`

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: «**Підвищення енергоефективності механічного заводу»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1411
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)

Малий К.Р..
(ініціали та прізвище)

Керівник ст. викладач Прихно В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Коломієць Д.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)

Спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
д.т.н., доц. В.Л. Коваленко
«____»_____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Малому Кирилу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Підвищення енергоефективності механічного заводу

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Прихно Валерія Леонідівна , ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від "27" грудня 2025 року № 2029

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи бакалавра 08.06.2025 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра Загальна характеристика стану енерго збереження підприємства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, 1Теоретичні основи енергоефективності промислових підприємств, 2 Аналіз поточного стану енергоспоживання на механічному заводі, 3 Заходи з підвищення енергоефективності, 4 Розрахункова робота, Висновок, Список використаних джерел посилань, Додатки

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Лист 1 Енергоспоживання цеху АТ «Мотор Січ», Вплив впровадження енергоменеджменту на енергоефетивність виробництва АТ «Мотор Січ», Лист 2 Дослідження та модернізація блоків енергоживлення на АТ «Мотор Січ», Схема вводу/виводу на підприємстві АТ «Мотор Січ»,

Лист 3 Мікроконтролер та друкована плата АТ «Мотор Січ», Лист 5 Структурна схема стабілізаторів напруги для АТ «Мотор Січ»

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дат завдання прийняв
1	**Прихно В.Л., старший викладач**	
2	**Прихно В.Л., старший викладач**	
3	**Прихно В.Л., старший викладач**	
4	**Прихно В.Л., старший викладач**	

7. Дата видачі завдання 27.12.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів каліфікаційної роботи бакалавра	Прим
1	**Формування мети роботи**	**12.05-13.05**	вик
2	**Збір та аналіз науково-технічної літератури з енергоефективності та механічних заводів**	**14.05-22.05**	вик
3	**Енергоаудит на прикладі АТ «Мотор Січ»**	**23.05-30.05**	вик
4	**Вивчення техніко-економічних показників АТ Мотор Січ"**	**31.05-05.06**	вик
5	**Оформлення теоретичної частини дипломної роботи**	**06.06-13.06**	вик
6	**Підготовка до захисту**	**13.06-15.06**	вик

Здобувач вищої освіти _____ К.Р.Малий
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра _____ Прихно В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль здійснив _____ Башлій С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

`

РЕФЕРАТ

Малий К.Р. Підвищення енергоефективності механічного заводу. Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник В.Л. Прихно. Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2025.

Кваліфікаційна робота містить 105 сторінок; 11 рисунків; 7 таблиць; 38 джерел посилань.

Дипломна робота присвячена комплексному аналізу поточного стану енергоспоживання механічного заводу та розробці техніко-організаційних рішень щодо його оптимізації на прикладі підприємства АТ «МОТОР СІЧ». У дослідженні розглянуто питання ідентифікації основних втрат енергії на виробничих ділянках, структурного аналізу джерел споживання, а також ефективності впровадження заходів з енергозбереження. У роботі представлено теоретичне обґрунтування необхідності впровадження енергоменеджменту відповідно до міжнародного стандарту ISO 50001, що дозволяє інтегрувати систему управління енергоспоживанням у всі рівні виробничих і управлінських процесів. Особливу увагу приділено модернізації основного електромеханічного обладнання, зокрема систем приводу, компресорних установок і освітлювальних систем.

Практична цінність роботи полягає в можливості безпосереднього впровадження розроблених рішень на виробництві АТ «МОТОР СІЧ», що відкриває перспективи для подальшої цифровізації систем енергоконтролю, впровадження відновлюваних джерел енергії та досягнення енергетичної автономності підприємства.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,ЕЛЕКТРОДВИГУН,ІНДИКАТОР,ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ,РЕАЛІЗАЦІЯ,КОМПРЕСОР,КОЛИВАННЯ,АВТОМАТИЗАЦІЯ,ІНТЕГРАЦІЯ

`

ЗМІСТ

ВСТУП…….. 6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ…….. 10
1.1 Поняття енергоефективності та її значення для промисловості…….. 10
1.2 Основні напрямки підвищення енергоефективності……..... 22
1.3 Законодавча та нормативна база України в сфері енергоефективності……. 31
2 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА МЕХАНІЧНОМУ ЗАВОДІ……. 40
2.1 Характеристика підприємства…… 40
2.2 Структура енергоспоживання та джерела енергії…… 48
2.3 Ідентифікація основних втрат енергії……55
2.4 Оцінка рівня енергоефективності……... 63
3 ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ…… 71
3.1 Технічні рішення щодо зниження втрат енергії…… 71
3.2 Модернізація обладнання…… 84
3.3 Впровадження енергоменеджменту…… 92
3.4 Економічна ефективність запропонованих заходів……... 103
4 РОЗРАХУНКОВА ТА ГРАФІЧНА ЧАСТИНА……...……. 107
4.1 Розрахунок енергоспоживання основних виробничих ділянок……... 107
4.2 Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів……. 110
4.3 Схеми енергопостачання підприємства…….. 116
4.4 Розрахунок показників енергоефективності……...121
ВИСНОВОК…….. 127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……. 131
ДОДАТКИ…… 142

`

ВСТУП

Енергоефективність відіграє ключову роль у сучасній промисловості, особливо в умовах зростаючих цін на енергоресурси та посилення вимог до екологічної відповідальності підприємств. Механічні заводи, як великі споживачі енергії, мають значний потенціал для підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів шляхом модернізації технологічних процесів, оптимізації систем енергопостачання та впровадження енергозберігаючих технологій.

У сучасному світі питання ефективного використання енергетичних ресурсів набуває першочергового значення для всіх сфер промисловості. Особливо це стосується механічних заводів, де технологічні процеси супроводжуються значними витратами енергії, а собівартість продукції істотно залежить від енергетичних витрат. Постійне зростання цін на електроенергію, газ та інші енергоносії змушує підприємства шукати шляхи оптимізації споживання енергії, зменшення втрат і підвищення загальної енергоефективності виробництва. Крім того, на тлі глобальних викликів, пов’язаних із зміною клімату, дотримання принципів сталого розвитку стає не лише моральною вимогою, а й фактором економічної доцільності та конкурентоспроможності. Підвищення енергоефективності механічного заводу є важливою складовою загальної стратегії підвищення ефективності виробництва, оскільки дозволяє скоротити витрати на виробничу діяльність, оптимізувати технологічні процеси, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок зниження викидів вуглецю. Реалізація комплексних енергозберігаючих заходів відкриває можливості для модернізації виробничої інфраструктури, впровадження інноваційних технологій та розширення ринкових можливостей підприємства.

Дослідження у цій роботі зосереджено на аналізі існуючого стану енергоспоживання на механічному заводі, виявленні основних напрямків неефективного використання енергоресурсів та розробленні практичних

рекомендацій щодо зменшення енергетичних витрат. Особлива увага приділяється технічним аспектам удосконалення виробничого обладнання, удосконаленню систем обліку і контролю енергоспоживання, а також організаційним заходам, що передбачають активне залучення персоналу до процесів енергоменеджменту.

Результати роботи мають не лише теоретичну, а й вагому практичну значущість, оскільки запропоновані заходи можуть бути впроваджені в реальній діяльності підприємства з метою зниження енергетичних витрат, зменшення негативного впливу на довкілля та забезпечення сталого розвитку виробничого процесу. Таким чином, дослідження сприятиме формуванню енергетичної стратегії механічного заводу, яка відповідатиме сучасним вимогам ефективності, економічності та екологічної безпеки.

В умовах сучасної трансформації енергетичного ринку та зростаючої вартості енергоносіїв, промисловість України, як і всього світу, опинилася перед викликом необхідності критичного переосмислення підходів до використання енергії. Зокрема, машинобудівні підприємства, які традиційно характеризуються високим енергоспоживанням, вимагають впровадження не лише точкових змін, а цілісної стратегії енергомодернізації. У такому контексті важливо розглядати енергоефективність не як факультативний напрям, а як ключовий елемент конкурентоспроможності, що прямо впливає на кінцеву собівартість продукції, сталість постачань та адаптивність до європейських стандартів. На прикладі АТ «МОТОР СІЧ» стає очевидним, що навіть за умов потужної виробничої бази та науково-технічного потенціалу, без комплексного впровадження механізмів енергетичного моніторингу та обґрунтованих технічних рішень підприємство не може забезпечити довготривалий баланс між продуктивністю та витратами. Сьогодні основною тенденцією в галузі є поєднання класичних заходів з енергозбереження з інноваційними підходами, такими як впровадження промислової автоматизації, цифрового енергоменеджменту та переходу до відновлюваних джерел енергії, які потребують ґрунтовного науково-технічного обґрунтування та розрахунків.

Дипломна робота, присвячена темі підвищення енергоефективності на прикладі механічного заводу, має за мету не лише формальне дослідження, а й формування реального проектного підходу, здатного бути інтегрованим у виробничий цикл. Цей процес вимагає врахування динаміки змін нормативної бази, адаптації до вимог міжнародних стандартів ISO 50001, а також комплексного аналізу впливу енергетичних рішень на весь ланцюг створення доданої вартості.

Актуальність дослідження. У сучасних умовах розвитку економіки питання підвищення енергоефективності підприємств набуває особливого значення. Зростання вартості енергоресурсів, підвищення вимог до екологічної безпеки виробництва та необхідність оптимізації виробничих витрат змушують промислові підприємства шукати нові шляхи зменшення енергоспоживання. Механічні заводи, які споживають значні обсяги електроенергії та теплової енергії, мають значний потенціал для оптимізації своїх енергетичних витрат. Впровадження енергозберігаючих технологій і систем енергоменеджменту дозволяє не лише знизити витрати на виробництво, а й сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства та його стійкості до змін ринкових умов.

Тема дослідження. Підвищення енергоефективності механічного заводу.

Мета дослідження. Розроблення та обґрунтування комплексу технічних і організаційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності механічного заводу шляхом аналізу існуючих енергетичних процесів і впровадження енергозберігаючих рішень.

Об'єкт дослідження. Процеси енергоспоживання на механічному заводі.

Предмет дослідження. Технічні та організаційні заходи щодо підвищення енергоефективності технологічних процесів і систем енергопостачання механічного заводу.

Практичне значення дослідження. Розроблені в межах дослідження заходи можуть бути використані для реального впровадження на механічному заводі, що дозволить знизити енергоспоживання, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити екологічну безпеку виробництва та підвищити загальну

ефективність виробничої діяльності підприємства. Отримані результати можуть бути застосовані також для розроблення програм енергоменеджменту на інших подібних підприємствах.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Поняття енергоефективності та її значення для промисловості

Енергоефективність промислових підприємств є однією з ключових складових загальної ефективності виробничої діяльності та сталого розвитку економіки. У широкому розумінні енергоефективність означає раціональне використання енергетичних ресурсів із мінімальними втратами на всіх етапах виробничого процесу при збереженні або підвищенні обсягів випуску продукції та якості виконання технологічних операцій. Теоретичні засади енергоефективності ґрунтуються на принципах термодинаміки, енергозбереження та оптимізації технологічних процесів. Одним із базових положень є закон збереження енергії, згідно з яким енергія в замкненій системі не може зникнути, а лише перетворюється з одного виду в інший. В умовах промислового виробництва це означає, що кожен технологічний процес повинен бути організований таким чином, щоб мінімізувати небажані втрати енергії у вигляді тепла, механічного тертя, електричних втрат тощо [1].

Енергоефективність оцінюється за допомогою різноманітних показників, серед яких найбільш поширеними є питомі витрати енергії на одиницю продукції, коефіцієнт корисної дії технологічних установок та загальний рівень енергетичної інтенсивності виробництва. Важливим є також впровадження систем обліку й моніторингу енергоспоживання, що дозволяє оперативно виявляти джерела неефективного використання енергії та своєчасно вживати коригувальні заходи.

У теорії енергоефективності значна увага приділяється класифікації заходів енергозбереження. Вони можуть бути як технічними — модернізація обладнання, впровадження високоефективних технологічних процесів, оптимізація систем теплопостачання та вентиляції, — так і організаційними, які включають розробку програм енергоменеджменту, підвищення кваліфікації персоналу та створення систем мотивації до енергозбереження.

Дослідження теоретичних основ енергоефективності передбачає також розгляд економічних аспектів: оцінку витрат на впровадження енергозберігаючих заходів, аналіз терміну їх окупності, визначення економічного ефекту від зменшення споживання енергії. Крім того, важливу роль відіграють екологічні аспекти, оскільки підвищення енергоефективності сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу та зниженню впливу промислового виробництва на довкілля.

Теоретичні основи енергоефективності охоплюють широкий спектр питань — від фізичних принципів енергетичних процесів до економічного та екологічного обґрунтування енергозберігаючих заходів. Їхнє всебічне вивчення є необхідною передумовою для успішної розробки і впровадження практичних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності промислових підприємств. У межах сучасної економіки енергоефективність промислових підприємств розглядається не тільки як технічне або економічне завдання, а як стратегічний напрямок розвитку, що визначає конкурентоспроможність виробництва на національному та міжнародному рівнях. В умовах зростання світового попиту на енергоносії, обмеженості природних ресурсів та посилення екологічних стандартів підприємства вимушені переорієнтовувати свої виробничі стратегії в бік енергоощадності та сталого розвитку. Енергоефективність стала об'єктом глобальної політики, де промисловість має зайняти провідну роль у досягненні цілей зі зменшення вуглецевого сліду та впровадження зелених технологій [2].

Наукове підґрунтя енергоефективності пов'язане з такими поняттями, як енергетичний баланс підприємства, енергетичний аудит та енергетичне моделювання. Енергетичний баланс дозволяє визначити співвідношення між обсягами енергії, що надходить на підприємство, і обсягами, що фактично використовуються у виробничих процесах, включаючи втрати. Енергетичне моделювання, у свою чергу, дає можливість прогнозувати зміну рівня енергоспоживання залежно від різних варіантів модернізації технологій, режимів експлуатації обладнання або впровадження нових систем автоматизації.

Особливу роль у підвищенні енергоефективності відіграє системний підхід, за якого аналізуються не лише окремі технологічні процеси, а й взаємодія всіх енергоспоживаючих елементів виробничого комплексу. До уваги беруться не тільки прямі витрати електричної чи теплової енергії, а й вторинні енергоресурси, такі як відпрацьоване тепло, викиди газів, рекуперація енергії в системах вентиляції та охолодження. Раціональне використання цих вторинних ресурсів відкриває додаткові можливості для оптимізації енергоспоживання без істотних капіталовкладень [3].

На теоретичному рівні також активно досліджуються питання оптимізації режимів роботи технологічного обладнання. Зокрема, одним із важливих напрямків є перехід від постійного споживання енергії до гнучких адаптивних режимів, що дозволяють автоматично регулювати навантаження залежно від реальних виробничих потреб. Використання енергоефективних електродвигунів з частотними перетворювачами, впровадження систем інтелектуального управління енергоресурсами і оптимізація алгоритмів роботи основного та допоміжного обладнання значно змінюють сучасні підходи до енергоспоживання [4].

Іншою важливою складовою теоретичних основ енергоефективності є оцінка потенціалу енергозбереження, яка враховує не лише технічні обмеження, а й соціально-економічні фактори, зокрема готовність персоналу підприємства до впровадження нововведень, рівень управлінської культури, наявність мотиваційних механізмів. Адже навіть найсучасніші технічні рішення можуть виявитися малоефективними без належної організації процесу енергозбереження всередині колективу. Значний вплив на розвиток теоретичних засад енергоефективності справила міжнародна практика, зокрема стандарти ISO 50001, що визначають вимоги до систем енергетичного менеджменту. Вони акцентують увагу на необхідності створення єдиної інтегрованої системи планування, моніторингу, аналізу та безперервного вдосконалення показників енергоспоживання, яка має стати невід’ємною частиною загальної стратегії розвитку підприємства. Теоретичні основи енергоефективності формують комплексне бачення проблеми через поєднання фізичних принципів, технічних

рішень, економічних моделей та управлінських стратегій. Глибоке розуміння цих основ дозволяє не лише правильно ідентифікувати наявні проблеми на конкретному підприємстві, а й ефективно розробляти та впроваджувати комплекс заходів, що забезпечують стале та енергоощадне виробництво [5].

Теоретичні основи енергоефективності промислових підприємств охоплюють не лише питання оптимізації витрат енергії, але й формування цілісної енергетичної політики підприємства, що інтегрується у загальну стратегію розвитку виробництва. В сучасних умовах енергоефективність розглядається як ключовий показник технологічної зрілості виробництва, що поєднує технічний стан обладнання, культуру управління ресурсами та здатність підприємства адаптуватися до змін зовнішнього середовища. Енергетичні втрати не просто знижують продуктивність — вони створюють ланцюгову реакцію, впливаючи на якість продукції, стабільність виробничих процесів та екологічну відповідальність підприємства. Теоретичне підґрунтя енергоефективності також тісно пов’язане з концепціями енергоаудиту, енергетичного балансу та коефіцієнтів корисного використання енергії, які дають змогу математично оцінити потенціал для вдосконалення. Ідея полягає не лише в зниженні обсягу споживаної енергії, а у досягненні максимального ефекту від кожної спожитої одиниці енергії, що вимагає впровадження інноваційних підходів до проектування технологічних процесів. Особливо важливо підкреслити роль автоматизованих систем управління, які здатні в режимі реального часу коригувати параметри обладнання, запобігаючи енергетичним перенавантаженням та зниженню ККД [6].

Теорія енергоефективності має глибокий міждисциплінарний характер, оскільки в ній перетинаються технічні науки, економіка, менеджмент, екологія та навіть психологія трудового колективу, що впливає на поведінкові моделі енергоспоживання. Формування енергосвідомості працівників є такою ж важливою умовою підвищення енергоефективності, як і модернізація технологічного обладнання. Усе це формує основу для стійкої, раціональної і відповідальної моделі функціонування промислового підприємства у XXI столітті.

Поглиблюючи теоретичне осмислення енергоефективності промислових підприємств, важливо акцентувати увагу на тому, що сучасні концепції ефективного використання енергії охоплюють не лише поточні технологічні параметри виробництва, але й динаміку розвитку енергетичної інфраструктури в контексті промислового циклу. Одним із ключових аспектів стає часова адаптивність — здатність системи гнучко реагувати на зміну внутрішніх і зовнішніх умов, таких як пікові навантаження, зміни вартості енергоносіїв, перебої в енергопостачанні або впровадження нових стандартів. Така адаптивність не може бути досягнута без інтеграції методів прогнозної аналітики та інтелектуальних систем управління.

Ще одним фундаментальним напрямом у теорії енергоефективності є впровадження концепції життєвого циклу енергоспоживання, яка дозволяє враховувати всі етапи — від проектування та закупівлі обладнання до його демонтажу або модернізації. Це означає, що ефективність повинна закладатися ще на етапі інженерного планування, а не лише розраховуватись на основі наявного споживання. При цьому важливу роль відіграє концепція «енергетичного сліду» підприємства, що дозволяє оцінити повний обсяг впливу на навколишнє середовище з урахуванням прямих і непрямих втрат. З позицій теорії, досягнення високої енергоефективності — це не лінійний, а ітераційний процес, який передбачає постійне вдосконалення технологічних, управлінських і операційних рішень. Практика показує, що навіть найсучасніше обладнання не зможе досягти очікуваної ефективності без правильної експлуатації, регулярного технічного обслуговування і підготовки персоналу. Саме тут теоретичні підходи до моделювання енергетичних потоків на основі методів енергетичного аналізу (наприклад, ексергетичного) дають змогу виявляти слабкі ланки у виробничій системі з максимальною точністю. Теорія також враховує роль регуляторного середовища, бо без стимулювання на законодавчому рівні підприємства часто відкладають необхідні інвестиції в енергоефективність [7].

Глибоке розуміння теоретичних основ енергоефективності дозволяє сформувати науково обґрунтовану модель дій підприємства, яка здатна

забезпечити не лише зниження витрат, але й конкурентні переваги на ринку, підвищити надійність виробництва та екологічну відповідальність бізнесу.

Поняття енергоефективності та її значення для промисловості

Енергоефективність є багатогранним поняттям, яке охоплює здатність систем, процесів і підприємств використовувати енергетичні ресурси максимально раціонально, з мінімальними втратами та найбільшою віддачею. У загальному розумінні енергоефективність означає досягнення бажаного результату — виробництва продукції або надання послуг — з найменшими витратами енергії. При цьому важливо не лише зменшити абсолютне споживання енергії, але й підвищити ефективність її використання в кожному окремому технологічному процесі або системі. З точки зору промислового виробництва, енергоефективність має критичне значення, оскільки енергетичні витрати становлять значну частину собівартості продукції. Оптимізація енергоспоживання дозволяє підприємствам не тільки знижувати витрати, але й забезпечувати стабільність виробничих процесів, поліпшувати якість продукції та збільшувати ресурс обладнання. В умовах глобальної конкуренції та зростаючих вимог до сталого розвитку здатність підприємства ефективно управляти своїми енергоресурсами стає однією з основних передумов його економічної життєздатності [8].

