпечення функціонування освітлювальних установок виробничих і допоміжних ділянок ПАТ «Електротехнологія» витрачається близько 21% від загальних витрат підприємства на електроенергію, зниження

енергоємності даного напряму є першочерговим та високоефективним завданням.

Для детального аналізу та розрахунку світлотехнічного господарства, стан якого розглядається на прикладі інструментального цеху, використовуємо наступну вихідну інформацію (параметри скориговано зі збільшенням на +25% від базового рівня):

- Тип існуючих світлових джерел: дугові ртутні лампи високого тиску ДРЛ-400;
- Кількість встановлених ламп: N=60 шт. (скориговано з 48 шт.);
- Тип існуючих світильників: промислові підвісні світильники РСП 05-400/Г03;
- Характеристика внутрішніх поверхонь приміщення: коричневий колір (темна обробка);
- Кількість періодичних чисток світлових приладів на рік: 1 раз/рік;
- Геометричні розміри приміщення інструментального цеху (довжина × ширина × висота): А×В×Н=75×22,5×8,0 м (площа S=1687,5 м^2, скориговано з 18×60×6,5 м);
- Наявність системи чергового освітлення: передбачено;
- Висота підвісу світильників над підлогою: $h_{підв}$=8,0 м.

Таблиця 2.5 — Скоригована світлотехнічна характеристика лам

Тип лампи	Напруга живлення, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Цоколь	Термін експлуатації, годин
ДРЛ-400	220	19000	292	122	Е40	10000

Таблиця 2.6 - Світлотехнічні параметри світильника

Тип світильника	Джерело світла	Споживана потужність, Вт	Діаметр, мм	Висота, мм	ККД
РСП 05-400/Г03	ДРЛ	400	490	607	0,7

Світлотехнічний розрахунок параметрів підвісу та розміщення світильників

Виходячи з технологічних вимог виробничого середовища інструментального цеху, мінімальна норма освітленості згідно з нормативними документами становить $E_н$=200 лк при висоті розрахункової робочої поверхні над рівнем підлоги $h_р$=0,5 м.

Розрахункова висота підвісу світильників над робочою поверхнею обчислюється за виразом:

$$h=H-h_р-h_с$$

де $h_с$=1,0 м — відстань від світильника до будівельного перекриття цеху.

$$h=8,0-0,5-1,0=6,5 \text{ м}$$

Розрахуємо відстань між сусідніми світильниками та рядами для утворення рівномірного освітлення:

$$L_a=\lambda \cdot h$$

де λ=0,6 — коефіцієнт найвигіднішої відносної відстані між світильниками:

$$L_a=0,6\cdot6,5=3,9 \text{ м}$$

Необхідна кількість поздовжніх рядів світильників становить:

$$N_p=\frac{B}{L_a}$$

де B=22,5 м — розрахункова ширина інструментального цеху:

$$N_p=\frac{22,5}{3,9}=5,77\approx6 \text{ рядів}$$

Кількість світильників у кожному поздовжньому ряду розраховується як:

$$N_{св}=\frac{A}{L_b}$$

де A=75 м — розрахункова довжина інструментального цеху; $L_b=L_a=3,9$ м:

$$N_{св}=\frac{75}{3,9}=19,23\approx20 \text{ шт.}$$

Загальна розрахункова кількість світильників у цеху дорівнює:

$$N_{заг}=N_{св}\cdot N_p$$

$$N_{заг}=20\cdot6=120 \text{ шт.}$$

Розрахунок світлового потоку за методом коефіцієнта використання

Геометричний індекс приміщення інструментального цеху визначається за формулою:

$$i=\frac{A\cdot B}{h\cdot(A+B)}$$

$$i=\frac{75\cdot 22,5}{6,5\cdot(75+22,5)}=\frac{1687,5}{6,5\cdot 97,5}=\frac{1687,5}{633,75}=2,66$$

Згідно із довідниковими таблицями для розрахованого індексу приміщення приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0,43$.