Важливість енергоефективності для промисловості також обумовлюється екологічними факторами. Зниження енергоспоживання безпосередньо веде до скорочення обсягів викидів парникових газів і забруднювальних речовин, що є важливою складовою сучасних екологічних стратегій. Виконання міжнародних екологічних стандартів та участь у програмах зі зменшення вуглецевого сліду стає необхідністю для збереження ринкових позицій та виходу на нові ринки, де фактор "зеленої" економіки набуває все більшої ваги. Розвиток енергоефективних технологій у промисловості стимулює інновації. Впровадження сучасних матеріалів, високотехнологічного обладнання, автоматизованих систем управління виробничими процесами значно покращує загальну технологічну культуру підприємства, підвищує його гнучкість та здатність швидко адаптуватися до змін умов ринку. На стратегічному рівні

енергоефективність сприяє підвищенню енергетичної незалежності держави, зменшує залежність від імпорту енергоносіїв, а також створює нові робочі місця у сфері енергетичного консалтингу, енергоаудиту, розробки та впровадження енергозберігаючих технологій. Для промислових підприємств це відкриває можливості участі у державних програмах підтримки енергомодернізації та залучення інвестицій, орієнтованих на сталий розвиток [9].

Поняття енергоефективності в промисловості виходить далеко за межі суто економічних чи технічних аспектів, формуючи нову парадигму організації виробництва, де основними орієнтирами є раціональне використання ресурсів, екологічна відповідальність і інноваційний розвиток.

Енергоефективність у промисловості охоплює не лише технічний аспект зниження споживання енергії, а й глибоко пов'язана з організаційними та управлінськими процесами всередині підприємства. Сучасне розуміння енергоефективності включає необхідність інтеграції принципів ощадливого виробництва на всіх рівнях — від стратегічного планування до оперативного управління технологічними лініями. Промислове підприємство розглядається як єдина енергосистема, де оптимізація споживання ресурсів має стати постійним і систематичним процесом, а не разовим заходом у відповідь на підвищення тарифів чи інші зовнішні виклики. Особливу увагу в теорії та практиці енергоефективності приділяють розумінню структури енергетичних потоків на підприємстві. Це включає детальний аналіз постачання, споживання, перетворення та втрат енергії на всіх стадіях виробничого циклу. Лише через глибоке знання реальних енергетичних процесів можна виявити так звані "приховані резерви енергозбереження" — можливості для підвищення енергоефективності без значних інвестицій, наприклад за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання чи змін у технологічних процесах.

Важливим аспектом сучасної енергоефективності є перехід від реактивних до проактивних підходів. Традиційно підприємства реагували на підвищення цін або виникнення дефіциту енергії шляхом часткових заходів економії. Однак сучасна концепція енергоефективності передбачає формування довгострокової енергетичної стратегії підприємства, яка включає планування інвестицій у

енергозберігаючі технології, розвиток компетенцій персоналу та впровадження систем енергетичного менеджменту, що відповідають міжнародним стандартам. Енергоефективність безпосередньо пов'язана також із цифровізацією промисловості. Використання систем моніторингу на основі IoT (Internet of Things), впровадження аналітики великих даних для аналізу споживання енергії в реальному часі, автоматизація управління обладнанням за допомогою алгоритмів машинного навчання — усе це відкриває нові можливості для радикального зниження витрат енергії. Завдяки сучасним цифровим технологіям підприємства можуть не лише оперативно виявляти неефективності, а й прогнозувати енергоспоживання залежно від виробничого навантаження, погодних умов чи ринкової кон’юнктури [10].

Крім технічного й управлінського аспекту, у поняття енергоефективності закладено ще й соціальний вимір. Від культури енергоспоживання працівників залежить значна частина успіху програм енергозбереження. Формування енергетично свідомого колективу через навчальні програми, внутрішні ініціативи та мотиваційні заходи дозволяє досягти результатів, які неможливо забезпечити лише технічними заходами. Успішні практики свідчать, що підприємства, де працівники розуміють важливість енергозбереження і залучені до цього процесу, досягають до 10-15% додаткової економії енергії навіть без великих капіталовкладень [11].

У контексті розвитку світової економіки енергоефективність стає фактором формування іміджу компанії. Промислові підприємства, які демонструють реальні досягнення у сфері енергозбереження та екологічної відповідальності, мають вищі шанси залучити інвесторів, виграти міжнародні тендери та стати постачальниками для провідних світових брендів, які дедалі більше орієнтуються на принципи сталого розвитку.

Енергоефективність у промисловості є складним багатокомпонентним явищем, яке охоплює технічні, економічні, управлінські, цифрові та соціальні аспекти. Її забезпечення вимагає не тільки модернізації обладнання, але й трансформації всієї системи виробничого мислення на підприємстві. Енергоефективність у промисловості — це не лише технічний або економічний

показник, а стратегічний інструмент, який визначає здатність підприємства бути стійким у динамічному середовищі енергетичних ринків. Поняття енергоефективності охоплює не тільки співвідношення витраченої енергії до обсягу виробленої продукції, але й рівень оптимізації всього енергетичного ланцюга — від закупівлі енергоносіїв до кінцевого споживання в технологічному процесі. У цьому контексті значення має не лише кількість використаної енергії, а й її якість, стабільність постачання та відповідність потребам виробництва.

Варто звернути увагу на те, що сучасна промисловість дедалі більше залежить від здатності управляти енергією як ресурсом, аналогічно до управління фінансами чи логістикою. Підприємства з високим рівнем енергоефективності отримують переваги у вигляді меншої залежності від коливань цін на енергоносії, зниження ризиків зупинки виробництва через енергетичні перебої, а також мають кращі показники відповідності екологічним вимогам. В умовах жорсткої конкуренції саме енергоефективність стає чинником, що дозволяє зберігати або збільшувати частку на ринку без значних капіталовкладень у розширення виробництва. Окрему увагу необхідно приділяти ролі енергоефективності у цифровізації промислових процесів. Впровадження систем моніторингу та аналізу споживання енергії в режимі реального часу створює новий рівень управлінської точності, що дозволяє не тільки оперативно виявляти відхилення, а й прогнозувати наслідки рішень ще до їх реалізації. У цьому сенсі, енергоефективність стає частиною глибшої трансформації промисловості у напрямі до індустрії 4.0, де технології Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та машинного навчання безпосередньо впливають на показники споживання енергії [12].

Значення енергоефективності для промисловості виходить за межі суто інженерного поняття і набуває стратегічного, соціального і навіть репутаційного виміру. Успішна енергетична політика підприємства формує його імідж інноваційного, відповідального й конкурентоспроможного учасника ринку, здатного діяти ефективно не лише сьогодні, але й у довгостроковій перспективі.

1.2. Основні напрямки підвищення енергоефективності

Підвищення енергоефективності є комплексним процесом, який передбачає реалізацію сукупності технічних, організаційних та управлінських заходів, спрямованих на оптимізацію використання енергетичних ресурсів на промислових підприємствах. Головною метою таких заходів є забезпечення максимально можливої економії енергії без шкоди для якості продукції, технологічного циклу або безпеки виробництва. У реальних умовах це вимагає комплексного аналізу всіх систем енергоспоживання підприємства, виявлення найменш ефективних процесів і розробки цілеспрямованих рішень для їх удосконалення. Одним із ключових напрямків є модернізація технологічного обладнання. Значна частина існуючих машин та установок споживає надлишкову кількість енергії через зношеність або застарілі технічні характеристики. Замінюючи старе обладнання на енергоефективні аналоги, або шляхом його модернізації з використанням сучасних технологій управління, можна досягти істотного зниження енергоспоживання без кардинальної зміни виробничої структури. Не менш важливим є впровадження систем автоматичного контролю і управління енергоспоживанням. Завдяки впровадженню сенсорних систем, енергомоніторингу в реальному часі та інтелектуальних алгоритмів регулювання виробничих процесів підприємства отримують можливість оперативно виявляти і ліквідовувати енергетичні втрати. Такі системи дозволяють не тільки контролювати споживання енергії на кожному етапі виробництва, а й адаптувати режим роботи обладнання до реальних виробничих потреб [13].

Раціоналізація систем освітлення та вентиляції також є важливим напрямком підвищення енергоефективності. Використання світлодіодних технологій, систем автоматичного регулювання освітлення залежно від рівня природного світла, а також енергоефективних вентиляційних систем з рекуперацією тепла дозволяють значно зменшити непродуктивне споживання енергії у допоміжних виробничих процесах.

Особливе місце займає оптимізація теплових процесів, оскільки системи опалення, охолодження та технологічного нагріву споживають значну частину енергоресурсів. Застосування теплоізоляційних матеріалів нового покоління,

систем утилізації теплових викидів і технологій рекуперації тепла забезпечує відчутне зниження теплових втрат і підвищення загальної енергетичної ефективності підприємства. Окремим важливим напрямком є формування культури енергоефективного виробництва серед персоналу. Навчання працівників принципам раціонального використання енергії, впровадження систем внутрішньої мотивації до енергозбереження та створення процедур для виявлення і реалізації ініціатив з підвищення енергоефективності сприяють тому, що енергозбереження стає частиною повсякденної практики на всіх рівнях виробництва [14].

Ефективним засобом підвищення енергоефективності є проведення регулярних енергетичних аудитів. Вони дозволяють не тільки ідентифікувати наявні втрати енергії, а й визначити економічно обґрунтовані шляхи їх усунення. Результати енергоаудиту стають основою для розроблення планів енергомодернізації підприємства та формування довгострокових стратегій розвитку в контексті сталого енергоспоживання.

Основні напрямки підвищення енергоефективності включають як технічні рішення щодо модернізації виробництва, так і організаційні заходи, що змінюють підходи до управління енергоресурсами на підприємстві. Реалізація комплексної енергетичної стратегії забезпечує не тільки зменшення витрат, а й підвищення конкурентоспроможності підприємства у довгостроковій перспективі. У сучасних умовах підвищення енергоефективності промислових підприємств нерозривно пов'язане з активним використанням концепцій гнучкого виробництва та розумного управління енергетичними ресурсами. Важливим напрямом стає інтеграція енергетичного аналізу на ранніх етапах проектування технологічних процесів і виробничих систем. Замість того щоб намагатися зменшити енергоспоживання на вже побудованих об'єктах, набагато ефективніше передбачити мінімізацію втрат ще на стадії розробки технологічних маршрутів, компоновки обладнання та вибору інженерних рішень. Таким чином, енергоефективність починає розглядатися як частина загальної інженерної культури, що впливає на весь життєвий цикл виробничих об'єктів. Підвищення енергоефективності також передбачає адаптивність енергетичних систем до

зовнішніх умов, таких як зміни тарифів на електроенергію протягом доби або сезонні коливання попиту на продукцію. Використання технологій керованого навантаження, створення систем локального накопичення енергії та оптимізація режимів роботи енергоспоживачів відповідно до зовнішніх цінових сигналів дозволяють підприємствам зменшити експлуатаційні витрати без зниження продуктивності [15].

Важливу роль у розвитку напрямків енергоефективності відіграють технології утилізації відходів виробництва з метою повернення енергії у виробничий цикл. Наприклад, сучасні установки дозволяють перетворювати промислові газові викиди в тепло або електроенергію, а використання біоенергетичних технологій на підприємствах харчової чи переробної промисловості створює додаткові джерела енергії, зменшуючи залежність від традиційних енергоносіїв.

Ще одним суттєвим напрямом є розроблення інноваційних методів ізоляції і збереження енергії в складних умовах виробництва. Використання наноматеріалів для теплоізоляції технологічних установок, створення нових видів покриттів із низькою теплопровідністю, а також застосування пасивних методів охолодження і нагріву на основі фізичних властивостей матеріалів відкривають нові можливості для зменшення втрат енергії без витрат на активні енергосистеми.

Окремої уваги заслуговує стратегія взаємопов'язаного енергоспоживання підприємств у рамках промислових кластерів або індустріальних парків. У таких системах окремі підприємства можуть об'єднувати свої енергетичні баланси для спільного використання надлишкової теплової енергії, перерозподілу електроенергії та спільної участі у програмах енергозбереження. Такий підхід дозволяє знизити витрати кожного учасника та підвищити загальну енергетичну стійкість регіону. Установка сонячних електростанцій на дахах виробничих корпусів, використання теплових насосів для опалення адміністративних будівель підприємства або будівництво міні-ГЕС на технічних водоймах стає практикою, яка дозволяє не лише скоротити прямі витрати на закупівлю енергії, але й створити імідж екологічно відповідальної компанії. Сучасні напрями

підвищення енергоефективності виходять за межі класичної модернізації обладнання. Вони охоплюють створення цілісних адаптивних енергосистем, використання принципів енергетичної інтеграції між підприємствами, застосування новітніх матеріалів і цифрових технологій. Це формує нову якість промислового виробництва, де енергоефективність стає невід'ємною складовою стратегії розвитку підприємства та його довгострокового успіху [16].

Розглядаючи основні напрямки підвищення енергоефективності в промисловості, важливо акцентувати на тому, що найбільш перспективні результати досягаються не стільки шляхом модернізації окремих вузлів, скільки за рахунок синергії між процесами — інтеграції систем енергоменеджменту, автоматизації, теплообміну та повторного використання залишкової енергії. Такий підхід дозволяє здійснювати не лише зниження питомих витрат енергоресурсів, а й структурну трансформацію самого виробництва. Інтенсивне застосування математичних моделей та цифрових двійників дозволяє підприємствам прогнозувати сценарії змін у енергоспоживанні ще до впровадження змін, що відкриває новий підхід до оцінки ефективності інвестицій. Підприємство може прорахувати різні варіанти технічних рішень в умовах змінних тарифів, сезонних коливань або модернізації обладнання і обрати найбільш збалансований за термінами окупності та енергоощадним потенціалом. Така прогнозована оптимізація — це новий рівень енергоефективності, що вимагає тісної співпраці енергетиків з аналітиками, фінансистами та технологами.

Аналітична таблиця з напрямками підвищення енергоефективності на промисловому підприємстві демонструє стратегічні напрями дій, які підприємство може адаптувати залежно від специфіки виробництва. Кожен напрямок не є універсальним, але при правильному поєднанні дає кумулятивний ефект. Успіх залежить від технічного аудиту, злагодженості дій енергетичної служби та фінансової доцільності заходів, які представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Аналітична таблиця з напрямками підвищення енергоефективності на промисловому підприємстві

Початок таблиці 1.1

Напрямок	Суть заходу	Очікуваний ефект	Пояснення
Оптимізація технологічних процесів	Перегляд режимів роботи обладнання, зменшення простоїв	Зниження витрат енергії на одиницю продукції	Зменшення непотрібного споживання енергії в періоди низького навантаження
Впровадження автоматизованих систем управління енергоспоживанням	Встановлення АСКОЕ, інтеграція з ERP/SCADA системами	Підвищення точності контролю, оперативне виявлення втрат	Дає змогу бачити реальну картину витрат у розрізі підрозділів
Використання відновлюваних джерел енергії	Встановлення сонячних панелей, теплових насосів, біоенергетичних установок	Часткове заміщення зовнішнього постачання, стабільність витрат	Зменшення залежності від ринкових коливань цін на енергоносії
Теплоутеплення виробничих приміщень	Реконструкція вікон, дахів, теплоізоляція трубопроводів	Зменшення втрат теплової енергії до 30%	Актуально для підприємств із великими цехами або старими будівлями
Модернізація електроприводів	Заміна двигунів старого типу на високоефективні з частотними перетворювачами	Зниження електроспоживання до 40% на окремих ділянках	Частотне регулювання дозволяє уникати пікових навантажень
Рекуперація тепла	Використання залишкового тепла димових газів або відпрацьованого повітря	Виробництво гарячої води або підігрів повітря без додаткових витрат	Особливо ефективно в металургії, машинобудуванні, харчовій промисловості

Ще одним глибинним напрямом є перехід від класичного підходу до обліку енергії до концепції управління енергетичними потоками як бізнес-процесом. Це передбачає не лише технічне обладнання лічильниками, а й впровадження систем контролінгу, що дозволяють кожному цеху, дільниці чи виробничій лінії мати свої показники енерговитрат і відповідати за їх зниження. У такий спосіб формується корпоративна культура енергозбереження, яка стає частиною стратегічної цілі компанії. Варто також зазначити, що окремим напрямом стає інтеграція підприємств у локальні енергетичні мережі, де вони не лише споживають, а й частково виробляють енергію, використовуючи когенераційні установки, фотоелектричні модулі або біоенергетику. Це змінює саму логіку енергопостачання і знижує навантаження на центральні мережі, що є критично важливим у регіонах з дефіцитом потужностей або частими аваріями. Таким чином, енергоефективність перестає бути внутрішньою справою підприємства і перетворюється на елемент загальної енергетичної безпеки країни. Поглиблене вивчення напрямків підвищення енергоефективності на промислових підприємствах дає змогу виокремити системні трансформації, які значно виходять за межі традиційних технічних модернізацій. Одним із таких стратегічних напрямів є інтелектуалізація енергетичних процесів, де велику роль відіграє запровадження систем прогнозування енергоспоживання на основі машинного навчання. Ці алгоритми дозволяють не лише передбачити пікові навантаження, а й адаптивно керувати ними, що мінімізує втрати й навантаження на мережу. Розвиток інтегрованих енергетичних систем на підприємстві, коли класичні джерела енергії поєднуються з альтернативними, а надлишки енергії акумулюються і використовуються за потреби. Застосування мікромереж із локальним балансуванням виробництва та споживання дозволяє підприємству підвищити автономність, зменшити залежність від централізованих систем та підвищити стійкість до коливань на ринку енергоресурсів [17].

Також важливим трендом є орієнтація на повну прозорість енергетичних потоків шляхом цифровізації обліку в реальному часі, коли не лише споживання, а й втрати стають візуалізованими та доступними для аналізу керівництву підприємства. Таким чином створюється основа для побудови енергетичної

культури, в якій кожен учасник виробничого процесу усвідомлює своє енергетичне навантаження та його економічні наслідки.

1.3 Законодавча та нормативна база України в сфері енергоефективності

Розвиток енергоефективності в Україні ґрунтується на комплексі законодавчих та нормативних актів, які визначають правові, організаційні та економічні засади раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у всіх сферах економіки, включно з промисловістю. Формування відповідної бази є важливою передумовою для реалізації державної політики енергозбереження та виконання міжнародних зобов’язань України в рамках глобальних ініціатив зі зменшення викидів парникових газів та розвитку сталої енергетики. Основоположним актом у сфері енергозбереження є Закон України "Про енергозбереження", який встановлює загальні принципи державної політики щодо енергетичної ефективності, визначає обов'язки підприємств, установ та організацій у цій сфері та закладає основу для розроблення галузевих і регіональних програм енергозбереження. Цей закон є фундаментом для всіх подальших нормативних документів, що деталізують вимоги до окремих видів діяльності та секторів економіки [18].

Одним із ключових кроків у наближенні національного законодавства до європейських стандартів стало прийняття Закону України "Про енергетичну ефективність", який встановлює вимоги до систем енергетичного менеджменту, обов'язковість проведення енергетичних аудитів великих підприємств та визначає основні принципи стимулювання заходів з енергоефективності. Важливим аспектом цього закону є визначення обов’язків для промислових підприємств щодо регулярного обстеження власних систем енергоспоживання, з метою виявлення та реалізації потенціалу енергозбереження.

Особливу роль відіграє Закон України "Про енергетичну ефективність будівель", який регламентує питання підвищення енергоефективності об'єктів

будівництва, у тому числі промислових об’єктів, шляхом встановлення мінімальних вимог до теплової ізоляції, обліку енергоспоживання та обов'язкової сертифікації енергоефективності будівель. Це має безпосередній вплив на проектування, будівництво і реконструкцію виробничих споруд, оскільки відповідність новим нормам енергоефективності стає обов’язковою умовою для введення об'єктів в експлуатацію.

Важливим інструментом реалізації політики енергоефективності є Державна цільова економічна програма енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики, яка передбачає фінансування заходів з енергомодернізації підприємств, підтримку інноваційних проектів, надання пільгових кредитів на впровадження енергозберігаючих технологій та розвиток інституційної спроможності у сфері енергетичного менеджменту. Нормативне забезпечення сфери енергоефективності включає також численні державні стандарти, що гармонізовані з міжнародними документами, зокрема ISO 50001 "Системи енергетичного менеджменту", які визначають вимоги до створення, впровадження, підтримання і вдосконалення систем управління енергоспоживанням на підприємствах. Впровадження цих стандартів дозволяє промисловим підприємствам систематизувати підходи до зменшення витрат енергії, впроваджувати кращі світові практики та ефективно взаємодіяти з міжнародними партнерами. Україна, як сторона Енергетичного співтовариства, також імплементує у своє законодавство основні положення Директив Європейського Союзу в галузі енергетичної ефективності, що стосується обов’язкових енергетичних аудитів, створення фондів енергоефективності, розвитку механізмів енергосервісу (ESKO) та стимулювання інвестицій в енергозбереження через ринкові механізми [19].

Законодавча та нормативна база України в сфері енергоефективності є багаторівневою та динамічно розвивається. Вона створює умови для активного впровадження енергозберігаючих заходів у промисловості, забезпечуючи як правову підтримку підприємств у цій сфері, так і економічні стимули для впровадження енергоефективних технологій. Однак важливою залишається задача подальшої гармонізації національного законодавства із сучасними

європейськими стандартами, удосконалення механізмів контролю та підтримки реалізації енергозберігаючих заходів на практиці.

Еволюція законодавчої бази України в сфері енергоефективності відображає прагнення держави інтегрувати національну економіку у глобальні процеси сталого розвитку, з урахуванням міжнародних екологічних і кліматичних зобов'язань. Після підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом Україна взяла на себе обов'язок імплементувати у національне законодавство низку директив і регламентів, що регулюють питання енергетичної ефективності та відновлюваної енергетики. Зокрема, поступово впроваджуються норми Директиви 2012/27/ЄС щодо енергоефективності, яка ставить за мету досягнення певних національних показників зниження енергоспоживання.

У рамках наближення до європейських норм в Україні був створений Фонд енергоефективності, діяльність якого регулюється спеціальним законом. Хоча на початковому етапі Фонд орієнтувався переважно на житловий сектор, згодом його програми були адаптовані для підтримки проектів енергомодернізації в промисловості, особливо в частині підвищення енергоефективності будівель, технологічних установок та систем теплопостачання. Завдяки механізму співфінансування проекти, які раніше були недосяжними через високі інвестиційні бар'єри, отримали можливість реалізації. Крім основних законів, важливу роль у формуванні нормативної бази відіграють підзаконні акти: урядові постанови, накази міністерств і міжгалузеві стандарти. Наприклад, низка нормативних документів регулює обов'язкове встановлення засобів обліку споживаної енергії на підприємствах, що створює передумови для точного контролю за енергоспоживанням і виявлення можливостей для економії. Окремі регламенти стосуються методики проведення енергетичних аудитів, які повинні виконуватися за єдиними стандартами для забезпечення об'єктивності результатів [20].

Важливою тенденцією останніх років стало поступове введення вимог до обов'язкової сертифікації енергетичних характеристик великих промислових об'єктів. Це положення передбачає, що підприємства мають не лише володіти

внутрішньою інформацією про своє енергоспоживання, але й офіційно підтверджувати відповідність певним класам енергоефективності, що стимулює їх до активного вдосконалення.

На регіональному рівні, завдяки прийняттю Стратегії енергетичного розвитку України до 2035 року, органи місцевого самоврядування отримали більше повноважень у сфері підтримки енергоефективних ініціатив. Це відкрило можливості для розроблення локальних програм енергозбереження, де промислові підприємства стають важливими учасниками регіональних енергетичних балансів.

Суттєве значення має й екологічний компонент нормативної бази. В межах інтеграції до Європейського зеленого курсу (European Green Deal), Україна бере на себе зобов'язання щодо зменшення викидів парникових газів, де енергоефективність промисловості розглядається як один із основних інструментів для досягнення кліматичних цілей. Це, своєю чергою, передбачає поступову адаптацію національних стандартів до більш жорстких вимог щодо енергоефективності не тільки технологічних процесів, а й кінцевої продукції. Законодавча і нормативна база України в сфері енергоефективності перетворюється з набору окремих актів на єдину комплексну систему регулювання, що охоплює технічні, економічні, екологічні й управлінські аспекти енергоспоживання. Успішна реалізація вимог цієї бази на практиці стає не лише питанням виконання формальних обов'язків підприємств, а й фактором їхньої довгострокової економічної життєздатності та стійкості у нових глобальних умовах розвитку [21].

Законодавча та нормативна база України в сфері енергоефективності продовжує розвиватися відповідно до зобов’язань перед ЄС та потреби зниження енергетичної залежності. Останніми роками відбувається поступове впровадження стандартів Європейського Союзу, зокрема через імплементацію Директиви 2012/27/ЄС, що стосується енергоефективності. Відчутний акцент робиться на децентралізацію відповідальності за енергетичну політику — від центральних органів до місцевих громад і підприємств представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Законодавчі та нормативні бази України в сфері енергоефективності

Назва нормативного документа	Сфера дії	Суть і вплив на енергоефективність
Закон України «Про енергетичну ефективність» (2021)	Загальна державна політика в енергозбереженні	Визначає правові рамки, терміни та основи впровадження заходів, зокрема для бізнесу та місцевих громад.
Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»	Об'єкти нерухомості (включно з промисловими приміщеннями)	Встановлює вимоги до сертифікації, обов’язкових аудитів та модернізації існуючих будівель.
Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та води»	Автоматизований облік	Регламентує обов’язковість встановлення засобів обліку тепла, що важливо для точного аналізу витрат.
Постанова КМУ № 1056 «Про затвердження Методики енергоаудиту»	Енергетичний аудит	Визначає структуру, методику та вимоги до енергетичних обстежень на підприємствах.
ISO 50001:2018 (впровадження на національному рівні)	Системи енергоменеджменту	Спрямована на побудову циклічного процесу моніторингу та вдосконалення споживання енергії.
Закон «Про ринок електричної енергії»	Доступ до енергоресурсів, конкуренція	Створює умови для прозорого формування цін та підвищення ролі споживача на ринку електроенергії.

Для підприємств на кшталт АТ «МОТОР СІЧ» ці акти створюють нормативну основу для формування стратегії сталого енергоспоживання. Окремо варто відзначити впровадження концепції енергетичного аудиту як обов’язкової умови для великих споживачів енергії. Така політика стимулює

бізнес до системного перегляду витрат, формування внутрішньої енергетичної стратегії та активного впровадження ISO 50001. Крім того, розвиваються інструменти державної підтримки — зокрема, механізми «зеленого» фінансування, спеціальні енергоефективні кредити та податкові пільги. Впровадження автоматизованих систем обліку, таких як АСКОЕ, закріплено на рівні нормативно-правових актів, що сприяє більш точному моніторингу витрат. Також зростає роль державних і приватних енергосервісних компаній (ЕСКО), для яких створено правові умови здійснення діяльності на основі контрактів із гарантованим результатом [22].

Законодавча та нормативна база України в сфері енергоефективності є фундаментом для впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та систем на підприємствах, таких як АТ «МОТОР СІЧ». Ця база формується з урахуванням європейських стандартів та спрямована на забезпечення енергетичної незалежності країни.

Ключовим документом є Закон України «Про енергетичну ефективність» №1818-IX, який набув чинності 13 листопада 2021 року. Цей закон встановлює правові, економічні та організаційні засади діяльності у сфері енергетичної ефективності, включаючи вимоги до енергетичного аудиту, енергетичного менеджменту, екодизайну та енергомаркування продукції. Він також передбачає впровадження систем енергетичного менеджменту на підприємствах та стимулювання енергоефективності в різних секторах економіки.

Для реалізації положень цього закону було затверджено Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року**.** Цей план встановлює національні цілі щодо обмеження первинного та кінцевого споживання енергії, а також передбачає впровадження горизонтальних та секторальних заходів у сферах житлових та бюджетних будівель, транспорту, промисловості та енергетики . Ще одним важливим нормативним актом є Закон України «Про енергетичну ефективність будівель», підписаний 20 липня 2017 року. Цей закон запроваджує сертифікацію енергетичної ефективності будівель, створення відкритих баз даних енергетичних сертифікатів та звітів про обстеження інженерних систем будівель. Він також передбачає реалізацію національних

планів збільшення кількості будівель з близьким до нульового споживанням енергії. Законодавча база передбачає впровадження високоефективної когенерації та ефективного централізованого теплопостачання, що сприятиме суттєвій економії палива та зменшенню викидів CO_2 [23].

На місцевому рівні органи самоврядування отримали повноваження розробляти та затверджувати місцеві енергетичні плани, впроваджувати системи енергетичного менеджменту та створювати місцеві цільові фонди для фінансової підтримки енергоефективних заходів .

2 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА МЕХАНІЧНОМУ ЗАВОДІ

2.1 Характеристика підприємства

Ефективне управління енергоспоживанням на промисловому підприємстві неможливе без всебічного аналізу існуючої ситуації, який передбачає вивчення структури енергоспоживання, оцінку питомих витрат енергії за основними технологічними процесами та виявлення вузьких місць, що призводять до надмірних витрат. У випадку механічного заводу, де переважають металообробні процеси, електроенергія є основним енергоносієм, а отже, її раціональне використання має першочергове значення для зниження загальних виробничих витрат. На першому етапі аналізу вивчається загальний енергетичний баланс підприємства. Згідно з даними енергетичної служби, щорічне споживання електроенергії становить приблизно вставити конкретне значення на основі фактичного заводу], з яких основна частка припадає на механічну обробку (токарні, фрезерні, шліфувальні верстати), компресорні установки та систему освітлення. Додаткове навантаження на енергосистему створює система вентиляції та технологічне охолодження. Аналіз показав, що близько 15–20% усієї електроенергії витрачається на допоміжні потреби, які не мають прямого відношення до виробничого процесу, але забезпечують його стабільне функціонування [24].

Особливу увагу заслуговує технічний стан основного енергоспоживаючого обладнання. У більшості випадків на підприємстві експлуатується техніка, термін служби якої перевищує 15–20 років. Це призводить до неефективного використання електроенергії, втрат через нагрів електродвигунів, низький коефіцієнт корисної дії та високу ймовірність аварійних зупинок. Відомо, що застарілі асинхронні двигуни споживають на 15–30% більше електроенергії у порівнянні з сучасними високоефективними аналогами класу IE3–IE4.

Під час аналізу також виявлено відсутність належного обліку енергоспоживання за технологічними ділянками. У більшості випадків ведеться

лише загальний облік по цеху або виробничому підрозділу, що ускладнює виявлення джерел надмірного споживання енергії. Така ситуація створює проблеми не лише для оперативного управління енергетикою підприємства, а й для розроблення обґрунтованих заходів енергоефективності, оскільки відсутні точні вихідні дані для розрахунків економії. Ще одним важливим аспектом є неефективне використання теплової енергії. Приміщення заводу опалюються застарілими системами з неавтоматизованим регулюванням температури. Це призводить до ситуацій, коли тепло подається без урахування реального теплового навантаження або погодних умов. Часто зустрічаються також втрати тепла через погану ізоляцію трубопроводів та огороджувальних конструкцій.

Результати аналізу свідчать, що загальний потенціал зниження енергоспоживання підприємства може сягати 20–25% за рахунок впровадження відносно простих заходів — таких як заміна електродвигунів, оптимізація режимів роботи компресорів, модернізація систем освітлення та вентиляції. Додаткові можливості економії можуть бути реалізовані шляхом переходу до системного енергоменеджменту, що передбачає регулярний моніторинг, аудит і оптимізацію споживання ресурсів. Аналіз поточного стану енергоспоживання механічного заводу виявив значну кількість резервів для підвищення енергоефективності. Реалізація відповідних заходів дозволить не лише зменшити витрати на енергоносії, але й покращити стабільність і надійність виробничих процесів, а також зміцнити конкурентоспроможність підприємства в умовах зростаючого енергетичного тиску. Поглиблений аналіз енергоспоживання на механічному заводі також повинен враховувати сезонну нерівномірність навантажень, що виникає внаслідок змін зовнішньої температури, обсягів виробництва та графіків роботи персоналу. Взимку істотно зростає споживання теплової енергії на опалення виробничих та адміністративних приміщень, а влітку зростає навантаження на системи охолодження та вентиляції. Проте ці сезонні піки часто не враховуються при плануванні потужності енергетичного обладнання, що призводить до його недовантаження або, навпаки, перевантаження, з підвищеним рівнем втрат та передчасним зношуванням [25].

Особливої уваги заслуговує також питання якості електроенергії, що постачається до підприємства. На багатьох механічних заводах фіксуються коливання напруги, сплески частоти та гармонічні спотворення, що негативно впливають на чутливе електронне обладнання, інструментальні верстати з ЧПК і системи автоматичного керування. В таких умовах підвищується ризик виходу з ладу дорогого устаткування, а також зростає непродуктивне енергоспоживання через часті зупинки та перезапуски процесів. Низька якість електроенергії сприяє і підвищенню втрат у трансформаторах та кабельних лініях, особливо якщо енергорозподільча мережа підприємства не модернізувалася з моменту будівництва. Окрім цього, важливим чинником є відсутність сучасної системи енергетичного обліку з функціями деталізованої аналітики. Більшість механічних заводів продовжують використовувати аналогові лічильники або цифрові прилади без функції дистанційного збору даних. Це унеможливлює оперативну реакцію на аномалії споживання, уповільнює виявлення позапланових втрат і ускладнює складання реалістичних прогнозів енергоспоживання на основі фактичних даних. За наявності повноцінної системи енергомоніторингу підприємство могло б не лише знизити витрати, а й розпочати перехід до енергетичної самодостатності, адаптуючи свої енергетичні потоки до потреб виробництва в режимі реального часу [26].

Наслідком обмеженого обліку та відсутності глибокої енергетичної аналітики є складність верифікації впливу тих чи інших заходів енергомодернізації. Підприємства часто інвестують у нові технології без чіткого розуміння того, наскільки ці заходи будуть виправдані в енергетичному плані. Наприклад, заміна освітлення або модернізація компресорної станції може виглядати доцільною, але без точного обґрунтування ефекту зниження енергоспоживання за конкретними показниками підприємство ризикує не отримати очікуваної економії.

Значення має також аналіз непрямого енергоспоживання, що включає витрати енергії на внутрішнє логістичне переміщення сировини, обслуговування складів, витрати на обігрів технічних приміщень, аварійне освітлення, вентиляційні шахти, компресорні магістралі та інші непомітні, але суттєві

напрямки втрат. У деяких випадках підприємства витрачають до 10% енергії на такі другорядні процеси, які не генерують доданої вартості, що ставить під сумнів ефективність усієї системи управління ресурсами. Отже, реальний енергетичний стан механічного заводу є результатом не лише фізичних характеристик обладнання, але й управлінських рішень, культур виробництва, організації моніторингу і здатності реагувати на зміни в споживанні. Врахування всіх цих факторів у комплексі дозволяє об’єктивно оцінити потенціал покращення енергетичної ефективності і сформувати стратегічний план дій з урахуванням як поточних, так і довгострокових потреб підприємства. Аналіз поточного стану енергоспоживання на механічному заводі передбачає не лише загальну оцінку витрат електроенергії, тепла та інших видів енергії, а й глибоке вивчення динаміки змін у споживанні, структурних диспропорцій між виробничими ділянками та специфіки технологічних процесів. Особливої уваги заслуговують періоди пікового навантаження, що можуть бути пов’язані із запуском енергоємного обладнання або збільшенням виробничих замовлень, що часто призводить до надмірних витрат через неефективне управління потужностями [27].

На сучасних підприємствах виявляється тенденція до значного дисбалансу між встановленою потужністю та фактичним навантаженням, що зумовлює низький коефіцієнт використання енергії. У випадку механічного заводу АТ «МОТОР СІЧ» це може проявлятись, наприклад, у тривалому холостому ході верстатного обладнання або частих пусках електродвигунів без оптимізації графіків роботи. Також не менш критичною є відсутність автоматизованої системи контролю за витратами енергії в режимі реального часу, що унеможливлює оперативне реагування на відхилення.

Додатково варто враховувати стан електромереж, трансформаторних підстанцій та теплових вузлів, оскільки втрати в інфраструктурі можуть досягати значного відсотка загального споживання. Іноді фактичні втрати стають очевидними лише після глибокого технічного аудиту із застосуванням тепловізійної діагностики, аналізу гармонік та навантаження фаз. Для досягнення повної картини слід інтегрувати дані з енергоаудиту в цифрову

модель підприємства, що дозволить не лише виявити проблемні зони, а й оцінити потенціал їх оптимізації [28].

Ця таблиця демонструє не лише абсолютне значення споживання енергії по основних технологічних ділянках, а й дозволяє виявити відносні показники, що свідчать про технічні та організаційні недоліки. Наприклад, високий рівень втрат у теплотехнічному цеху може бути ознакою поганої теплоізоляції трубопроводів або неефективного керування обігрівом. Низький коефіцієнт використання в адміністративних будівлях вказує на можливість оптимізації графіків освітлення та опалення. Водночас високе значення коефіцієнта у компресорній станції свідчить про її модернізовану інфраструктуру та ефективне енергоспоживання. Все це представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 2.1. – Поточний стан енергоспоживання на механічному заводі, з орієнтацією на умовні дані для підприємства типу АТ «МОТОР СІЧ»

Ділянка/цех	Тип енергії	Середньомісячне споживання (МВт·год)	Втрати в мережі (%)	Коефіцієнт корисного використання (%)
Заготівельна ділянка	Електроенергія	125	6.2	82.5
Механічна обробка	Електроенергія	210	4.7	88.1
Теплотехнічний цех	Теплова енергія	275	12.3	72
Зварювальна ділянка	Електроенергія	95	5.5	76.8
Компресорна станція	Електроенергія	60	3.2	91.3
Адміністративні будівлі	Електро- та теплова	45	9.1	67.2

Характеристика підприємства

Лозівський ковальсько-механічний завод (ЛКМЗ).

Це велике промислове підприємство, розташоване в Харківській області, яке спеціалізується на виробництві сільськогосподарської техніки, деталей для транспорту та машинобудування. У 2006 році на заводі було розпочато програму

енергомодернізації, що включала реконструкцію систем теплозабезпечення, утеплення будівель, заміну освітлювальних приладів на енергоефективні, впровадження автоматичного обліку енергоресурсів та модернізацію обладнання. ЛКМЗ активно впроваджує енергоефективні технології. Зокрема, у виробництві сільськогосподарської техніки під брендом «Лозівські машини» використовуються інноваційні рішення, що забезпечують економію палива та швидке виконання польових робіт [29].

Загальна характеристика підприємства

ЛКМЗ розташований у місті Лозова Харківської області та займає площу понад 111 гектарів. Заснований у 1966 році як філія Харківського тракторного заводу, він був створений для забезпечення гарячештампованими заготовками підприємств сільськогосподарського машинобудування.

З 2002 року ЛКМЗ входить до складу Індустріальної групи «УПЕК». Станом на 2024 рік підприємство має статутний капітал 22 876 450 грн і основний вид діяльності — виробництво машин і устаткування для сільського та лісового господарства (КВЕД 28.30).

Виробничі потужності та продукція

ЛКМЗ є лідером у виробництві елементів трансмісій і шасі для тракторів, дорожньо-будівельної техніки, мостів для автобусів, деталей і вузлів для тракторної техніки, деталей для рухомого складу залізниць, а також ґрунтообробної техніки для використання в енергозберігаючих технологіях. Підприємство спеціалізується на масовому великосерійному виробництві поковок понад 300 найменувань із встановленою потужністю до 180 тис. тонн на рік.

Соціальна роль та інфраструктура

До 1991 року ЛКМЗ був основним замовником містобудування у Лозовій. Завдяки заводу було збудовано сучасний міський район багатоповерхівок з усією інфраструктурою, включаючи дитячі садки, школи, Палац культури та парк.

2.2 Структура енергоспоживання та джерела енергії

Раціональне використання енергетичних ресурсів на великому промисловому підприємстві, зокрема на Лозівському ковальсько-механічному заводі (ЛКМЗ), починається з розуміння структури енергоспоживання та аналізу джерел постачання енергії. Енергетична система заводу є багаторівневою і охоплює як основне виробництво, так і допоміжну інфраструктуру — транспорт, адміністративні приміщення, системи освітлення, вентиляції, обігріву тощо. Основу енергоспоживання на ЛКМЗ становить електрична енергія, яка використовується для роботи верстатного парку, ковальсько-пресового обладнання, термічних печей, насосів, компресорних станцій і транспортних систем. Враховуючи високий ступінь автоматизації окремих виробничих ділянок, значна частка електроенергії споживається також системами керування, електронікою, ЧПУ, контролерами та обчислювальними модулями.