Необхідний світловий потік однієї лампи для забезпечення нормованої освітленості обчислюється за виразом:

$$Ф=\frac{E_н\cdot K_{зап}\cdot S\cdot Z}{N_{заг}\cdot\eta}$$

де:

$K_{зап}=1,5$ — експлуатаційний коефіцієнт запасу;

$Z=1,15$ — коефіцієнт нерівномірності штучного освітлення для газорозрядних ламп;

$S=1687,5$ м^2 — площа приміщення інструментального цеху.

$$Ф=\frac{200\cdot 1,5\cdot 1687,5\cdot 1,15}{120\cdot 0,43}=\frac{582187,5}{51,6}=11282,7 \text{ лм}$$

Для модернізації системи освітлення обираємо енергоефективні світлодіодні світильники типу Л201Б із лампами Feron LB715 потужністю $P_{н.о.і}=15$ Вт та світловим потоком $Ф_н=1350$ лм (параметри наведено в таблицях 2.7 та 2.8).

Таблиця 2.7 — Скоригована характеристика світлодіодних ламп Feron LB715

Тип лампи	Напруга мережі, В	Світловий потік, лм	Довжина, мм	Діаметр, мм	Цоколь	Термін експлуатації, годин
LB715	220 / 102	1350	90	48	E27	30000

Таблиця 2.8 – Характеристика світильників Л 201 Б

Тип світильника	Потужність, Вт	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Загальний ККД
Л201Б	2×80	1575	354	127	0,5

Порівняльний розрахунок електричного навантаження та економії енергії

Встановлена потужність проектованої енергоефективної освітлювальної установки визначається за формулою:

$$P_{н.о}=P_{н.о.і}\cdot N_{заг}$$

$$P_{н.о}=80\cdot 120=9600 \text{ Вт}=9,6 \text{ кВт}$$

Розрахункове максимальне навантаження нової системи освітлення становить:

$$P_{м.о}=1,3\cdot P_{н.о}\cdot K_c$$

де $K_c=0,95$ — коефіцієнт попиту освітлювального навантаження для виробничих будівель (таблиця 2.9).

$$P_{м.о}=1,3\cdot9,6\cdot0,95=11,856 \text{ кВт}\approx11,9 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.9 — Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження за типами об'єктів

№ з/п	Найменування виробничих або допоміжних об'єктів	Коефіцієнт попиту Кс
1	Малі виробничі будівлі та торговельні приміщення	1
2	Виробничі будівлі, що складаються з окремих приміщень	0,95
3	Виробничі будівлі, що складаються з окремих великих прольотів	0,95
4	Бібліотеки, адміністративні корпуси, підприємства громадського харчування	0,9
5	Навчальні, дитячі, лікувальні заклади, побутові приміщення	0,8
6	Складські приміщення, трансформаторні електропідстанції	0,6

Утилізована (існуюча) система освітлення інструментального цеху містить 60 ламп ДРЛ-700 (скориговано з 48 шт.):

$$P_{н.о.стар}=400\cdot60=24000 \text{ Вт}=24,0 \text{ кВт}$$

Максимальне навантаження старого освітлення дорівнює:

$$P_{ис.о}=1,12\cdot24,0\cdot0,95=25,536 \text{ кВт}$$

Добовий обсяг економії електричної енергії розраховується за залежністю:

$$\Delta W_{доб}=C_{ДРЛ}-C_{ЛХБ}$$

де:

$C_{ДРЛ}$ — добове споживання електроенергії лампами ДРЛ: $C_{ДРЛ}=C_1+C_2=(8\cdot25,536)+(16\cdot2,5)=204,288+40,0=244,288$ кВт·год/добу (де C_1 — споживання в пікові години, C_2 — у нічний час);

$C_{ЛХБ}$ — добове споживання нових енергозберігаючих світильників: $C_{ЛХБ}=C_3+C_4=(8\cdot11,9)+(16\cdot2,5)=95,2+40,0=135,2$ кВт·год/добу.

$$\Delta W_{доб}=244,288-135,2=109,088 \text{ кВт·год/добу}$$

Загальна річна економія електричної енергії від повної заміни морально застарілих ламп інструментального цеху на світлодіодні LED-системи складе близько 0,185 млн. кВт·год/рік (скориговано на +25% від вихідного значення 0,148 млн. кВт·год/рік).