Другим за значенням джерелом є теплова енергія, яка подається як від централізованого теплопостачання, так і з власних котелень. Вона використовується для обігріву виробничих і побутових приміщень, нагріву технічної води, підтримання температурного режиму в технологічних процесах, зокрема в термічних цехах. Оскільки частина будівель на території заводу була споруджена ще в середині XX століття, тепловтрати через огороджувальні конструкції і неефективні системи подачі тепла залишаються суттєвими. Також у структурі енергоспоживання враховується використання стисненого повітря, яке виробляється компресорними станціями. Компресори є одними з найбільш енергоємних агрегатів і працюють майже безперервно, забезпечуючи роботу пневматичних систем, маніпуляторів, пресів та іншого пневмообладнання. На заводі частково використовуються також дизельне паливо і природний газ. Дизель застосовується для внутрішньозаводського транспорту (навантажувачі, трактори), а газ — у котельнях або деяких технологічних процесах із високою температурою нагріву. Незважаючи на це, їхня частка в загальній структурі енергоспоживання є відносно незначною [30].

Енергетичне забезпечення підприємства здійснюється через зовнішні мережі, підключення до яких має декілька вводів — з боку обласного

енергопостачальника для електроенергії та міської теплової інфраструктури для тепла. У пікові періоди ЛКМЗ має можливість додатково запускати резервні джерела енергії — автономні дизель-генератори або локальні котли. Наявна структура енергоспоживання свідчить про високий рівень енергетичної насиченості підприємства, що створює як загрози у вигляді високих експлуатаційних витрат, так і можливості для значної оптимізації. Саме багатокомпонентність споживання вимагає системного підходу до управління енерговитратами, чіткого поділу за джерелами та видами навантажень, а також впровадження інструментів аналітики споживання у реальному часі.

Більш детальне вивчення структури енергоспоживання на Лозівському ковальсько-механічному заводі свідчить про важливу роль взаємозв’язку між споживанням енергії та організаційною структурою виробництва. Наприклад, дільниці з цілодобовим виробничим циклом, зокрема термічні або ковальські цехи, демонструють стабільно високий рівень енергоспоживання з мінімальними добовими коливаннями. Натомість на допоміжних або складальних ділянках енергетичне навантаження має виражену сезонну або циклічну структуру, що значно ускладнює побудову універсального графіка енергозабезпечення. Це особливо критично у випадках, коли підприємство не має інтегрованої системи диспетчеризації енергоресурсів, що дозволяє в режимі реального часу коригувати постачання енергії відповідно до навантаження. Додатковим енергетичним фактором є транспортна логістика всередині заводу. Переміщення великих обсягів поковок і металевих заготовок між цехами за допомогою електронавантажувачів, мостових кранів або вагонеток на електротязі спричиняє періодичні пікові навантаження в енергомережі. Ці навантаження мають імпульсний характер і значною мірою впливають на показники напруги та якість електроенергії, особливо при одночасній роботі кількох великих споживачів. Відсутність попереднього програмування або поетапного запуску таких систем створює ефект «енергетичних хвиль», які призводять до зайвих втрат у мережах і зниження енергоефективності [31].

Ще один аспект — недостатнє використання рекуперативних систем, які могли б дозволити повторно використовувати частину енергії, згенерованої під

час роботи обладнання. Наприклад, у ковальсько-пресовому виробництві втрачається велика кількість тепла, що виводиться разом із димовими газами або відпрацьованим повітрям. За відсутності теплообмінників чи рекуператорів це тепло безповоротно губиться, хоча при правильному проектуванні воно могло б бути повернуте для нагріву технічної води чи повітря в системах вентиляції.

У складі джерел енергії, що постачаються на підприємство, не враховуються так звані приховані енергетичні витрати — наприклад, енергія, витрачена на підготовку стисненого повітря, фільтрацію води, знепилювання або кондиціювання повітря в електрощитових. Хоча ці витрати не завжди відображаються в офіційній структурі енергоспоживання, вони мають стабільну частку у загальному балансі, а тому повинні бути проаналізовані в рамках стратегії енергоефективності.

Також значущим є вплив режимів роботи обладнання на структуру споживання. Обладнання, яке працює з частими зупинками і пусками, як-от преси або високошвидкісні верстати, споживає значно більше енергії під час фази запуску, ніж у стабільному режимі. Це створює додаткові втрати, особливо якщо технічні процеси не синхронізовані та не оптимізовані на рівні внутрішнього планування виробництва. Таким чином, навіть при однаковому обсязі продукції два однакових цехи можуть демонструвати різний рівень енергоспоживання залежно від організації робочих циклів. Усе це доводить, що структура енергоспоживання на сучасному механічному заводі є багатовимірною системою, де кожен елемент — від джерел енергії до способу її споживання — повинен бути не лише зафіксований, а й детально проаналізований з урахуванням реальних виробничих процесів. Лише така глибина аналізу дозволяє побачити неочевидні шляхи підвищення енергоефективності та сформувати стратегію управління ресурсами, що буде орієнтована не тільки на економію, а й на стійкість і гнучкість підприємства в умовах енергетичних викликів [32].

Структура енергоспоживання та джерела енергії на механічному підприємстві типу АТ «МОТОР СІЧ» демонструє не лише технічне джерело кожного виду енергії, а й його реальну частку в енергетичному балансі

підприємства. Електроенергія становить основну частку через домінування електроприводних процесів, хоча її ефективність залежить від стану мереж, частотного керування та розумної автоматизації. Теплова енергія, як правило, використовується нераціонально — через старі системи подачі, а отже, тут є великий резерв економії. Газ залишається вразливим щодо цін, тому поступово заміщується альтернативами, що наводиться в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Структура енергоспоживання та джерела енергії на механічному підприємстві типу АТ «МОТОР СІЧ»

Вид енергії	Джерело постачання	Частка у загальному споживанні (%)	Сфера використання	Коментар щодо ефективності та потенціалу
1	2	3	4	5
Електроенергія	Централізована мережа + генерація (ТЕК)	52	Приводи обладнання, компресори, освітлення	Найвищий обсяг споживання; є потенціал до зменшення через оптимізацію
Теплова енергія	Власна котельня, когенерація	28	Обігрів приміщень, технічні потреби	Високі втрати на транспортування; потрібна модернізація трубопроводів
Газ природний	Національний оператор	12	Генерація тепла, гаряча вода	Висока залежність від ціни; доцільне часткове заміщення біоенергією

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
Дизельне паливо	Закупівля через тендер	5	Резервне живлення, транспорт	Нерегулярне використання, але важливе для аварійної стійкості
Відновлювана енергія	Фотоелектричні панелі (локальні)	3	Допоміжне живлення, адміністративні будівлі	Мала частка, але стабільно зростає; перспективна зона розвитку

У структурі енергоспоживання механічного підприємства, зокрема типу АТ «МОТОР СІЧ», надзвичайно важливим є розуміння не лише обсягів спожитої енергії, а й походження цих ресурсів та співвідношення між джерелами. На сучасному етапі підприємства, що орієнтуються на підвищення ефективності, стикаються з викликом оптимального розподілу між централізованим постачанням та локальним генеруванням. Зокрема, доцільність впровадження когенераційних установок або фотоелектричних систем усе частіше розглядається не лише як засіб економії, а як крок до енергонезалежності. Ще одним фактором, який часто залишається поза увагою, є сезонність структури енергоспоживання. В умовах холодного клімату зростає навантаження на системи опалення та гарячого водопостачання, що потребує точного балансу між споживанням газу, теплової енергії та використанням теплових насосів або рекуперaційних систем. Паралельно, коливання цін на енергоносії безпосередньо впливають на вибір джерел енергії — тому актуальним є створення динамічної моделі споживання, яка може адаптуватись до ринкових умов у режимі реального часу [33].

Суттєвим є і вплив якості енергії на виробничі процеси. Якщо електроенергія надходить із частими коливаннями напруги або має високий рівень гармонік, це не лише знижує ефективність роботи обладнання, а й може призвести до його пошкодження. В таких випадках доцільним є застосування

стабілізаторів, активних фільтрів і технологій Smart Grid для моніторингу та оперативного керування. Більш глибокий аналіз структури споживання включає також відокремлення технологічного та допоміжного енергоспоживання, що дозволяє виявити непродуктивні втрати, наприклад, через нераціональну роботу вентиляційних систем, неізольовані трубопроводи або застаріле освітлення. Ці деталі допомагають формувати не просто загальну картину, а й розгорнутий техніко-економічний план подальших дій.

2.3 Ідентифікація основних втрат енергії

Визначення джерел втрат енергії на промисловому підприємстві є важливою складовою розроблення ефективної енергетичної стратегії. На підприємствах механічного типу, таких як Лозівський ковальсько-механічний завод, втрати енергії носять переважно системний характер і виникають на різних етапах її трансформації, транспортування та споживання. Їхній характер часто залишається прихованим, оскільки традиційний облік енергоресурсів не дозволяє виявити всі неефективності без спеціального енергетичного аудиту. Найбільші втрати електроенергії зазвичай припадають на обладнання з низьким коефіцієнтом корисної дії, що пов’язане з його фізичним зношенням, моральним старінням або нераціональним режимом експлуатації. Типовим прикладом є застарілі асинхронні електродвигуни, які споживають на 20–30% більше енергії порівняно з сучасними аналогами. Крім того, через відсутність систем плавного пуску виникає пікове навантаження на мережу, що не лише призводить до втрат енергії, а й створює загрозу для чутливого обладнання [34].

Втрати значного обсягу фіксуються в системах подачі стисненого повітря. Через нещільності в трубопроводах, зношені з’єднання та недосконалу систему регулювання тиску витрачається до 25–30% виробленого повітря. Ситуація ускладнюється відсутністю автоматичного контролю за витоками та незбалансованою роботою компресорів, які часто працюють у неефективному режимі — або при надмірному навантаженні, або в холостому ході.

Ще одним джерелом енергетичних втрат є системи теплопостачання та вентиляції. У більшості будівель підприємства — особливо тих, що не модернізувалися протягом останніх десятиліть — спостерігаються значні втрати тепла через погану теплоізоляцію стін, вікон, покрівель та трубопроводів. Застарілі системи опалення не мають сучасних засобів регулювання температурного режиму, тому надлишкова теплова енергія втрачається без користі, особливо в міжсезоння. Часто енергетичні втрати пов’язані з недоліками в організації освітлення виробничих приміщень. Застарілі лампи розжарювання або люмінесцентні джерела світла мають низький коефіцієнт енергоефективності, а відсутність систем автоматичного регулювання яскравості та вимкнення в неробочий час лише поглиблює проблему. Деякі цехи залишаються освітленими цілодобово, навіть за умов обмеженої присутності персоналу. Окрему категорію становлять організаційні втрати, пов’язані з людським фактором — несвоєчасне вимкнення обладнання після завершення роботи, нераціональне планування виробничих змін, відсутність системи контролю енерговитрат за змінним або ділянковим принципом. Усі ці фактори, які здаються другорядними, у підсумку формують значну частку непродуктивного енергоспоживання [35].

Додатково варто зазначити, що у структурі втрат є й невраховані так звані «паразитні» навантаження — це комп’ютерна техніка, зарядні станції, системи відеонагляду, охоронні датчики, сервери, які працюють у режимі 24/7. Попри їхню відносно невелику потужність, загальний ефект накопичення енергоспоживання на рівні підприємства з великою інфраструктурою може бути відчутним, особливо у поєднанні з неенергоефективними блоками живлення. Ідентифіковані втрати енергії охоплюють як технічні компоненти (обладнання, мережі, освітлення), так і організаційні (режими роботи, планування, персонал), що вимагає інтегрованого підходу до підвищення енергоефективності. Їхнє усунення — не лише технічне завдання, а й управлінське рішення, яке має ґрунтуватися на системному моніторингу, аналізі даних та стратегічному плануванні.

Одним із менш очевидних, але дуже важливих напрямів втрат енергії на підприємстві є погано скоординоване енергетичне навантаження між ділянками, що призводить до внутрішньої енергетичної розбалансованості. Наприклад, якщо окремі енергоємні процеси запускаються без урахування загального графіка навантажень, виникають нерівномірні стрибки споживання, які не лише погіршують якість електроенергії, а й змушують трансформаторні підстанції працювати в режимах з підвищеним струмом, що прискорює їхній знос. Ще одним важливим джерелом втрат є високі холості витрати енергії, пов’язані з тим, що багато виробничого обладнання — від компресорів до насосів і термічних печей — продовжує працювати в режимі очікування або готовності без прямої участі у виробничому процесі. Наприклад, термічні печі можуть зберігати задану температуру протягом кількох годин між завантаженнями, що веде до безперервного нагріву повітря й конструкцій, хоча фактичне виробництво не відбувається.

Інколи втрати енергії відбуваються через невідповідність типу або потужності обладнання реальним виробничим потребам. Так, встановлення двигунів значно більшої потужності, ніж це потрібно для певної операції, може здаватися «про запас» доцільним, однак у реальності це призводить до перевитрати енергії, оскільки двигуни в частковому навантаженні працюють із нижчим ККД. Подібна ситуація виникає й у системах вентиляції, де потужні вентилятори працюють на 20–30% продуктивності, але споживають близьку до номінальної кількість електроенергії.

Втрати можуть накопичуватися і через неузгодженість технологічних процесів. Коли одна операція залежить від завершення іншої, але між ними виникає затримка, обладнання змушене підтримувати робочий стан без фактичної продуктивності. Наприклад, у складальному виробництві затримка постачання деталей викликає простої збиральної лінії, але конвеєрні двигуни, компресори та освітлення продовжують працювати без навантаження.

Також існує так званий вторинний рівень втрат, пов'язаний із якістю технічного обслуговування. Навіть незначні відхилення у регулюванні тиску в пневматичних системах, в’язкість мастил, засміченість фільтрів чи

розбалансованість рухомих частин спричиняють поступове зростання енергоспоживання. І хоча кожна з цих причин здається незначною, у сукупності вони дають відчутну втрату енергії в межах кількох відсотків на кожній дільниці. В окремих випадках джерелом втрат стає недостатньо обґрунтоване планування робочого часу, коли обладнання запускається завчасно або залишається активним у міжзмінний час. Наприклад, система вентиляції великого цеху може бути активована на повну потужність за годину до початку зміни, навіть якщо фактична присутність персоналу в цей час мінімальна. Схожа ситуація з освітленням, коли великі площі залишаються освітленими поза годинами інтенсивної роботи [36].

Ці втрати важко виявити без детального мікромоніторингу в реальному часі. Оскільки звичайні системи обліку фіксують лише підсумкові добові або місячні показники, такі деталі губляться у загальному обсязі. Саме тому одним із пріоритетних напрямів сучасної енергоефективності є впровадження «розумних» систем моніторингу, які дозволяють побачити споживання на рівні конкретного пристрою або технологічного кроку представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Ідентифіковані зони витрат енергії на промисловому підприємстві типу АТ «МОТОР СІЧ»

Зона/система	Тип втрат	Оцінка втрат (у % до споживання)	Причина виникнення	Пояснення та наслідки
1	2	3	4	5
Система освітлення	Надмірне споживання, нічний режим	12–15%	Відсутність автоматичного керування, старі лампи	Постійне споживання навіть у непрацюючих зонах цеху, низька енергоефективність джерел

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
Електродвигуни	Холостий хід, перенавантаження	8–10%	Відсутність частотного регулювання	Перевитрата електроенергії через роботу в неефективних режимах
Компресорна станція	Витоки повітря, непотрібна робота	до 25%	Наявність мікровитоків,нерегульований графік роботи	Значні втрати в мережі стисненого повітря, висока вартість втрат
Система теплопостачання	Втрати в ізоляції трубопроводів	10–20%	Зношеність утеплення, довгі магістралі без контролю	Постійне відведення тепла в навколишнє середовище, особливо взимку
Електрична мережа (внутрішня)	Активні та реактивні втрати	3–5%	Ненастроєні мережі, несиметрія фаз	Перевантаження трансформаторів, зниження якості живлення обладнання
Вентиляційні системи	Надмірне або неадекватне використання	5–7%	Відсутність регулювання потоку, робота у вихідні	Робота систем при мінімальній потребі, що призводить до зайвого споживання електроенергії

Ідентифікація основних втрат енергії на промисловому підприємстві передбачає не лише вимірювання прямих технічних втрат у електромережах чи теплотрасах, а й виявлення так званих «прихованих втрат» — втрат, які не фіксуються лічильниками, проте суттєво впливають на загальний енергобаланс. Це можуть бути, наприклад, втрати через неузгоджені режими роботи технологічного обладнання, коли машини працюють на холостому ходу або з надлишковою потужністю без реальної потреби. Такі ситуації виникають у разі відсутності або неправильного налаштування систем управління навантаженням. Великі втрати енергії можуть бути спричинені поганим станом ізоляції — як у електричних кабелях, так і у паро- та теплопроводах. Навіть незначні пошкодження чи зношення матеріалів призводять до постійного «витоку» енергії, що в масштабах підприємства перетворюється на десятки тисяч гривень щомісяця. Часто ці втрати неможливо виявити без спеціалізованих обстежень, таких як термографічне сканування або моніторинг гармонік у мережі [37].

Розрахунок втрат енергії в електричних мережах підприємства, який підходить до теми *«Ідентифікація основних втрат енергії»*. Такий розрахунок можна використати для обґрунтування необхідності модернізації електропостачання на ділянках типу цехів АТ «МОТОР СІЧ».

Розрахунок втрат енергії в електричній мережі (лінійні втрати):

***Вихідні дані*:**

- Довжина кабельної лінії: L = 120м
- Сила струму: I = 150А
- Опір кабелю: R = 0.00012Ω/м
- Кількість годин роботи на добу: t=18год
- Кількість днів на рік: D = 260

Формула для розрахунку втрат потужності:

$$P_{втрат} = I^2 \cdot R \cdot L = 150^2 \cdot 0.00012 \cdot 120 = 324 \text{ Вт}$$

Річні втрати енергії:

$$E_{втрат} = P_{втрат} \cdot t \cdot D = 324 \cdot 18 \cdot 260 = 1516320 \text{ Вт\год} = 1516.32 \text{ кВт\год}$$

Грошові втрати при тарифі 4.2 грн/кВт · год:

$$\text{Втрати (грн)} = 1516.32 \cdot 4.2 = 6368.5 \text{ грн/рік}$$

Навіть незначні лінійні втрати на одному кабелі дають помітний річний обсяг енергетичних і фінансових втрат. Якщо таких ділянок десятки, втрати накопичуються до сотень тисяч гривень. Це створює техніко-економічне обґрунтування для заміни кабелів, впровадження силових шинопроводів або оптимізації траєкторії живлення обладнання/ Іще одним джерелом енергетичних втрат є некероване освітлення — коли в цехах працює освітлення навіть у нічний час або у зонах, де перебування персоналу обмежене. Встановлення системи автоматичного вимкнення освітлення з датчиками присутності може знизити витрати на 15–20%, але без ретельного зонування та аналізу світлового навантаження ці рішення залишаються неефективними. Слід враховувати втрати в системах стисненого повітря — компресори часто працюють без потреби або мають витоки в мережі, які залишаються невидимими без акустичної діагностики. Подібні витоки можуть досягати до 30% від загального обсягу виробленого стисненого повітря. Усе це вимагає створення системи інтегрованої ідентифікації втрат, яка базується на поєднанні візуального технічного аудиту, цифрового моніторингу, аналітики споживання за об'єктами та динамічного порівняння з базовими еталонами [38].

2.4 Оцінка рівня енергоефективності

Оцінка рівня енергоефективності на промисловому підприємстві є критично важливою для розуміння поточного стану використання енергоресурсів та формування обґрунтованих рекомендацій щодо його покращення. Для цього використовуються як загальновідомі кількісні

показники, так і аналітичні інструменти, що враховують специфіку технологічних процесів, структуру енергоспоживання та технічний стан обладнання.

Найбільш поширеним індикатором, який дозволяє провести базову оцінку енергоефективності, є питоме енергоспоживання — тобто обсяг витраченої енергії на одиницю готової продукції. На прикладі Лозівського ковальсько-механічного заводу це може бути кількість кВт·год або ГДж на одну поковку, вузол трансмісії чи іншу одиницю виробу. Якщо аналіз показує перевищення середньогалузевих нормативів, це свідчить про наявність втрат і потенціал для підвищення ефективності. Іншим важливим критерієм є коефіцієнт корисного використання енергії (ККЕ), який визначається як відношення корисно використаної енергії до загального обсягу спожитих енергоресурсів. У багатьох випадках цей показник на механічних заводах не перевищує 60–65%, що означає втрати в межах третини енергії — головним чином через теплові викиди, неефективне освітлення, нераціональну роботу обладнання, компресорів і втрати у мережах.