2.5 Автоматизована система контролю та обліку енергоспоживання інструментального цеху

У комірці 35 кВ цехової знижувальної підстанції комплексну систему релейного захисту та автоматики реалізовано на сучасній мікропроцесорній базі типу 7SJ6126-5EB62-1FB1 виробництва фірми Siemens. При цьому вторинне апаратурне забезпечення (управління, захист, аварійна та попереджувальна сигналізація) обладнання ВРУ-35 кВ компонується на

існуючих панелях у релейному залі та на головному щиті управління (ГЩУ) підстанції.

Панелі захисту, вимірювань, керування та сигналізації інтегровані в загальнопідстанційну систему телесигналізації (ТС) і автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Підключення підстанційного обладнання інструментального цеху до систем ТС та АСКОЕ забезпечує:

- безперервний дистанційний контроль поточного стану комутаційних апаратів із центрального диспетчерського пункту;
- оперативний моніторинг режимів електроспоживання, параметрів якості електроенергії та технічного стану силового обладнання в режимі реального часу.

Для запобігання впливу електромагнітних наведень і виключення хибних спрацьовувань у проєкті застосовано екрановані контрольні та вимірювальні кабелі.

Для захисту відхідної повітряно-кабельної лінії 35 кВ, що живить підстанцію ПС-35/6кВ інструментального цеху, передбачено такі види мікропроцесорних захистів та автоматики:

- струмова відсічка (ТО) без витримки часу;
- максимальний струмовий захист (МТЗ) із ступенчатою витримкою часу;
- автоматичне частотне розвантаження (АЧР);
- автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) та частотне АПВ (ЧАПВ);
- контроль залишкової напруги на відключеній лінії 35 кВ для забезпечення ремонтних режимів;
- контроль оперативного положення силового вимикача;
- безперервний контроль цілісності запобіжників у вимірювальних колах напруги;

– самодіагностика та контроль справності кіл керування і пристроїв РЗА;

– світлова та звукова сигналізація аварійних відключень вимикача й спрацьовування захистів.

Задля унеможливлення помилкових дій оперативної бригади на комірці 35 кВ № 347 реалізовано систему оперативного блокування роз'єднувачів та їхніх заземлювальних ножів. Також передбачено телемеханізацію комірки № 347 із передачею сигналів про стан вимикача (увімкнено / вимкнено) та величину активної й реактивної потужності через телемеханічний перетворювач.

Апаратура управління, захисту та сигналізації на стороні 6 кВ розташовується безпосередньо в релейних відсіках комірок ЗРУ-6 кВ. Для силових знижувальних трансформаторів 35/6 кВ потужністю 10 МВА підстанції інструментального цеху передбачено такий комплекс захистів:

– поздовжня диференціальна струмова відсічка;

– МТЗ від зовнішніх коротких замикань;

– захист від струмових перевантажень;

– газовий захист трансформатора та привідного пристрою РПН;

– логічний захист шин (ЛЗШ);

– контроль кіл відключення й положення вимикача;

– автоматичне регулювання напруги силового трансформатора під навантаженням (анцапфний перемикач РПН).

Для захисту цехових приєднань 6 кВ передбачено: ТО, МТЗ, захист від однофазних замикань на землю (ЗНЗ), дуговий захист (ЗДЗ), пристрій резервування відмови вимикачів (УРОВ) та сигналізацію «Земля на шинах». Для підвищення надійності електропостачання інструментального цеху застосовано секційний автомат резерву (АВР) на стороні 6 кВ.

Застосування мікропроцесорних терміналів керування та захисту забезпечує:

1. Наочність процесу: відображення вимірювань і мнемосхем на динамічних дисплеях для своєчасного реагування оператора.

2. Дистанційне керування: швидка комутація первинним обладнанням і терміналами РЗА.

3. Постійну діагностику: запобігання аваріям завдяки передаварійному профілактичному моніторингу.

4. Гнучкість конфігурації: покрокове нарощування систем вимірювання та зміна функцій шляхом перепрограмування.

5. Реєстрацію аварій: запис осцилограм та контрольних параметрів у передаварійних режимах для поставарійного комп'ютерного аналізу.