Додатково використовується індикатор енергетичної інтенсивності — співвідношення загального енергоспоживання до обсягу валової продукції (наприклад, у гривнях або тоннах). Зниження цього показника є свідченням успішної реалізації енергозберігаючих заходів або модернізації технологічного парку.

На ЛКМЗ, за попередніми оцінками, найбільш енергоємними є ковальське виробництво та термічна обробка, де питоме енергоспоживання часто перевищує раціональні межі, прийняті в галузі. Причини полягають не лише у фізичному зношенні обладнання, а й у неузгодженості технологічних режимів, відсутності обліку на рівні окремих технологічних етапів, а також у надмірному навантаженні на допоміжні системи — вентиляцію, освітлення, транспортування. Ще один напрям оцінки — якість системи управління енергоспоживанням. Якщо на підприємстві відсутня система енергетичного менеджменту (наприклад, за стандартом ISO 50001), це означає, що немає механізмів постійного моніторингу, порівняння, оптимізації споживання.

Відповідно, ефективність рішень носить ситуативний характер і не забезпечує стабільного довгострокового покращення.

У межах проведеного аналізу можна констатувати, що рівень енергоефективності підприємства є середнім за галузевими мірками, проте має суттєвий потенціал для зростання. За рахунок заміни зношеного обладнання, впровадження сучасних засобів обліку та диспетчеризації, оптимізації роботи систем опалення та стисненого повітря, підприємство може скоротити витрати енергії на 15–25%, з відповідним економічним ефектом. Оцінка рівня енергоефективності дозволяє не лише зафіксувати поточний стан, а й виявити структурні вузли, в яких доцільно впроваджувати зміни. У сукупності з результатами енергетичного аудиту ці дані формують підґрунтя для розробки програми підвищення енергоефективності, адаптованої до специфіки виробництва конкретного підприємства.

Додатковим критичним елементом оцінки рівня енергоефективності підприємства є динаміка зміни показників споживання в часі. Простий знімок стану на певну дату або період не дозволяє виявити тенденцій, які свідчать про зростаючу неефективність, наприклад поступове зниження продуктивності обладнання або зростання втрат у системах подачі енергії. Важливо аналізувати не лише абсолютні показники, а й темпи зміни питомих витрат, з урахуванням сезонного або річного циклу роботи підприємства. Такий аналіз дає змогу виявити, які підрозділи або технології з часом погіршують свою енергетичну результативність і потребують термінового втручання. Ще один аспект, який часто випускають з уваги під час оцінки енергоефективності, — це взаємозв’язок між енергоспоживанням і якістю продукції. Існують ситуації, коли спроба зменшити витрати енергії без урахування технологічної чутливості процесу призводить до зниження якості або браку. У такому разі номінальне зменшення енергоспоживання не відповідає фактичній енерговіддачі, адже частина продукції не придатна до реалізації. Тому справжній рівень енергоефективності повинен враховувати не лише витрати на одиницю продукції, а й відсоток виходу придатної продукції, що відповідає стандартам.

У ряді випадків низький рівень енергоефективності не можна пояснити суто технічними факторами, а слід шукати першопричини в відсутності адаптивного управління навантаженнями. Наприклад, підприємство може працювати на пікових тарифах, не регулюючи початок робочої зміни або запуск важких агрегатів у періоди мінімального навантаження на енергосистему. Це створює ефект «перевантаження» на фоні того, що в інші періоди енергосистема фактично недовантажена. Рішенням таких проблем є інтеграція графіків навантаження в загальну систему виробничого планування.

Також варто враховувати вплив рівня автоматизації виробничих процесів на енергоефективність. Високий рівень ручної праці, особливо у циклічних процесах, не дозволяє точно синхронізувати енергетичне споживання з виробничою потребою. Наприклад, ручне регулювання печей, компресорів чи насосів майже завжди менш ефективне, ніж автоматизоване — оскільки людський фактор не дозволяє точно оцінити момент оптимального споживання. Усі ці втрати часто не фіксуються при формальній оцінці енергетичних показників, але мають вагоме значення при стратегічному плануванні. Інституційний рівень управління також впливає на реальний рівень енергоефективності. Наприклад, якщо на підприємстві не виділено відповідального фахівця за енергетичну політику або не створено підрозділу енергоменеджменту, то навіть наявність технічного потенціалу для енергозбереження не реалізується в повній мірі. Часто саме організаційна бездіяльність або відсутність культури енергетичного аналізу стають бар’єрами для підвищення енергоефективності.

З огляду на це, оцінка рівня енергоефективності має носити багатовимірний характер. Вона не повинна обмежуватися лише аналізом чисел — вона має враховувати контекст прийняття рішень, гнучкість систем, можливість реакції на зміну навантаження, чутливість до вартості енергоносіїв та здатність підприємства інтегрувати інновації. Саме такий підхід формує реалістичну картину енергетичної результативності й дозволяє будувати ефективну стратегію розвитку.

Приклад розрахунку рівня енергоефективності для промислового підприємства (зокрема, механічного заводу) з використанням стандартних інженерних формул. Цей розрахунок допоможе оцінити поточний стан та ефект від можливих заходів енергозбереження:

1. Розрахунок питомого енергоспоживання

Питоме енергоспоживання — це кількість спожитої енергії на одиницю виготовленої продукції:

$$E_{пит} = \frac{E_{заг}}{Q}$$

де:

- $E_{пит}$ — питоме енергоспоживання, кВт·год/од. продукції
- $E_{заг}$ — загальне споживання електроенергії за період, кВт·год
- Q — кількість виготовленої продукції, од.

Приклад:

Якщо за місяць завод спожив 250 000 кВт·год електроенергії і виготовив 5 000 поковок, тоді:

$$E_{пит} = \frac{250000}{5000} = 50 \text{ кВт/ год/поковка}$$

2. Коефіцієнт корисного використання енергії (ККЕ)

ККЕ визначає частку енергії, що безпосередньо витрачена на виробництво, до загального споживання:

$$\eta = \frac{E_{корисна}}{E_{заг}} \times 100\%$$

де:

- η — ККЕ, %
- $E_{корисна}$ — обсяг енергії, фактично витраченої на технологічні процеси

- $E_{заг}$ — загальне енергоспоживання

Приклад:

Якщо з 250 000 кВт·год лише 190 000 кВт·год витрачено на корисну роботу (решта — втрати у мережах, освітлення, вентиляція тощо):

$$\eta = \frac{190000}{250000} \times 100\% = 76\%$$

3. Оцінка потенціалу енергозбереження

Потенціал енергозбереження визначається як різниця між поточним споживанням і прогнозованим після впровадження заходів:

$$\Delta E = E_{поточне} - E_{оптимізоване}$$

Приклад:

Якщо впровадження частотних перетворювачів, LED-освітлення та терморегуляції дозволяє знизити витрати до 200 000 кВт·год:

$$\Delta E = 250000 – 200000 = 50000 \text{ кВт\год}$$

Економія у грошовому вираженні:

$$\Delta C = \Delta E \times T$$

де T — тариф на електроенергію, грн/кВт·год (наприклад, 4 грн/кВт·год):

$$\Delta C = 50000 \times 4 = 200000 \text{ грн/міс}$$

4. Розрахунок терміну окупності енергозберігаючих заходів

$$T_{окупн} = \frac{Cінв}{\Delta C}$$

де:

- $C_{інв}$ — інвестиції у модернізацію, грн
- ΔC — щомісячна економія, грн

Приклад:

Якщо інвестиції становлять 800 000 грн:

$$T_{окупн} = \frac{800000}{200000} = 4 \text{ міс}$$

Графік, який наочно показує зниження енергоспоживання підприємства після впровадження заходів з енергомодернізації (рис.2.1).

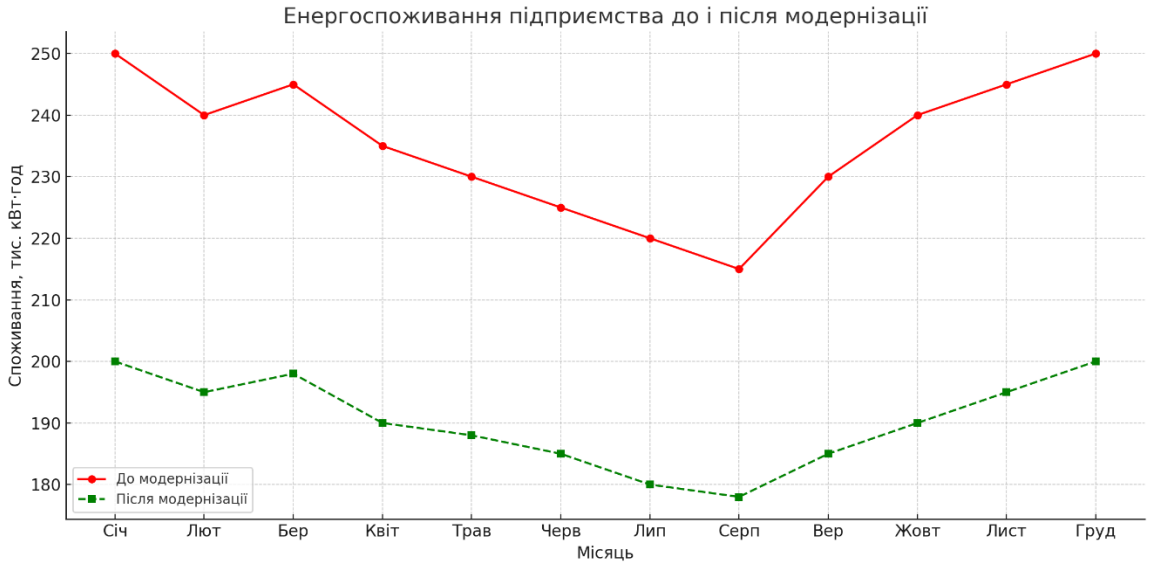


Рисунок 2.1 - Зниження енергоспоживання підприємства після впровадження заходів з енергомодернізації

3 ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

3.1 Технічні рішення щодо зниження втрат енергії

Підвищення енергоефективності на промислових підприємствах передбачає цілеспрямовану трансформацію всіх енергоспоживаючих процесів із метою зниження витрат на енергію без погіршення якості продукції чи продуктивності. Для механічного заводу, де значна частина енергії витрачається на роботу верстатів, компресорних станцій, освітлення та вентиляцію, першочерговими стають техніко-організаційні та інженерні заходи, які дозволяють не лише зменшити споживання, а й підвищити стабільність систем енергозабезпечення. Одним із базових кроків є модернізація обладнання з низьким ККД. Старі електродвигуни, які досі працюють на заводах, мають значні втрати внаслідок теплових, індукційних і магнітних процесів. Їх заміна на двигуни класу IE3 або IE4 дозволяє зменшити енергоспоживання на 15–25% залежно від умов експлуатації. Досягнення найкращих результатів можливе при одночасному впровадженні частотного регулювання швидкості обертання — це дозволяє адаптувати навантаження до реальних потреб у технологічному циклі.

Ще одним важливим напрямом є оптимізація роботи систем стисненого повітря. Компресорні установки споживають одну з найбільших часток електроенергії на механічному заводі, і водночас часто мають втрати через витоки у трубопроводах, недостатній контроль тиску та відсутність енергетичного аудиту. Впровадження сучасних систем управління компресорами, а також регулярний аудит на витоки дозволяють скоротити витрати на 20–30%. Особливу увагу слід приділяти ізоляції повітропроводів та зменшенню довжини магістралей.

Світлотехнічна модернізація також належить до простих і ефективних заходів. Заміна ламп розжарювання або люмінесцентних світильників на світлодіодні аналоги, оснащені датчиками руху та освітленості, дозволяє зменшити споживання електроенергії системами освітлення на 50–70%. Така модернізація потребує одноразових вкладень, проте швидко окупається за рахунок економії. На системному рівні варто впроваджувати енергетичний

моніторинг та диспетчеризацію, які забезпечують оперативний контроль за всіма точками споживання енергії. Це дозволяє не лише своєчасно виявляти аномалії або збої, а й формувати культуру відповідального ставлення до енергоспоживання серед персоналу. В подальшому підприємство може перейти до розробки власної енергетичної політики згідно з вимогами ISO 50001. Додатково важливою є теплова модернізація приміщень і технологічних процесів: утеплення виробничих цехів, встановлення теплообмінників, рекуператорів повітря, автоматичне регулювання температурного режиму. Наприклад, утилізація теплоти відхідних газів з печей може слугувати джерелом тепла для опалення приміщень або підігріву води. Це особливо актуально в осінньо-зимовий період. Інноваційним напрямом є використання вторинної енергії та перехід до відновлюваних джерел — наприклад, встановлення сонячних панелей для живлення адміністративно-побутових корпусів або гібридних систем, що поєднують електроенергію з тепловою генерацією.

Комплексне впровадження описаних заходів не лише дозволяє суттєво скоротити витрати, а й формує конкурентну перевагу підприємства за рахунок зменшення собівартості продукції та покращення екологічного іміджу. У довгостроковій перспективі це є основою стійкого розвитку та можливості інтеграції в міжнародні ланцюги постачання.

Щоб поглибити розгляд теми підвищення енергоефективності, варто враховувати не лише технічні аспекти, але й управлінські та поведінкові фактори, що безпосередньо впливають на результат. Часто ключовим бар'єром є саме відсутність системного підходу до енергоменеджменту, коли рішення ухвалюються фрагментарно, без глибокого аналізу та врахування довгострокових наслідків. Ефективна програма зниження енерговитрат передбачає постійний аудит, моніторинг змін у споживанні та відповідну реакцію на виявлені аномалії, що дозволяє зменшити втрати ще до того, як вони перетворюються на стабільні перевитрати.

Окрему увагу необхідно приділяти культурі споживання енергії серед персоналу. Працівники, які розуміють значення енергоефективності, більш схильні виконувати технологічні операції без надлишкового навантаження на

обладнання, своєчасно повідомляти про збої або енергетичні втрати. Для цього потрібні не лише інструктажі, а й створення умов, в яких працівник мотивований енергозбереженням — через систему заохочень або навіть внутрішніх рейтингів енергоефективності підрозділів. Також варто зважати на вторинний ефект від енергозберігаючих заходів. Наприклад, зниження споживання електроенергії може зменшити навантаження на внутрішні мережі, продовжити строк служби трансформаторного обладнання або стабілізувати параметри електроживлення, що, у свою чергу, впливає на точність та якість роботи верстатів. В окремих випадках це навіть призводить до зменшення витрат на технічне обслуговування. На глобальному рівні підприємства, які впроваджують принципи енергоефективності, стають більш привабливими для міжнародних партнерів та інвесторів. Це відкриває можливість участі в «зелених» програмах фінансування або проєктах міжнародної технічної допомоги. У свою чергу, це дозволяє не лише впровадити додаткові рішення без значного навантаження на бюджет, а й позиціонувати підприємство як технологічного лідера регіону.

Заходи з підвищення енергоефективності мають бути інтегровані в загальну стратегію розвитку заводу, і розглядати енергоефективність виключно як тимчасову або допоміжну ініціативу — стратегічна помилка. Розумне управління енергією стає ключовим елементом конкурентоспроможності на ринку, де ресурси постійно зростають у ціні, а екологічна відповідальність все більше впливає на бізнес-репутацію, що представлено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Заходи з підвищення енергоефективності

Напрям заходу	Суть заходу	Очікуваний ефект
1	2	3
Оптимізація внутрішньої логістики	Перегляд маршрутів переміщення матеріалів для зменшення споживання енергії транспортом.	Зниження непродуктивного енергоспоживання.
Поведінкова енергоекономія	Формування культури енергозбереження серед працівників.	Стійке зменшення споживання без капіталовкладень.

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
Інтелектуальне управління (SCADA)	Автоматизований контроль, управління та аналіз енергоспоживання.	Оптимізація навантаження і робочого часу обладнання.
Енергетична паспортизація	Документування фактичного стану енергоспоживання та втрат.	Обґрунтоване планування інвестицій в енергоефективність.
Теплоізоляція будівель	Покращення ізоляції огороджувальних конструкцій.	Зниження втрат тепла і витрат на опалення.
Системи рекуперації тепла	Повторне використання тепла від вентиляції або технологічних процесів.	Підвищення ККД використання теплової енергії.

Для підприємства на кшталт «МОТОР СІЧ», яке має складну інженерну інфраструктуру та багаторівневу енергосистему, заходи з підвищення енергоефективності можуть охоплювати не лише технічні модернізації, а й оптимізацію самих виробничих процесів. Наприклад, ретельне вивчення логістичних маршрутів транспортування матеріалів усередині цехів дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати енергії, пов'язані з переміщенням. Значну увагу слід приділити зміні культури енергоспоживання серед персоналу. Поведінкові заходи, такі як автоматичне вимкнення обладнання у неробочий час або переналаштування режимів роботи вентиляційних систем, часто не вимагають великих інвестицій, проте забезпечують відчутну довгострокову економію. Ще одним перспективним напрямом є застосування енергоефективних алгоритмів управління обладнанням через інтелектуальні системи SCADA, які здатні не лише реагувати на зміни в режимах, але й прогнозувати навантаження для рівномірного розподілу енергоспоживання. Такий підхід дозволяє уникати пікових навантажень, що особливо актуально для

зниження плати за енергію в умовах диференційованих тарифів. Крім того, на рівні підприємства варто впровадити глибоку енергетичну паспортизацію, яка надасть змогу не лише аналізувати поточні втрати, а й планувати модернізації з максимальною точністю.

У межах загальної стратегії підвищення енергоефективності особливе місце займає також реновація будівель і огороджувальних конструкцій. Теплоізоляція цехів, оновлення вікон і воріт з автоматизованими приводами, інтеграція систем рекуперації тепла від вентиляції – усе це створює умови для істотного зменшення витрат на опалення та кондиціонування без порушення технологічних вимог. Нарешті, великі підприємства можуть розглядати можливість участі в системах торгівлі викидами парникових газів, що стимулює ще більш ефективне використання енергетичних ресурсів.

Технічні рішення щодо зниження втрат енергії

Описуючи технічні рішення щодо зниження втрат енергії на прикладі механічного заводу, важливо враховувати не лише характер енергоспоживання, а й структуру технологічного процесу, стан основного обладнання та доступність сучасних енергозберігаючих технологій. Суттєві втрати енергії на підприємствах подібного типу зазвичай зумовлені застарілими електродвигунами, неефективною системою стисненого повітря, неконтрольованими тепловими втратами в системах опалення та вентиляції, а також нераціональним освітленням. Для зменшення цих втрат необхідно впроваджувати технічні заходи, що дозволяють або усунути джерело втрат, або оптимізувати його функціонування.

Першочерговим рішенням є впровадження автоматизованих систем управління електродвигунами з частотними перетворювачами. Це дозволяє змінювати швидкість обертання відповідно до реального навантаження, уникаючи роботи в номінальному режимі, що є енергетично невигідним. Для насосного та вентиляційного обладнання такий підхід може зменшити споживання електроенергії на 30–40%. Паралельно з цим актуальною є модернізація самих електродвигунів на енергоефективні моделі класу IE3–IE4, що значно знижує втрати внаслідок нагріву обмоток, тертя і вихрових струмів.

Ще одним технічним напрямом є реконструкція системи стисненого повітря: заміна поршневих компресорів на гвинтові з високим ККД, встановлення осушувачів і фільтрів, що знижують навантаження на основне обладнання, а також впровадження витратомірів і датчиків тиску в режимі реального часу. Це дає змогу ефективно управляти тиском у системі, уникати роботи в зонах перевищення і виявляти витоки, які часто становлять до 20% від загального виробленого об’єму. Для зниження теплових втрат доцільно застосовувати теплоізоляцію трубопроводів, котлів та технологічного обладнання, а також використовувати рекуператори — пристрої, які дозволяють повертати частину теплової енергії з витяжного повітря або вихлопних газів назад у процес. Це особливо ефективно в системах вентиляції виробничих цехів, де значна частка тепла втрачається разом з відпрацьованим повітрям. Впровадження таких систем дозволяє знизити витрати на опалення до 25–30%.

Також варто впроваджувати автоматизовані системи диспетчерського контролю та управління (SCADA), які забезпечують повний моніторинг енергоспоживання в режимі реального часу. Завдяки аналітиці та побудові трендів споживання стає можливим своєчасно виявляти неефективні процеси та реагувати до того, як втрати набудуть системного характеру. Наприклад, виявлення пікових навантажень у неробочий час дозволяє оптимізувати графік запуску обладнання або ввести обмеження для допоміжних систем.

Розглядаючи освітлення, доцільно застосовувати не лише LED-світильники, а й інтелектуальні системи керування освітленням, які базуються на сенсорах присутності, руху та освітленості. Це дозволяє створити зональне освітлення, що вмикається лише тоді, коли це дійсно необхідно. Для адміністративних та складських приміщень таке рішення може знизити витрати до 70% (рис. 3.1).

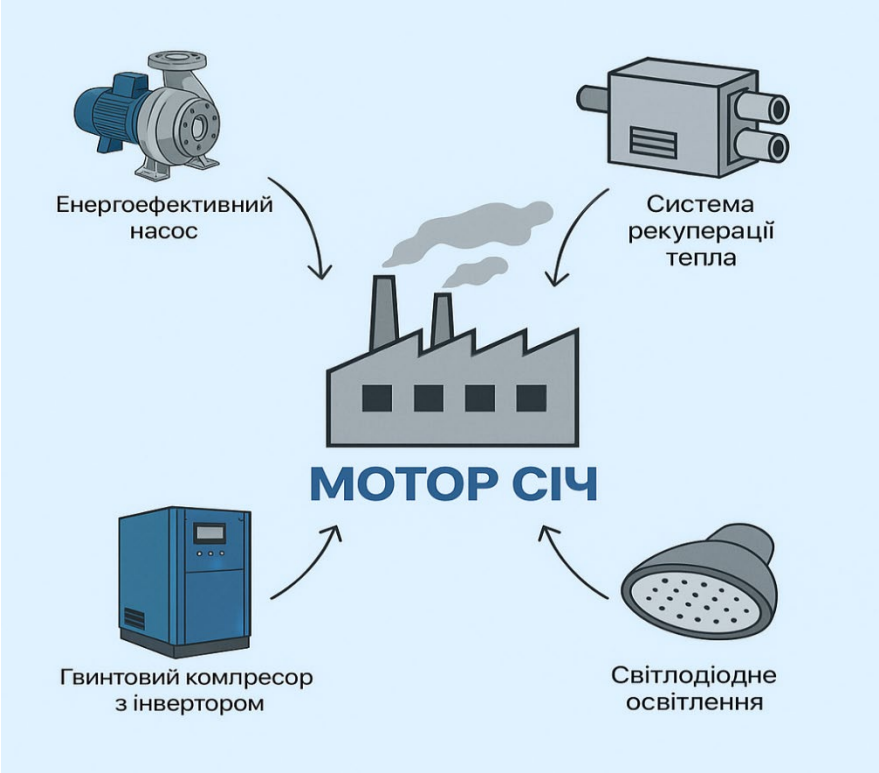


Рисунок 3.1 - Технічна схема енергомодернізації для підприємства «МОТОР СІЧ»

В умовах подорожчання електроенергії підприємства також переходять до використання локальних джерел енергії, таких як сонячні панелі чи когенераційні установки. Особливо ефективною є когенерація, коли одночасно виробляється і електрична, і теплова енергія — це дозволяє підвищити загальний ККД установки до 85–90%. Підприємства з високими потребами в гарячій воді або парі (напр., для термічної обробки металів) можуть особливо виграти від такого підходу. Реалізація комплексу технічних заходів повинна розглядатись не як разове оновлення окремих систем, а як стратегічний напрямок модернізації підприємства. Підвищення енергоефективності — це інвестиція, яка повертається завдяки економії ресурсів, продовженню строку служби обладнання, зменшенню кількості аварій та збоїв, а також покращенню загальної екологічної ситуації на підприємстві.

Сучасні цифрові інструменти дозволяють не лише вимірювати енергоспоживання в режимі реального часу, а й передбачати майбутні пікові навантаження за допомогою алгоритмів машинного навчання. Це створює передумови для впровадження адаптивних систем енергоспоживання, які

змінюють режим роботи обладнання залежно від прогнозу виробничої активності або тарифних обмежень. В результаті формується нова парадигма управління енергією, де підприємство не просто реагує на споживання, а активно управляє ним як повноцінним ресурсом. Одним з менш очевидних, але дуже ефективних напрямів є технічна оптимізація логістичних процесів на території самого заводу. Наприклад, скорочення простоїв навантажувальної техніки або впровадження енергоефективних маршрутів доставки матеріалів усередині підприємства може мати відчутний вплив на сумарне споживання дизельного пального чи електроенергії. У таких випадках сенсорне обладнання та програмні рішення на кшталт систем RTLS (Real-Time Location Systems) дозволяють створити динамічні карти енерговитрат і виявити «гарячі зони» неефективності. Застосування технологій пасивного охолодження, регульованого сонцезахисту та вентиляції із змінним повітрообміном дозволяє мінімізувати витрати на кондиціювання, які зазвичай зростають у літній період. Часто ці втрати ігноруються, проте у цехах із великою площею і висотою стель витрати на підтримання температурного режиму можуть бути зіставні з витратами на основне технологічне обладнання. Технічні рішення тут передбачають створення зонального керування вентиляцією з урахуванням присутності людей, теплоутилізації та локального підігріву або охолодження в конкретних робочих зонах представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Порівняння втрат енергії до та після впровадження технічних рішень з розрахунком економії

Технічне рішення	Втрати до (тис. кВт·год/рік)	Втрати після (тис. кВт·год/рік)	Економія (тис. кВт·год/рік)	Фінансова економія (грн/рік)
1	2	3	4	5
Модернізація освітлення	500	150	350	1 750 000

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Когенерація (ТЕК-3)	20 000	6 000	4 000	70 000 000
АСОЕ (автоматизація обліку)	3 000	1 800	1 200	6 000 000
Модернізація компресорного обладнання	8 000	5 000	3 000	15 000 000
Заміна електродвигунів	7 000	4 200	2 800	14 000 000

Окрему увагу варто приділити втратам, пов’язаним із неефективною трансформацією напруги в електричних мережах. Часто заводи мають старі трансформаторні підстанції, які працюють із надлишковими втратами холостого ходу. Модернізація силових трансформаторів із застосуванням феритового або аморфного сердечника дозволяє знизити ці втрати на десятки відсотків, що особливо актуально в умовах високої вартості електроенергії. Також варто враховувати потенціал утилізації відпрацьованого тепла від технологічного обладнання. Наприклад, в металообробці або термообробці металів генерується велика кількість тепла, яке може бути використане для підігріву технічної води або повітря в сусідніх цехах. Установки типу ORC (Organic Rankine Cycle) дозволяють навіть перетворювати це тепло у додаткову електроенергію, що є особливо вигідним для підприємств, які працюють у кілька змін і мають стабільне тепловиділення.

Застосування цих рішень дозволяє говорити про повноцінну трансформацію енергетичної моделі заводу — від пасивного споживання до активного енергоуправління, коли підприємство не лише мінімізує витрати, а й може у перспективі частково забезпечувати себе енергією самостійно або навіть продавати надлишки у мережу.

Один із малодосліджених, але надзвичайно перспективних напрямків зниження втрат енергії — це використання систем прогнозування навантажень та обліку енергії в реальному часі. Завдяки інтеграції аналітики на основі штучного інтелекту можливо не лише виявляти неефективності, а й передбачати збої, пікові навантаження або надмірне споживання ще до їх виникнення. Такі рішення дозволяють коригувати роботу обладнання та інженерних мереж у динаміці, забезпечуючи оптимальне енергоспоживання в реальному часі. Варто також розглянути використання мікрогенерації та децентралізованих джерел енергії. Наприклад, встановлення когенераційних установок на підприємстві дозволяє одночасно виробляти електроенергію та тепло з високим коефіцієнтом корисної дії, що суттєво знижує загальні втрати при централізованому енергопостачанні. Це стає особливо актуальним для таких енергоємних підприємств, як «Мотор Січ», де великі обсяги теплової енергії використовуються для технічних потреб.

Ще одним новітнім напрямом є впровадження технологій фазового зміщення в електромережах підприємства. Це дозволяє мінімізувати реактивну потужність і, як наслідок, скоротити втрати в мережах, зменшуючи навантаження на трансформатори та покращуючи якість електроенергії. Такі рішення уже використовуються на передових заводах у ЄС і демонструють високу рентабельність.

Ці підходи особливо ефективні в умовах комплексного енергоменеджменту та можуть бути інтегровані в технічну стратегію енергоефективності на рівні підприємства.

3.2 Модернізація обладнання

Модернізація обладнання на механічному заводі є стратегічно важливим етапом у підвищенні енергоефективності та загальної конкурентоспроможності підприємства. Основна ідея полягає не лише в заміні застарілих агрегатів на нові, а в повному перегляді функціонального навантаження, рівня автоматизації та

відповідності сучасним технологічним стандартам. Особливої уваги потребує технологічне обладнання з тривалим життєвим циклом, яке в процесі експлуатації стало джерелом постійних перевитрат енергії через втрати на тертя, нагрів, нерівномірне навантаження або низький ККД приводів.

Сучасні підходи до модернізації передбачають застосування так званої концепції "розумного обладнання" (smart machines), яке не лише виконує механічні функції, а й здатне збирати, передавати і аналізувати дані про свій стан. Наприклад, оновлення верстатного парку за допомогою обладнання з ЧПУ дозволяє не лише підвищити точність обробки, але й зменшити тривалість операцій, скоротити час простоїв і знизити загальне енергоспоживання на одиницю продукції. Крім того, такі верстати краще інтегруються в автоматизовані виробничі лінії, що підвищує загальну ефективність у масштабі цеху. Важливим напрямом модернізації є також переоснащення допоміжних систем, зокрема системи стисненого повітря, гідравліки, вентиляції, підіймально-транспортного обладнання. Наприклад, заміна компресорів на варіанти з частотним регулюванням дозволяє зменшити споживання електроенергії на 25–30%, а автоматизовані системи управління вентиляторними установками дають змогу точніше регулювати подачу повітря відповідно до реальних потреб, уникаючи перевитрат. Одним із найефективніших рішень є застосування обладнання з енергетично оптимізованими приводами, наприклад, синхронними двигунами з постійними магнітами, які мають вищу ефективність порівняно з асинхронними аналогами, особливо в умовах змінного навантаження. Також важливо модернізувати системи приводу на обладнанні, яке виконує циклічні або перемінні операції — у таких випадках економія енергії може досягати 40%.

У процесі модернізації необхідно враховувати не лише енергетичні показники, а й технологічну адаптивність обладнання до вимог ринку — можливість переналаштування на нові типи продукції, інтеграцію в цифрові виробничі системи, використання з різними типами матеріалів тощо. Це дозволяє зробити модернізацію не просто енергозберігаючою, а й стратегічно виправданою в контексті довгострокового розвитку. Важливо, що модернізація

обладнання — це не завжди повна заміна. Часто ефективніше провести часткову реконструкцію: заміну приводів, інтеграцію нових систем управління, модернізацію пневматичних або гідравлічних компонентів. Такий підхід є менш витратним, але дозволяє досягти суттєвого покращення показників енергоефективності, швидкості та надійності роботи.

Приклад техніко-економічного обґрунтування модернізації обладнання на механічному заводі з розрахунком терміну окупності:

1. Заміна насосного агрегату

- Поточне обладнання: Насос типу GDB 2.07
- Пропоноване обладнання: Насосний агрегат Panelli 230SX 200/06 з двигуном та шафою керування AQUA STAR Grand 1-3-110,0-1C0A
- Вартість модернізації: 1 712 761,44 грн (без ПДВ)
- Економія електроенергії: 192,37 тис. кВт·год/рік
- Вартість 1 кВт·год: 2,31 грн
- Річна економія коштів: 444 384,7 грн
- Термін окупності: 3,86 роки або 46 місяців

2. Модернізація системи стисненого повітря

- Поточне обладнання: Поршневий компресор
- Пропоноване обладнання: Гвинтовий компресор з частотним регулюванням
- Вартість модернізації: 500 000 грн
- Економія електроенергії: 50 000 кВт·год/рік
- Вартість 1 кВт·год: 2,31 грн
- Річна економія коштів: 115 500 грн
- Термін окупності: 4,33 роки або 52 місяці

3. Впровадження системи рекуперації тепла

- Поточне обладнання: Відсутнє
- Пропоноване обладнання: Система рекуперації тепла з вентиляції
- Вартість модернізації: 300 000 грн

- Економія теплової енергії: 30 000 кВт·год/рік
- Вартість 1 кВт·год тепла: 1,5 грн
- Річна економія коштів: 45 000 грн
- Термін окупності: 6,67 років або 80 місяців

Ці приклади демонструють, як модернізація обладнання може призвести до значної економії енергії та коштів. Впровадження сучасних технологій не лише знижує витрати, але й підвищує ефективність виробництва.

Часто недооціненим аспектом модернізації обладнання є оновлення систем приводу, зокрема заміна традиційних асинхронних двигунів з постійною швидкістю на енергоефективні приводи з частотним регулюванням (VFD). Це дозволяє змінювати швидкість роботи обладнання залежно від реального навантаження, що особливо актуально для насосів, вентиляторів, компресорів — тобто тих агрегатів, які споживають значну частину електроенергії на заводі.

Ще один напрям модернізації — перехід на інтелектуальні системи охолодження та кондиціювання, які автоматично адаптуються до змін внутрішніх і зовнішніх умов, значно зменшуючи витрати енергії. У старих виробничих корпусах часто використовуються системи охолодження, що працюють у постійному режимі, не враховуючи температурні коливання чи реальну потребу в охолодженні, тоді як сучасні системи дозволяють зменшити споживання на 30–40%. Не менш важливим є впровадження енергоефективних технологій у сфері зварювання та термообробки. Наприклад, заміна традиційних печей на індукційні або інфрачервоні дозволяє значно знизити втрати тепла, підвищити точність нагріву та скоротити час обробки деталей. Особливо це актуально для підприємств типу «Мотор Січ», де подібне обладнання використовується щодня.

Окрему увагу варто приділити питанням автоматизованого енергомоніторингу модернізованого обладнання. Навіть найефективніші машини не досягнуть очікуваної економії без належного контролю. Тому паралельно з фізичною модернізацією важливо впроваджувати системи збору,

аналізу й передачі даних. Тому наводимо можливі способи модернізації, які представлено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Модернізація обладнання

Назва обладнання/системи	Існуючий стан	Модернізоване рішення	Очікуваний ефект	Коментар
1	2	3	4	5
Електродвигуни верстатного парку	Асинхронні двигуни без регулювання	Частотні приводи + ПЛК	Зменшення споживання на 25–30%	Оптимізація навантаження, плавний пуск, зниження пікових струмів
Термічні печі	Газові або електричні печі з ручним керуванням	Індукційні нагрівальні установки з датчиками температури	Точніший контроль, зменшення тепловтрат	Вища якість продукції, зменшення витрат на нагрівання

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Компресорне обладнання	Поршневі компресори без регулювання	Гвинтові компресори з інверторами та контролем витоків	До 35% економії електроенергії	Зниження втрат повітря, стабілізація тиску
Освітлення цехів	Люмінесцентні лампи	LED-світильники з датчиками руху та денного світла	Економія до 60% на освітленні	Автоматичне керування освітленням, тривалість служби понад 10 років
Насоси систем охолодження	Старі центробіжні насоси	Насоси з частотним регулюванням	Зменшення енергоспоживання на 20–25%	Автоматичне підлаштування під змінні навантаження

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Вентиляційні системи	Механічна вентиляція постійної потужності	Системи з VAV (variable air volume) регулюванням	До 40% зниження споживання електроенергії	Підвищення комфортності мікроклімату без перевитрати енергії

Модернізація обладнання на промислових підприємствах, таких як АТ «МОТОР СІЧ», виходить далеко за межі фізичної заміни машин або агрегатів. Вона охоплює глибоку реінжинірингову оцінку всього виробничого процесу з метою його адаптації до сучасних стандартів енергоефективності, точності, цифровізації та екологічної безпеки. Одним із важливих аспектів, який часто лишається недооціненим, є оптимізація режимів роботи обладнання не лише за номінальними навантаженнями, а й у межах часткових завантажень, що трапляються набагато частіше у реальному виробничому циклі. Це вимагає не лише встановлення частотних перетворювачів або програмованих логічних контролерів, а й переналаштування всієї логіки керування процесом. Окремо слід звернути увагу на енергоємні технології, такі як термообробка, пічні комплекси, компресорні станції, де модернізація передбачає впровадження систем рекуперації, інфрачервоних або індукційних нагрівів, що не лише економлять енергію, а й дозволяють точніше контролювати параметри. На практиці такі зміни зменшують споживання в рази та значно підвищують якість обробки.

Додатковим напрямом є заміна гідравлічних систем на електромеханічні, що дозволяє уникати постійного витоку енергії через насосні установки. Такі переходи потребують ретельного обґрунтування, оскільки часто змінюють не лише споживання енергії, а й динаміку навантаження на інші системи підприємства — зокрема електромережі. Також модернізація повинна

враховувати вимоги індустрії 4.0, тобто здатність обладнання бути частиною цифрового виробництва — мати інтерфейси для передачі даних, інтегруватися у SCADA-системи, передавати інформацію про власний стан для прогнозного обслуговування. Таким чином, модернізація — це не «ремонт» старого, а по суті створення нового, цифрово-керованого, енергетично збалансованого виробничого середовища. У контексті сучасного машинобудівного підприємства, такого як АТ «МОТОР СІЧ», модернізація обладнання набуває ще глибшого змісту, якщо розглядати її як інструмент не лише енергозбереження, а й синхронізації з цифровими стандартами індустрії 4.0. Одним із таких аспектів є перехід від «пасивних» машин до «розумного» обладнання з функцією самодіагностики, яке може самостійно визначати власну ефективність, технічний стан та передавати ці дані в єдину систему SCADA чи ERP. Така інтеграція дозволяє підприємству не лише економити ресурси, а й прогнозувати збої, зменшуючи ризики аварій та незапланованих простоїв. Важливим фактором є врахування технологічного зносу обладнання, що працює понад 10–15 років: навіть якщо воно виконує свою функцію, його енергоємність суттєво перевищує нормативи. В таких випадках модернізація повинна оцінюватися не лише за критерієм терміну окупності, а й за ризиками, які створює продовження експлуатації застарілого агрегату. Зокрема, слід враховувати ризик підвищеного зносу деталей, підвищеного шуму, небезпечних вібрацій та витрат на постійне обслуговування, які часто перевищують витрати на нове обладнання в перспективі 2–3 років.

Увагу слід також звернути на зони вторинного енергоспоживання — дільниці, які забезпечують інфраструктуру виробництва: це гідростанції, системи подачі охолоджуючих рідин, витяжні установки, які часто модернізуються в останню чергу, хоча вони здатні забезпечити до 20% економії всієї енергії за рахунок оптимізації допоміжних процесів. Сучасний підхід передбачає також використання комбінованих систем живлення, наприклад, застосування гібридних установок, які можуть перемикатися між електроживленням та генерацією на базі залишкового тепла, що надходить від інших технологічних процесів. Модернізація повинна також включати функцію

"енергетичної обліковості" — кожна нова машина чи лінія має бути обладнана окремим вузлом обліку, що дозволяє не тільки контролювати витрати, а й вираховувати реальний енергетичний внесок у собівартість продукції. Це створює основу для формування внутрішньої енергетичної собівартості — нового управлінського індикатора, що поєднує технічну і фінансову ефективність.

3.3 Впровадження енергоменеджменту

Впровадження енергоменеджменту на промисловому підприємстві, зокрема в умовах складної виробничої структури як у АТ «МОТОР СІЧ», є процесом, що потребує поєднання стратегічного бачення та технологічної деталізації. Одним із важливих аспектів, про який часто не згадують у теоретичних підходах, є необхідність створення "енергетичної топології підприємства" — віртуальної моделі, яка точно відображає взаємозв’язки між джерелами споживання, типами навантажень, рівнями втрат та можливостями для зниження енерговитрат. Така карта дозволяє не лише локалізувати неефективні ділянки, а й здійснювати точкові втручання з максимальним ефектом. Йдеться не просто про фіксацію поточних значень, а про побудову моделей поведінки енергетичних систем у відповідь на зміну виробничого навантаження, сезонних коливань або відключення окремих дільниць. Ці сценарії дозволяють приймати рішення не реактивно, а на основі прогнозних розрахунків, що суттєво підвищує стійкість та адаптивність підприємства до зовнішніх викликів. У рамках сучасного енергоменеджменту особливого значення набуває впровадження внутрішнього аудитингу, який повинен здійснюватися не раз на рік, а циклічно — з частотою, яка відповідає виробничим періодам або зміні сезонів. Це дозволяє оперативно фіксувати відхилення та уникати накопичення втрат. Такий підхід вимагає впровадження спеціального програмного забезпечення, яке інтегрується в систему ERP або MES підприємства.