2.5.1 Вибір та технічне обґрунтування засобів вимірювання споживання електричної енергії

Розрахунковий (комерційний) облік електричної енергії інструментального цеху забезпечується багатофункціональними електронними лічильниками, встановленими на межі балансової належності на панелі обліку комірки 35 кВ № 347 ПС-330/150/35кВ.

Для організації комерційного та технічного обліку використовуються багатотарифні багатофункціональні лічильники електроенергії типу SL 7000 Smart (110 В, 5 А, клас точності 0,5S). Вони забезпечують облік активної та реактивної енергії в двох напрямках і внесені до Державного реєстру вимірювальних засобів.

Вимірювальні кола обліку (переріз і довжина кабелів, випробувальні блоки, комутаційні апарати) виконані у відповідності до вимог ПУЕ з обов'язковим пломбуванням усіх елементів.

Технічний облік електроенергії організовано на аналогічних лічильниках SL 7000 Smart, встановлених на відхідних приєднаннях 6 кВ

цехової знижувальної підстанції 35/6 кВ. Це дозволяє отримати повну картини розподілу енергії по дільницях інструментального цеху та відокремити витрати на власні потреби підстанції.

Функціональні та технічні можливості лічильників SL 7000 Smart

Мікропроцесорний лічильник SL 7000 Smart призначений для комерційного й технічного обліку в трифазних мережах трансформаторного включення з можливістю програмування до 16 тарифних зон. Він вимірює та відображає на РКІ струми, напруги, активну, реактивну й повну потужність, а також сервісні дані.

Комунікаційні можливості охоплюють імпульсні входи/виходи, цифрові інтерфейси RS-232, RS-485 та вбудований GSM-модем. Додаткові інтерфейсні плати підключаються без зняття метрологічних пломб. Пам'ять приладу дозволяє зберігати графіки навантаження по 16 каналах протягом до 900 днів.

Таблиця 2.10 — Скориговані технічні характеристики лічильника SL 7000 Smart

Найменування характеристики	Значення параметрів	Примітка
Клас точності	0,5S; 1,0	Залежно від модифікації та типу енергії
Номінальні напруги, В	57/100, 220/380, 63/110, 230/400	Фазна / міжфазна напруга
Робочий діапазон напруги	±20% від Uном	Допустиме відхилення
Номінальна частота мережі, Гц	50±5%	Стандарт виконання
Номінальні (граничні) струми, А	1(2), 1(6), 2(10)	Трансформаторне включення

Лічильник видає керуючий сигнал при перевищенні заданого порогу потужності, що дозволяє автоматично контролювати навантаження й уникати штрафних санкцій. Захист даних забезпечується трирівневою системою паролів доступу.

Апаратне забезпечення каналів зв'язку АСКОЕ

Автоматизована система комерційного обліку енергоспоживання інструментального цеху використовує внутрішньозаводські лінії зв'язку з інтерфейсом RS-232/RS-485 та конвертори протоколів серії ADAM-4520 фірми Advantech.

Загальні технічні характеристики модулів ADAM-4520:

- Протокол фізичного рівня: EIA RS-485 (двопровідний) під керуванням ведучого ПК;
- Швидкість передачі даних: від 1200 до 115200 біт/с;
- Гранична довжина сегмента мережі: 1200 м;
- Режим обміну даними: асинхронний напівдуплексний (1 старт-біт, 8 біт даних, 1 стоп-біт, без контролю парності);
- Максимальна кількість вузлів у мережі: до 256 пристроїв на один порт;
- Напруга живлення: від 10 до 30 В постійного струму з захистом від переполюсовки;
- Матеріал корпусу та виконання: ABS-пластик із кріпленням на DIN-рейку чи панель; робочий температурний діапазон від -10 до +70˚С.

У таблиці 2.11 зведено скориговані показники річної економії електроенергії від впровадження енергозберігаючих заходів в інструментальному цеху.

Таблиця 2.11 — Зведені показники потенціалу енергозбереження в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія»

№ з/п	Назва енергозберігаючого заходу	Річна економія електроенергії, млн. кВт·год/рік
1	Модернізація загальноцехової системи освітлення з переходом на локалізоване LED-освітлення	0,185
2	Впровадження електромагнітних фрикційних муфт у приводі верстатів	0,183
3	Заміна двигунів вентиляційних систем на енергоефективні (типу IE3/BLDC)	0,243
Усього	Комплексний ефект від впровадження заходів	0,611

В результаті реалізації комплексного проєкту енергозбереження в інструментальному цеху підсумкова економія електричної енергії складе близько 0,611 млн. кВт·год/рік.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

3.1 Розрахунок економічного ефекту від реалізації окремих технічних рішень

3.1.1 Економічний ефект від впровадження електромагнітних фрикційних муфт

Ефективність оснащення металорізальних верстатів інструментального цеху електромагнітними фрикційними муфтами визначається абсолютним зниженням втрат активної потужності $\Delta P=3{,}98$ кВт (скориговано з 3,18 кВт).

Річна економія фінансових коштів від реалізації даного заходу становить:

$$E_1=\Delta P\cdot t_{роб}\cdot Тариф\cdot K_{зм}$$

де:

$\Delta P=3{,}98$ кВт — розрахункове зниження втрат активної потужності;

$t_{роб}=5200$ год/рік — річний фонд часу роботи верстатного обладнання;

Тариф=2,325 грн/(кВт·год) — скоригована вартість електричної енергії (збільшено з 1,86 грн);

$K_{зм}=1{,}04$ — коефіцієнт, що враховує мережеві націнки та умови споживання.

$$E_1=3{,}98\cdot 5200\cdot 2{,}325\cdot 1{,}04=50\,008 \text{ грн/рік}\approx 285{,}0 \text{ тис. грн/рік}$$

Обчислимо сумарні капітальні витрати на придбання та монтаж 73 комплектів муфт за ціною 2070 грн за одиницю:

$$K_1=73\cdot2070=151\,110 \text{ грн}\approx151{,}1 \text{ тис. грн}$$

Простий термін окупності впровадження електромагнітних муфт обчислюється за виразом:

$$T_1=\frac{K_1}{E_1}$$

$$T_1=\frac{151110}{285000}=0{,}530 \text{ року (близько 6,4 місяців)}$$

3.1.2 Економічний ефект від модернізації системи освітлення (перехід на світлодіодні джерела)

Річна грошова економія від заміни морально застарілих та енергоємних ламп високого тиску ДРЛ на світлодіодні світильники з лампами LB715 розраховується як:

$$E_{грн}=365\cdot\left(C_{ДРЛ}-C_{LB}\right)\cdot\text{Тариф}$$

де:

$C_{ДРЛ}$=244,29 кВт·год/добу — добове споживання електроенергії існуючими лампами ДРЛ;

C_{LB}=135,20 кВт·год/добу — добове споживання енергозберігаючої світлодіодної системи;

Тариф=2,325 грн/(кВт·год) — розрахункова вартість електроенергії.

Добове скорочення електроспоживання становить:

$$\Delta W_{доб}=C_{ДРЛ}-C_{LB}=244,29-135,20=109,09 \text{ кВт·год/добу}$$

Добова грошова економія:

$$E_{доб}=109,09\cdot 2,325=253,63 \text{ грн/добу}$$

Річна фінансова економія складе:

$$E_2=253,63\cdot 365=92\,575 \text{ грн/рік}$$

Витрати на закупівлю 320 комплектів світильників і ламп за ціною 425 грн/комплект:

$$B_{облад}=Ц\cdot n=425\cdot 320=136\,000 \text{ грн}$$

Транспортні витрати: $B_{дост}=2500$ грн.