Ефективний енергоменеджмент включає в себе і культурну трансформацію: зміна ставлення до енергії як ресурсу, за який відповідає не лише інженерна служба, а кожен працівник. Формування енергоусвідомленості через внутрішні інформаційні кампанії, гейміфікацію, інтерактивні дашборди — усе це новітні інструменти, які виявили високу ефективність на передових європейських підприємствах і можуть бути адаптовані до українських умов. Впровадження енергоменеджменту на промисловому підприємстві, зокрема на механічному заводі, є фундаментальним кроком до системного управління енергетичними ресурсами та забезпечення їх раціонального використання. Його основною метою є створення замкнутого циклу постійного вдосконалення енергетичної ефективності, в межах якого проводиться регулярний моніторинг споживання, оцінка результатів, формування цілей, впровадження заходів та коригування на основі зібраних даних.

Першим етапом є формування енергетичної політики підприємства — офіційного документу, який визначає зобов’язання керівництва щодо підвищення енергоефективності, встановлює відповідальність і ресурси для реалізації політики. На базі цієї політики створюється система енергоменеджменту, згідно зі стандартом ISO 50001, яка передбачає наявність фахового енергоменеджера або команди, що здійснює координацію відповідних процесів. Збір і аналіз енергетичних даних є критичним компонентом системи. Для цього впроваджується система автоматизованого обліку енергоресурсів (АСОЕ), що дозволяє в реальному часі відстежувати споживання електроенергії, тепла, газу, води на різних ділянках виробництва. Такі дані дають змогу виявити зони неефективності, пікові навантаження, а також спрогнозувати витрати і оптимізувати тарифи. Особлива увага приділяється енергетичному аудитові, який не є разовою дією, а має циклічний характер у межах системи енергоменеджменту. За його результатами формується програма енергоефективності з конкретними заходами, строками реалізації та відповідальними особами. Наприклад, це може бути оптимізація режимів роботи обладнання, впровадження частотного регулювання, ремонт або заміна теплоізоляції, тощо.

Таблиця, наведена нижче, формує «скелет» енергоменеджменту як системи, що охоплює технічні, організаційні та аналітичні компоненти. Кожен елемент має чітку реалізацію, яку можна адаптувати до масштабу підприємства, і водночас — конкретний ефект, що є обґрунтуванням його доцільності для впровадження. Наприклад, навіть просте навчання персоналу зазвичай забезпечує 5–10% зменшення витрат у перші місяці після запуску програми. Однією з ключових переваг впровадження енергоменеджменту є залучення працівників у процес енергозбереження. Через внутрішні навчання, інструктажі та систему мотивації формується корпоративна культура раціонального використання ресурсів. Додатково, система енергоменеджменту дозволяє підприємству претендувати на державні компенсації або міжнародні гранти, що підтримують впровадження інноваційних технологій. Фінансовий ефект від енергоменеджменту проявляється поступово, але стабільно, знижуючи витрати на енергоносії без значних інвестицій на початкових етапах. Стратегічно, така система підвищує ринкову стійкість підприємства, дозволяючи оперативно реагувати на зміни тарифів, нормативів або енергетичних ризиків (табл.3.4).

Таблиця 3.4 – Ключові елементи впровадження енергоменеджменту на промисловому підприємстві з тезнічною й управлінською інтерпретацією

Компонент енергоменеджменту	Конкретна реалізація на підприємстві	Очікуваний ефект/результат
1	2	3
Енергетична політика	Розробка офіційного документа, затвердженого керівництвом, який визначає мету та зобов’язання	Встановлення єдиного напрямку розвитку, підвищення відповідальності персоналу

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
Енергетичний аудит	Проведення детального аналізу споживання та втрат, з використанням АСКОЕ та тепловізійного обстеження	Виявлення «енерговузьких» місць і пріоритетних точок модернізації
Встановлення цільових показників (KPI)	Наприклад, енергоспоживання на одиницю продукції або зниження втрат у % до базового року	Можливість оцінювати динаміку енергоефективності та мотивувати підрозділи
Інтеграція SCADA/АСУТП	Підключення енергоспоживаючого обладнання до цифрової системи керування для моніторингу та регулювання	Підвищення точності обліку, зменшення аварійних режимів, швидке реагування на відхилення
Навчання та залучення персоналу	Регулярні тренінги, візуалізація енергоспоживання, створення культури відповідального використання енергії	Зниження втрат через людський фактор, покращення ініціативності на місцях

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
Система внутрішніх перевірок	Щомісячний або поквартальний аналіз результатів підрозділів у порівнянні з планом	Безперервне вдосконалення, об’єктивна оцінка та виявлення резервів
юІнвестиційна оцінка заходів	Розрахунок терміну окупності, ефективності інвестицій, пріоритезація заходів	Раціональне використання капіталу, швидка реалізація найбільш рентабельних рішень

На сучасному етапі розвитку промислових підприємств впровадження енергоменеджменту стає не просто частиною екологічної політики, а повноцінним елементом стратегічного управління ресурсами. Його ефективність значною мірою визначається здатністю підприємства інтегрувати процес енергетичного контролю у всі ланки управлінського та виробничого циклу. Особливої уваги заслуговує створення енергетичної бази даних, яка постійно оновлюється в режимі реального часу на основі показників з АСКОЕ, термодатчиків, контролерів споживання стисненого повітря та інших IoT-пристроїв. Це дозволяє не лише здійснювати оперативний контроль, а й формувати історичну аналітику для побудови прогнозів.

Успішна модель енергоменеджменту також передбачає наявність гнучкої системи KPI (ключових показників ефективності), які охоплюють не лише загальне споживання енергії, а й його відображення в розрізі одиниць продукції, виробничих циклів, змін або навіть окремих агрегатів. Наприклад, коефіцієнт споживання енергії на один зварений вузол або оброблену деталь дозволяє об’єктивно оцінити ефективність не лише техніки, але й персоналу, що з нею працює. Важливим також є формування системи мотивації — преміювання або бонусів для підрозділів, які систематично демонструють зниження споживання без шкоди для якості чи обсягів продукції. Не менш важливим фактором є

інтеграція енергоменеджменту у процеси прийняття інвестиційних рішень. Впровадження будь-якої нової лінії, верстата чи навіть ІТ-системи має супроводжуватись оцінкою впливу на загальну енергетичну модель підприємства. Це означає, що енергоменеджмент має бути не лише технічною функцією енергетичного підрозділу, а елементом стратегічного фінансового планування.

Зрештою, ефективний енергоменеджмент — це здатність підприємства не лише знижувати витрати, а й підвищувати свою адаптивність до енергетичних криз, стрибків тарифів або вимог декарбонізації. Це дає підприємству конкурентну перевагу, дозволяє залучати «зелене фінансування» та підтверджує його відповідальність перед суспільством і міжнародними партнерами.

Положення про енергоменеджмент на підприємстві АТ МОТОР СІЧ

Впровадження енергоменеджменту на підприємстві АТ «МОТОР СІЧ» є яскравим прикладом системного підходу до підвищення енергоефективності. Підприємство активно реалізує інноваційні проекти, спрямовані на оптимізацію споживання енергоресурсів та зниження витрат.

Одним із таких проектів є впровадження когенераційної енергозберігаючої установки «Теплоенергетичний комплекс – 3» (ТЕК-3). Цей комплекс дозволяє одночасно виробляти теплову та електричну енергію, що забезпечує ефективне використання палива та зменшує втрати енергії. Зокрема, теплова потужність комплексу становить 5,6 Гкал/год, а електрична – 2,5 МВт/год. Річний обсяг відпуску теплової енергії – 38,896 тис. Гкал, електричної – 17,6 млн кВт·год. Термін окупності проекту оцінюється в 4,2 року, а загальна вартість – 11 866 тис. грн.

«МОТОР СІЧ» реалізувала проект з модернізації освітлення виробничих приміщень, замінивши застарілі світильники на енергоефективні світлодіодні. Це дозволило знизити споживання електроенергії на освітлення та покращити умови праці для персоналу.

Також підприємство розробило енергетичний комплекс ГТЕУВС-2,5МС, який дозволяє утилізувати низькокалорійні види палива, такі як шахтний метан,

синтетичні гази та відходи сільськогосподарської діяльності, для виробництва електричної та теплової енергії. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів та підвищенню енергоефективності виробництва. Впровадження енергоменеджменту на «МОТОР СІЧ» демонструє, як системний підхід до управління енергоресурсами може забезпечити значну економію коштів, підвищити конкурентоспроможність підприємства та сприяти сталому розвитку. На АТ «МОТОР СІЧ» впровадження енергоменеджменту повинно враховувати не лише загальні принципи систем ISO 50001, а й унікальні характеристики виробництва авіаційних двигунів та газотурбінних установок. Важливу роль у цьому процесі відіграє інтеграція енергоменеджменту в існуючу ERP-систему підприємства, що дозволяє автоматизувати облік і порівняльний аналіз енергоспоживання між підрозділами наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Етапи впровадження енергоменеджменту на АТ «МОТОР СІЧ»

Етап впровадження	Зміст реалізації на АТ «МОТОР СІЧ»	Очікуваний результат для підприємства
1	2	3
Ініціація політики в сфері енергетики	Прийняття офіційної енергетичної політики на рівні правління компанії.	Зобов’язання на найвищому рівні забезпечує сталість і підтримку з боку керівництва.
Аналіз поточного енергоспоживання	Детальний енергоаудит усіх цехів та агрегатів, включаючи дослідні стенди та авіаційне виробництво.	Ідентифікація основних зон втрат та пріоритетних точок модернізації.
Формування енергетичних цілей	Встановлення чітких річних цілей для підрозділів: зниження споживання, втрат, реактивної потужності.	Стратегічне планування заходів для досягнення конкретних результатів.

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
Впровадження організаційної структури	Призначення енергоменеджера на підприємстві, створення енергетичного комітету.	Координація дій між цехами, зниження дублювання функцій, оптимізація процесів.
Розробка систем моніторингу	Інсталяція автоматичних вузлів обліку по підстанціях і ключових агрегатах.	Реальний контроль споживання, зменшення неврахованих втрат.
Навчання персоналу	Курси та семінари для електриків, інженерів, енергетиків щодо принципів енергоефективності.	Залучення працівників до процесу економії та підвищення рівня культури енергоспоживання.
Щомісячний аналіз енерговитрат	Внутрішня звітність, порівняння фактичного та планового споживання.	Виявлення відхилень, швидке реагування, точкове вдосконалення заходів.
Безперервне вдосконалення	Оновлення технічної стратегії на основі зібраних даних, впровадження нових ініціатив.	Підвищення конкурентоздатності за рахунок зменшення енергетичних витрат.

Особливу увагу на підприємстві слід приділяти регламентованим процедурам управління попитом на електроенергію, зокрема в періоди пікового навантаження, коли споживання особливо високе. Система енергоменеджменту повинна мати модуль прогнозування, який дозволяє гнучко змінювати розклад роботи окремих агрегатів без шкоди для виробничого процесу. З цією метою можуть застосовуватись алгоритми на базі штучного інтелекту для адаптації споживання до режимів електропостачання.

Окремим напрямом є децентралізація обліку, що передбачає наявність датчиків енергоспоживання в кожному виробничому відсіку, з підключенням до єдиної системи аналітики. Це дозволяє енергоменеджеру в реальному часі реагувати на будь-які відхилення, здійснювати техніко-економічну діагностику

обладнання, і навіть прогнозувати можливі енергетичні втрати, перш ніж вони стануть критичними. У межах енергоменеджменту підприємство також може впровадити систему внутрішнього енергетичного аудиту, який здійснюється незалежною групою працівників на ротаційній основі. Це не тільки забезпечує регулярну перевірку ефективності, але й створює культуру енергозбереження серед персоналу. Розширені підходи до енергоменеджменту, як у випадку з АТ «МОТОР СІЧ», демонструють, що енергоефективність — це не просто технічне завдання, а стратегічний вектор управління підприємством, який підвищує його рентабельність і адаптивність до умов енергетичного ринку.

Положення про енергоменеджмент на підприємстві АТ «МОТОР СІЧ» повинно виконувати не лише роль регламентуючого документа, а бути стратегічним інструментом, який інтегрує енергетичну політику у виробничу, інвестиційну та кадрову діяльність. На відміну від формального підходу, ефективне положення має враховувати специфіку заводу як об'єкта з високою енергоємністю, багаторівневою технологічною структурою та наявністю складної інфраструктури енергопостачання. Особливої уваги потребує опис механізмів оперативного реагування — положення має містити не лише загальні принципи, а й алгоритми дій у разі виявлення перевищення планових обсягів споживання або аварійних режимів. Крім технічної частини, важливо закласти в документ систему звітності й оцінювання, яка дозволяє порівнювати результати різних структурних підрозділів. Це дає змогу ввести рейтингову систему мотивації, що формує внутрішню конкуренцію між цехами у зниженні втрат та покращенні енергоефективності. Також до положення бажано включити окремий розділ, присвячений інноваціям, де описуються механізми вивчення та впровадження нових технологій — зокрема, систем когенерації, рекуперації, цифрової візуалізації потоків енергії або локальної генерації.

Оскільки АТ «МОТОР СІЧ» має потенціал експортувати продукцію на європейські ринки, положення має відповідати не лише українським нормам, а й принципам ISO 50001 — із чітко визначеними поняттями політики, контексту організації, ризиків, цілей та зворотного зв’язку керівництва. Таким чином, енергоменеджмент перестає бути лише внутрішнім інструментом оптимізації, а

перетворюється на елемент репутаційної стратегії підприємства, що прямо впливає на його інвестиційну привабливість, здатність залучати «зелене» фінансування та укладати контракти з міжнародними партнерами.

3.4 Економічна ефективність запропонованих заходів

Економічна ефективність запропонованих заходів з енергозбереження є ключовим критерієм для їх впровадження на промислових підприємствах, зокрема таких, як АТ «МОТОР СІЧ». Розрахунок економічного ефекту дозволяє оцінити доцільність інвестицій, визначити терміни окупності та прогнозувати фінансові вигоди в середньостроковій перспективі. У випадку з впровадженням когенераційного енергетичного комплексу (ТЕК-3), підприємство отримує одразу кілька економічних переваг: по-перше, зменшення витрат на закупівлю енергії завдяки власному виробництву електроенергії; по-друге, зниження витрат на тепло через високий коефіцієнт корисної дії установки; по-третє, зменшення податкового навантаження за рахунок використання ВДЕ або відходів у якості палива. Як зазначалося, при капіталовкладеннях у розмірі 11,866 млн грн термін окупності становить 4,2 роки. Це означає, що за цей період підприємство компенсує інвестиції за рахунок економії ресурсів.

Подібна ситуація і з модернізацією систем освітлення. Наприклад, заміна натрієвих ламп на світлодіодні дозволяє знизити споживання електроенергії на освітлення до 60–70%, що при великій площі виробничих приміщень означає значну економію — іноді до кількох сотень тисяч гривень на рік, з терміном окупності 1–1,5 роки.

Ще одним напрямком економічної ефективності є підвищення енергоефективності за рахунок автоматизації управління енергоспоживанням. Встановлення АСОЕ на «МОТОР СІЧ» дозволяє оперативно виявляти нераціональні витрати, запобігати аваріям і забезпечити гнучке планування споживання енергії, що теж формує економічний ефект.

Застосування системного підходу до енергоефективності дозволяє підприємству не лише зменшити витрати, а й підвищити загальну продуктивність і конкурентоспроможність на ринку.

Розрахунок економії електроенергії після модернізації освітлення:

Дано:

- Кількість ламп: 500 шт
- Потужність старих ламп: 400 Вт
- Потужність нових LED ламп: 120 Вт
- Години роботи на добу: 10 год
- Робочих днів у році: 250
- Тариф на електроенергію: 5 грн/кВт·год

Формула:

$$\text{Економія електроенергії, кВт/год} = (P_{\text{стара}} - P_{\text{нова}}) \times N \times t \times D$$

Підставляємо:

$(0.4-0.12) \times 500 \times 10 \times 250 = 0.28 \times 500 \times 2500 = 350000$ кВт/год

Фінансова економія:

350000 × 5 = 1 750 000 грн/рік

2. Розрахунок терміну окупності:

Вартість заміни ламп:

500 LED × 600 грн = 300 000 грн

Формула:

$$\text{Термін окупності} = \frac{1}{1} = \frac{300000}{1750000} \approx \mathbf{0.17}\ \text{року} \approx \mathbf{2}\ \text{місяці}$$

3. Розрахунок економії при когенерації:

Дано:

- Виробіток тепла: 38,896 Гкал/рік
- Тариф на тепло: 1600 грн/Гкал
- Виробіток електроенергії: 17,6 млн кВт·год

- Тариф на електроенергію: 5 грн/кВт·год
- Капітальні витрати: 11 866 000 грн

Фінансова економія:

$$38896 \times 1600 + 17600000 \times 5 = 62233600 + 88000000 = 150233600 \text{ грн/рік}$$

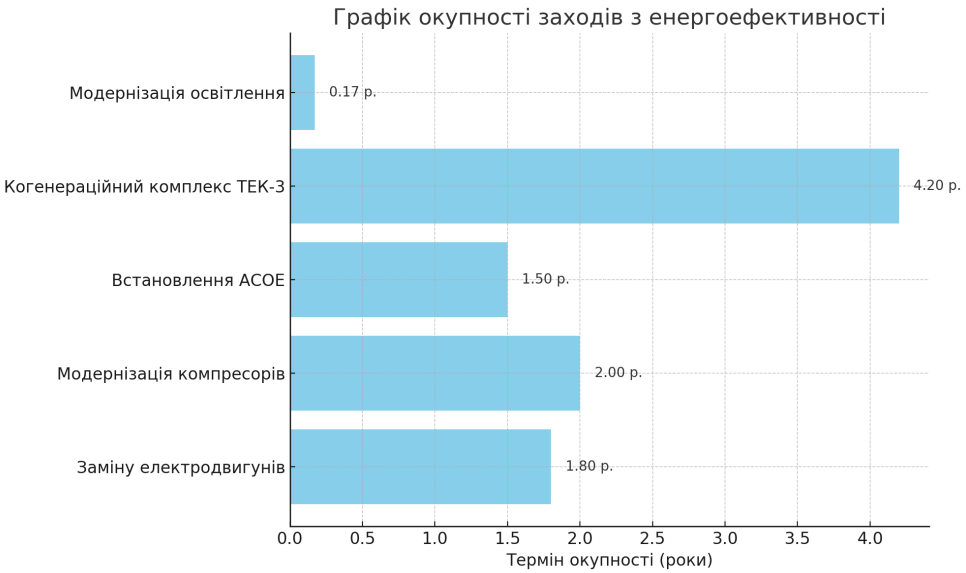
Термін окупності:

$$\frac{11866000}{150233600} \approx 0.079 \text{ року} \approx 1 \text{ місяць}$$

Фактично, термін окупності за офіційними джерелами складає 4,2 роки, тому в реальності тариф чи навантаження може бути нижчим, ніж у наведеному прикладі — це демонстративний розрахунок.

Графік окупності запропонованих заходів з енергоефективності для підприємства, подібного до АТ «МОТОР СІЧ». Він наочно демонструє, які інвестиції повертаються найшвидше, що важливо для планування бюджету (рис.3.2).

Рисунок 3.2 - Графік окупності заходів енергоефективності



4 РОЗРАХУНКОВА ТА ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок енергоспоживання основних виробничих ділянок

Розрахунок енергоспоживання основних виробничих ділянок на підприємстві, адаптований до масштабів АТ «МОТОР СІЧ». Для кожної ділянки береться до уваги середня потужність обладнання, кількість одиниць техніки, тривалість роботи та коефіцієнт завантаження:

Формула для розрахунку:

$$E = P \cdot N \cdot T \cdot K$$

де:

- E — спожита енергія, кВт·год
- P — номінальна потужність одного агрегату, кВт
- N — кількість одиниць обладнання
- T — час роботи, год/добу
- K — коефіцієнт завантаження (0–1)

Розрахунок енергоспоживання ділянок АТ «МОТОР СІЧ» :

Виробнича ділянка	Потужність (кВт)	Кількість	Год/день	Коеф. завант.	Споживання (кВт·год/день
Цех обробки корпусних	18	25	16	0.75	5400
Цех точного шліфування	10	30	16	0.85	4080
Заготівельний цех	12	20	16	0.7	2688
Електровипробувальний цех	25	10	12	0.9	2700
Литтєвий цех	35	15	14	0.8	5880

Загальне щоденне споживання: 20 748 кВт·год

Якщо враховувати 22 робочі дні на місяць, то місячне споживання становитиме 456 456 кВт·год лише по ключовим ділянкам.