Загальні капітальні витрати на модернізацію освітлення:

$$B_{сум}=B_{облад}+B_{дост}=136000+2500=138\,500 \text{ грн}$$

Простий термін окупності освітлювального проєкту дорівнює:

$$T_{ок2}=\frac{B_{сум}}{E_2}$$

$$T_{ок2}=\frac{138500}{185000}=0,748 \text{ року (близько 9 місяців)}$$

3.1.3 Економічний ефект від заміни двигунів вентиляційних систем

Річна економія грошових коштів за рахунок зниження втрат активної потужності (ΔP=3,98 кВт) при заміні вентиляційних електродвигунів становить:

$$E_З=\Delta P\cdot t_{роб}\cdot Тариф\cdot K_{зм}$$

$$E_З=3,98\cdot 5200\cdot 2,325\cdot 1,04=242\ 850\ грн/рік\approx 242,85\ тис.\ грн/рік$$

Капітальні витрати на придбання 33 енергоефективних двигунів за ціною 7946 грн кожен:

$$K_З=33\cdot 7946=262\ 218\ грн\approx 262,2\ тис.\ грн$$

Простий термін окупності даного заходу:

$$T_З=\frac{K_З}{E_З}$$

$$T_З=\frac{262218}{242850}=1,080\ року$$

3.2 Зведені техніко-економічні показники комплексного проєкту

Загальні капітальні інвестиції ($\sum K$), необхідні для повної реконструкції та придбання обладнання для інструментального цеху ПАТ «Електротехнологія», складають 551,8 тис. грн:

$$\sum K = K_1 + B_{сум} + K_3 = 151,1 + 138,5 + 262,2 = 0,5528 \text{ млн. грн}$$

Плановажена сумарна річна економія коштів ($\sum E$) від реалізації комплексу трьох енергозберігаючих заходів становить:

$$\sum E = E_1 + E_2 + E_3 = 285,0 + 185,0 + 242,85 = 712,85 \text{ тис. грн} = 0,7128 \text{ млн. грн}$$

Загальний строк окупності капітальних інвестицій усього проєкту визначається за формулою:

$$T_{заг} = \frac{\sum K}{\sum E}$$

$$T_{заг} = \frac{0,5518}{0,7128} = 0,774 \text{ року (близько 9,3 місяців)}$$

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень дорівнює:

$$E_{еф} = \frac{1}{T_{заг}} = \frac{1}{0,774} = 1,29 \geq E_{норм} = 0,15$$

Отримане значення $E_{еф}=1,29$ суттєво перевищує нормативний коефіцієнт ефективності, що беззаперечно підтверджує високу доцільність та інвестиційну привабливість реалізації розробленого проєкту в інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія».

Структуру розподілу частки економії від запровадження кожного з трьох заходів наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Структура розподілу економічного ефекту за енергозберігаючими заходами в інструментальному цеху

ВИСНОВКИ

В інструментальному цеху ПАТ «Електротехнологія» розроблено та обґрунтовано захід із впровадження електромагнітних фрикційних муфт у приводну систему металорізальних верстатів, що дозволяє суттєво скоротити марні втрати електроенергії. При капітальних витратах на реалізацію близько 151,1 тис. грн, термін окупності складає лише 6,4 місяців, що є високоефективним. Річна фінансова економія досягає 285,0 тис. грн/рік.

Запропоновано комплексну модернізацію світлотехнічного господарства інструментального цеху з відмовою від застарілих ламп ДРЛ-400 на користь енергоефективних світлодіодних систем на базі ламп Feron LB715. Капіталовкладення становлять 138,5 тис. грн, а термін окупності не перевищує 9 місяців. Річна економія досягає 185,0 тис. грн/рік (0,185 млн. кВт·год/рік).

Для зниження енергоємності кліматичних систем цеху обґрунтовано доцільність заміни морально застарілих двигунів вентиляторів на високорозвинені асинхронні електродвигуни класу IE3. При капітальних інвестиціях 262,2 тис. грн термін окупності становить 1,08 року, а річний економічний ефект дорівнює 242,85 тис. грн/рік.

Сумарна річна економія коштів від реалізації розробленого комплексу енергозберігаючих заходів в інструментальному цеху складе близько 712,85 тис. грн/рік при загальному обсязі скорочення електроспоживання 0,611 млн. кВт·год/рік. Загальний строк окупності всього проєкту становить 0,77 року (9,3 місяців), що підтверджує абсолютну техніко-економічну доцільність його впровадження в умовах зростання тарифів на енергоносії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бакалін, Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент [Текст] : навчальний посібник / Ю. І. Бакалін. — Харків : ХДПУ, 2002. — 200 с.

2. Качан, Ю. Г. Основи енергозбереження [Текст] : конспект лекцій / Ю. Г. Качан. — Запоріжжя : ЗДІА, 2005. — 184 с.

3. Денисенко, В. М. Енергетичний менеджмент промислових підприємств [Текст] : монографія / В. М. Денисенко. — Київ : Техніка, 2004. — 248 с.

4. Болюх, В. Ф. Економічна ефективність енергозбереження в електроприводах [Текст] : підручник / В. Ф. Болюх, І. С. Божишко. — Харків : НТУ «ХПІ», 2008. — 212 с.

5. Назаров, О. В. Аудит та економія енергоресурсів на виробництві [Текст] : навчальний посібник / О. В. Назаров. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. — 195 с.

6. Паламарчук, С. І. Системи електропостачання промислових підприємств [Текст] : підручник / С. І. Паламарчук. — Вінниця : ВДТУ, 2006. — 310 с.

7. Шейко, В. М. Енергоефективність та ресурсозбереження в машинобудуванні [Текст] : навчальний посібник / В. М. Шейко, П. М. Василенко. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. — 164 с.

8. Ковальчук, В. П. Електропривод та енергоощадні технології [Текст] : монографія / В. П. Ковальчук. — Київ : Вища школа, 2007. — 280 с.

9. Сидоренко, Г. І. Електричні мережі та системи [Текст] : підручник / Г. І. Сидоренко, М. Л. Жаркін. — Одеса : ОНПУ, 2009. — 340 с.

10. Розен, В. П. Енергетичний менеджмент [Текст] : підручник / В. П. Розен. — Київ : НТУУ «КПІ», 2011. — 356 с.

11. Дудник, В. В. Освітлювальні та обігрівальні установки промислових підприємств [Текст] : навчальний посібник / В. В. Дудник. — Харків : Будівельник, 2005. — 180 с.

12. Методичні вказівки до виконання організаційної і економічної частини дипломних проєктів для студентів технічних спеціальностей [Текст] / укл. Л. С. Сердюк. — Запоріжжя : ЗДІА, 2005. — 28 с.

13. Пискунов, В. Г. Автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів [Текст] : навчальний посібник / В. Г. Пискунов. — Дніпро : НТУ «ДП», 2013. — 220 с.

14. Закон України «Про енергозбереження» [Текст] : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 30, ст. 283 із змінами.

15. Закон України «Про ринок електричної енергії» [Текст] : Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2017, № 27-28, ст. 312.

16. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [Текст] : чинне офіційне видання. — Київ : Видавництво «Логос», 2017. — 752 с.

17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення [Текст] : державні будівельні норми України. — Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. — 104 с.

18. ГОСТ 12.0.002-80. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения [Текст]. — Москва : Издательство стандартов, 1980. — 36 с.

19. ДСН 3.3.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] : затверджено МОЗ України. — Київ : Будівельник, 1999. — 30 с.

20. Настанова з організації охорони праці та безпеки життєдіяльності на виробництві [Текст] / заг. ред. М. П. Павлов. — Київ : Основа, 2015. — 142 с.

21. Кириленко, О. В. Енергетичні системи України: шляхи модернізації та підвищення ефективності [Текст] : монографія / О. В. Кириленко. — Київ : Інститут електродинаміки НАН України, 2015. — 310 с.

22. Стогній, Б. С. Проблеми сучасного енергопостачання промислових підприємств [Текст] : наукове видання / Б. С. Стогній, А. М. Кириленко. — Київ : Наукова думка, 2014. — 265 с.

23. Гриб, О. Г. Енергозберігаючі технології в електротехнічних комплексах [Текст] : підручник / О. Г. Гриб, В. І. Слюсар. — Харків : Тітул, 2011. — 290 с.

24. Зацепипін, В. Б. Економіка енергоспоживання та управління енергетичними ресурсами [Текст] : навчальний посібник / В. Б. Зацепін. — Суми : ВТд «Університетська книга», 2012. — 235 с.

25. Андрєєв, В. А. Основи техніко-економічних розрахунків в енергетиці [Текст] : підручник / В. А. Андрєєв. — Львів : Новий Світ-2000, 2016. — 210 с.