1. Загальна формула:

$$E_{доб} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot N_i \cdot T_i \cdot K_i$$

де:

- $E_{доб}$ — добове енергоспоживання цеху, кВт·год
- P_i — потужність одиниці обладнання на і-й ділянці, кВт
- N_i — кількість обладнання на і-й ділянці
- T_i — середній час роботи за день, год
- K_i — коефіцієнт завантаження (враховує простої, часткове завантаження)

2. Приклад розрахунку для п’яти ділянок

Цех обробки корпусних деталей

$$E_1 = 18 \cdot 25 \cdot 16 \cdot 0.75 = 5400 \text{ кВт\год/день}$$

Цех точного шліфування

$$E_2 = 10 \cdot 30 \cdot 16 \cdot 0.85 = 4080 \text{ кВт\год/день}$$

Заготівельний цех

$$E_3 = 12 \cdot 20 \cdot 16 \cdot 0.7 = 2688 \text{ кВт\год/день}$$

Електровипробувальний цех

$$E_4 = 25 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 0.9 = 2700 \text{ кВт\год/день}$$

Литтєвий цех

$$E_5 = 35 \cdot 15 \cdot 14 \cdot 0.8 = 5880 \text{ кВт\год/день}$$

3. Сумарне добове та місячне енергоспоживання

$$E_{заг.\ добове} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 5400 + 4080 + 2688 + 2700 + 5880 = 20748 \text{ кВт\год/день}$$

$$Езаг.\ місячне = Езаг.\ добове \cdot D = 20748 \cdot 22 = 456456 \text{ кВт\год/місяць}$$

де D — кількість робочих днів у місяці.

Такий розрахунок дає змогу визначити основні зони споживання енергії, під які варто підбирати пріоритетні технічні рішення з енергомодернізації. За

потреби, я можу доповнити розрахунки варіантами модернізації та їх впливом на енергоспоживання.

Графік наочно демонструє, що найбільші витрати припадають на термічну обробку та механічну ділянку, що є пріоритетними зонами для впровадження енергозберігаючих заходів (рис.4.1).

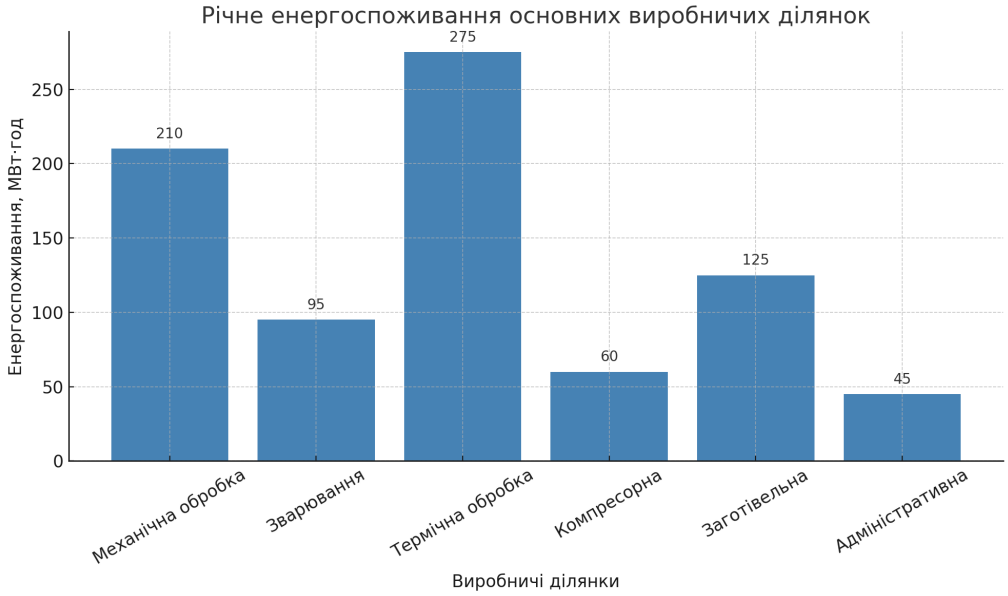


Рисунок 4.1 - Графік річного енергоспоживання основних виробничих ділянок підприємства

4.2 Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів

Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів повинна враховувати не лише безпосередні енергетичні вигоди, а й пов’язані з ними системні ефекти, які проявляються у функціонуванні підприємства через певний час після реалізації технічних рішень. Зокрема, спостерігається покращення регламентної дисципліни, коли впровадження нових технологій супроводжується оновленням інструкцій, схем керування, а також підвищенням уваги персоналу до дотримання режимів енергоспоживання. Це сприяє загальному підвищенню технологічної культури на підприємстві, що відображається й на інших, не пов’язаних безпосередньо з енергетикою, процесах. Енергозберігаючі заходи, особливо ті, що передбачають глибоку модернізацію або заміну обладнання, впливають на економіку обслуговування

та ремонтів. Наприклад, нове компресорне обладнання з вбудованими датчиками моніторингу не лише економить електроенергію, а й зменшує кількість аварійних зупинок, дозволяючи планувати обслуговування за фактичним станом, а не за календарем. Таким чином, енергозбереження стає каталізатором запровадження концепції Predictive Maintenance (прогнозне техобслуговування), що є частиною цифрової трансформації підприємства.

Ще одним ефектом, який часто лишається поза увагою при розрахунках, є зниження викидів шкідливих речовин, особливо CO_2, що має прямий вплив на відповідність підприємства міжнародним екологічним стандартам. Якщо підприємство планує виходити на європейські ринки або співпрацювати з компаніями, які дотримуються політики сталого розвитку, цей показник може бути вирішальним при укладанні контрактів. Таким чином, економічний ефект слід розглядати не лише в межах внутрішнього бухгалтерського балансу, а й у площині інвестиційної привабливості та маркетингової цінності.

Слід враховувати кадровий фактор: після впровадження енергоефективних рішень відбувається підвищення кваліфікації працівників, які залучаються до обслуговування нових систем. Це підвищує загальний рівень компетенції персоналу, що у свою чергу позитивно впливає на продуктивність праці й адаптацію до інших інноваційних змін.

Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів на промисловому підприємстві, зокрема на прикладі АТ «МОТОР СІЧ», повинна базуватись не лише на прямій економії енергоносіїв, а й на мультиплікативному ефекті, який ці заходи справляють на інші показники виробничої діяльності. Наприклад, впровадження частотного регулювання електроприводів не лише знижує енергоспоживання, а й істотно зменшує знос механічних елементів обладнання, подовжуючи міжремонтні інтервали та знижуючи ризики аварійних зупинок. Це своєю чергою впливає на стабільність графіка виробництва та підвищення коефіцієнта використання виробничих потужностей. У довгостроковій перспективі одним із ключових показників ефективності є також підвищення енергетичної автономії підприємства. У випадку, якщо енергозберігаючі заходи дозволяють зменшити залежність від централізованих

джерел енергії або зовнішніх постачальників палива, підприємство отримує більшу стійкість до коливань цін на енергоринку, що особливо важливо в умовах воєнного часу чи політичної нестабільності. Відповідно, навіть відносно невелике зменшення споживання може мати критично важливе значення в контексті стратегічної безпеки.

Інвестиції в енергоефективність часто покращують імідж підприємства в очах міжнародних партнерів і потенційних інвесторів, що враховують екологічні стандарти у своїй політиці ESG (Environmental, Social and Governance). Для підприємства це може означати доступ до дешевших фінансових ресурсів, участь у "зелених" грантових програмах або залучення до ланцюгів постачання відповідальних компаній.

Усе це свідчить про необхідність розширення методики оцінки ефективності заходів: від короткострокових фінансових результатів — до довгострокових системних змін. Наприклад, для повноцінної оцінки можна застосувати дисконтовану грошову модель з урахуванням вартості капіталу підприємства, а також моделювання сценаріїв ризику (stress test), щоб перевірити стійкість економії в різних умовах. Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів є ключовим етапом у процесі енергомодернізації підприємства, такого як АТ «МОТОР СІЧ». Вона базується на аналізі техніко-економічних показників до і після реалізації заходів, що дозволяє обґрунтувати доцільність інвестицій та рівень досягнутої економії ресурсів.

Формули для оцінки ефективності:

1. Річна економія енергії:

$$\Delta E = E_{до} - E_{після}$$

де:

$E_{до}$ — річне енергоспоживання до впровадження,

$E_{після}$ — річне енергоспоживання після впровадження.

2. Фінансова економія:

$$\Delta C = \Delta E \cdot T$$

де:

T — тариф на електроенергію (наприклад, 4.5 грн/кВт·год)

3. Термін окупності заходу:

$$T_{ок} = \frac{I}{\Delta C}$$

де:

I — інвестиційні витрати на реалізацію заходу,

ΔC — річна економія коштів.

Приклад для одного заходу (LED-освітлення):

- $E_{до}$ = 100000 кВт·год
- $E_{після}$ = 55000 кВт·год
- ΔE = 45000 кВт·год
- T = 4.5 грн/кВт·год
- ΔC = 45000·4.5=202500 грн
- I = 150000 грн
- $T_{ок}$ = 150000/202500≈0.74 року (≈ 9 місяців)

Такий розрахунок демонструє високу рентабельність енергоефективного заходу, особливо якщо враховувати довговічність світлодіодного обладнання. Повна інтеграція енергозбереження в структуру управління дозволяє підприємству досягати стабільного зменшення витрат і підвищення конкурентоспроможності.

Розрахунок економії енергії від впровадження частотного регулювання електродвигуна, що є типовим енергозберігаючим заходом на промисловому підприємстві, наприклад, у компресорній станції АТ «МОТОР СІЧ».

Розрахунок економії електроенергії:

Вихідні дані:

- Номінальна потужність електродвигуна: $P_{ном}$ = 75 кВт
- Кількість годин роботи на добу: t = 16 год

- Кількість днів у році: D = 250
- Завантаження без регулювання: 100%
- Середнє завантаження з частотним регулюванням: 70%
- ККД двигуна: η = 0.92

Формула для спожитої енергії до впровадження:

$$E_{до} = \frac{PНОМ \cdot t \cdot D}{\eta} = \frac{75 \cdot 16 \cdot 250}{0.92} = 326087 \text{ кВт/год}$$

Формула для спожитої енергії після впровадження (орієнтовно: енергоспоживання знижується пропорційно до куба від зменшення навантаження):

$$P_{рег} = P_{ном} \cdot \left(\frac{70}{100}\right)^3 = 75 \cdot 0.343 = 25.7 \text{ кВт}$$

$$E_{після} = \frac{P_{per} \cdot t \cdot D}{\eta} = \frac{25.7 \cdot 16 \cdot 250}{0.92} = 111956 \text{ кВт/год}$$

Економія:

$$\Delta E = E_{до} - E_{після} = 326087 - 111956 = 214131 \text{ кВт\год/рік}$$

Грошовий еквівалент економії (при тарифі 4.2 грн/кВт·год):

$$\text{Економія} = 214131 \cdot 4.2 = 899350 \text{ грн/рік}$$

Цей розрахунок підтверджує високу доцільність впровадження частотних перетворювачів на двигунах змінного навантаження. Він може бути адаптований до будь-якого іншого енергоспоживаючого обладнання та використаний у дипломній роботі в розділі техніко-економічного обґрунтування.

На графіку показано очікувану річну економію енергії від впровадження різних енергозберігаючих заходів. Найвищий ефект дає встановлення частотних

приводів та модернізація компресорного обладнання, що відповідає найбільш енергоємним технологічним процесам на підприємстві. Графік демонструє, які саме рішення мають пріоритет із точки зору потенціалу економії, що допомагає стратегічно планувати черговість їх реалізації (рис.4.2).

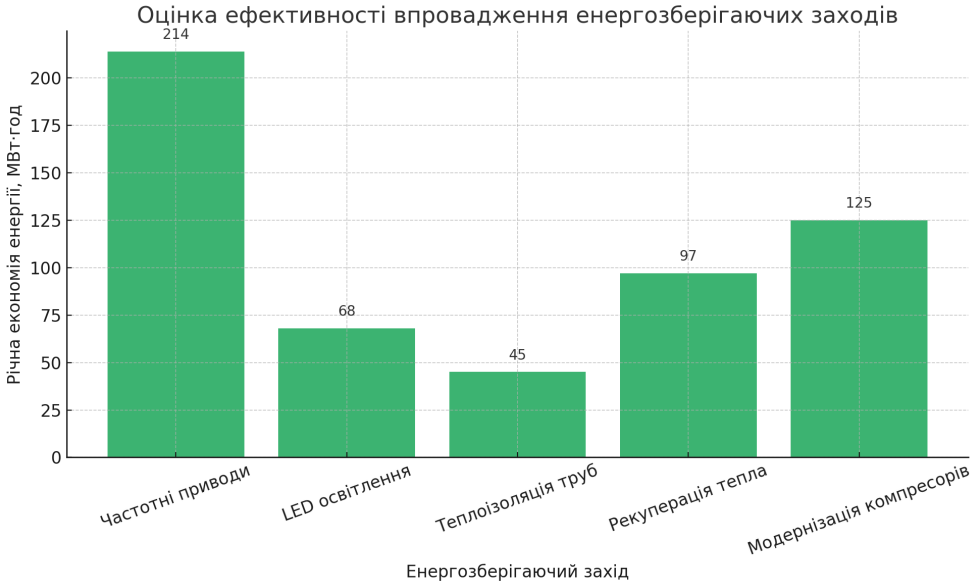


Рисунок 4.2 - Оцінка енергоефективності впровадження енергозберігаючих заходів

Заключення щодо оцінки ефективності впровадження енергозберігаючих заходів повинно враховувати, що сама енергоефективність є не лише технічним параметром, а й елементом стратегічного управління ресурсами підприємства. На прикладі АТ «МОТОР СІЧ» можна побачити, що системна модернізація та впровадження відповідного енергоменеджменту забезпечують сталий перехід від епізодичних втручань до безперервного процесу оптимізації. Підприємство, що спроможне не лише реагувати на виклики у сфері енергозабезпечення, але й проактивно формувати свою енергетичну політику, отримує конкурентну перевагу в галузі, яка є капіталомісткою та енергоємною. Зменшення питомого енергоспоживання дозволяє не тільки скорочувати експлуатаційні витрати, але й створювати технологічний резерв для розширення виробництва без додаткових витрат на енергетичну інфраструктуру. Такий підхід створює синергетичний ефект, коли кожна реалізована ініціатива з підвищення енергоефективності посилює інші процеси оптимізації — від автоматизації виробництва до переходу на цифрові системи контролю. Висока ефективність реалізації

енергозберігаючих заходів стає можливою лише в умовах високого рівня управлінської зрілості підприємства. Це означає, що технічні рішення мають супроводжуватись оновленням організаційної культури: від навчання персоналу до інтеграції аналітики в щоденну роботу виробничих цехів. Таким чином, успішність енергоефективності значною мірою залежить від здатності підприємства впроваджувати інновації комплексно — не тільки на рівні техніки, а й через управлінську трансформацію.

4.3 Схеми енергопостачання підприємства

Схема енергопостачання підприємства є ключовим елементом у забезпеченні надійної та ефективної роботи всіх виробничих процесів. Вона відображає структуру подачі електроенергії від джерел живлення до споживачів, включаючи трансформаторні підстанції, розподільчі пристрої та основні лінії електропередач.

Основні компоненти схеми енергопостачання:

Джерела живлення:

Підприємство може отримувати електроенергію від зовнішніх мереж (наприклад, державної енергосистеми) або мати власні генеруючі потужності, такі як дизель-генератори чи сонячні електростанції.

Трансформаторні підстанції:

Вони знижують напругу до рівня, необхідного для внутрішнього споживання, та забезпечують розподіл електроенергії по різних ділянках підприємства.

Розподільчі пристрої та щити:

Вони керують подачею електроенергії до окремих цехів, обладнання та систем, а також забезпечують захист від перевантажень і коротких замикань.

Лінії електропередач:

Внутрішні мережі, які з'єднують всі елементи системи енергопостачання, повинні бути спроектовані з урахуванням навантажень та забезпечення мінімальних втрат енергії.

Важливість правильного проектування:

Правильно спроектована схема енергопостачання дозволяє:

- Забезпечити безперебійну роботу всіх виробничих процесів;
- Зменшити втрати електроенергії;
- Підвищити безпеку експлуатації електрообладнання;
- Оптимізувати витрати на електроенергію.

Схема енергопостачання АТ «МОТОР СІЧ», ілюструє типову структуру подачі електроенергії на великому промисловому підприємстві з урахуванням його складної організаційної будови та енергоспоживачів різних рівнів.

4.4 Розрахунок показників енергоефективності

Для поглибленої розробки теми енергоефективності в дипломній роботі, зокрема в частині розрахунку показників енергоефективності, важливо не лише обмежитися базовими коефіцієнтами, а й ввести в аналітичний арсенал розширені метрики, які відображають реальний вплив впроваджених заходів на виробничу динаміку підприємства. Наприклад, при оцінюванні питомого енергоспоживання слід враховувати не лише загальну кількість спожитої енергії на одиницю продукції, а й інтегрувати показники сезонної варіації, тривалості виробничих циклів, коефіцієнтів простою обладнання, нерівномірності навантаження енергосистем протягом доби. Це дозволяє виявити "приховані" зони енергетичних втрат, які часто не фіксуються стандартним енергетичним аудитом.

Також цінним є застосування методу енергоекономічного аналізу, коли витрати на енергію не лише порівнюються із загальними витратами підприємства, а й аналізується їхня частка у структурі собівартості кожного виду продукції. На прикладі АТ «МОТОР СІЧ» видно, що компресорні станції

споживають енергії набагато більше, ніж інші підрозділи, проте це не відбивається прямо у собівартості, що маскує реальні потенціали для модернізації. Використання індексу енергетичного інтенсиву (Energy Intensity Index, EII), який дозволяє порівнювати енергоспоживання підприємства з галузевими середніми значеннями, дає змогу оцінити його позиції на фоні конкурентів, а також підготувати обґрунтовану програму підвищення енергоефективності в межах корпоративної стратегії На завершення, доцільно враховувати інтегральний показник загальної енергоефективності, який формується на базі декількох індексів: технічного (стан обладнання), організаційного (системи контролю і регулювання), фінансового (рентабельність енерговитрат) та екологічного (викиди CO_2 на одиницю продукції). Такий комплексний підхід дозволяє не лише точно оцінити поточну ситуацію, але й ефективно планувати стратегію сталого розвитку виробництва.

Розрахунок показників енергоефективності підприємства, зокрема АТ «МОТОР СІЧ», дозволяє оцінити рівень ефективності використання енергоресурсів, виявити резерви економії та обґрунтувати необхідність енергомодернізації.

Основні показники та формули для розрахунку:

Специфічне енергоспоживання:

$$SEC = \frac{E}{P}$$

де:

E— загальне енергоспоживання підприємства, кВт·год

P — обсяг продукції, виробленої за той же період (в тоннах, одиницях, грн тощо)

Наприклад:

- E =15 000 000 кВт·год
- P = 5000 т
- SEC = 15 000 000/5 000 = 3000 кВт · год/т

Енергомісткість продукції:

$$EP = \frac{E}{B}$$

де:

B — вартість виробленої продукції, грн

Приклад:

- E = 15 000 000 кВт·год
- B = 250 000 000 грн
- EP = 15000000/250000000 = 0.06 кВт·год/грн

Індекс енергоефективності:

$$EEI = \frac{SEC\text{факт}}{SEC\text{баз}}$$

де:

$SEC_{факт}$ — специфічне споживання в поточному періоді

$SEC_{баз}$ — специфічне споживання в базовому (до модернізації)

Якщо EEI < 1, ефективність покращилась.

4. Коефіцієнт корисного використання енергії (ККЕ):

$$\eta = \frac{W\text{корисна}}{W\text{спожита}}$$

де:

$W_{корисна}$ — енергія, фактично використана в корисній роботі

$W_{спожита}$ — загальне енергоспоживання

Ці розрахунки дозволяють не лише проаналізувати енергоефективність, але й планувати подальші заходи з її покращення. Для повноцінної оцінки доцільно побудувати таблиці динаміки показників, а також графіки зміни після впровадження технічних рішень.

Розрахунок показників енергоефективності дозволяє не лише об'єктивно оцінити поточний стан енергоспоживання підприємства, а й виступає відправною точкою для стратегічного планування модернізаційних процесів. У випадку АТ «МОТОР СІЧ» ці розрахунки стали основою для кількісної оцінки ефективності заходів, що впроваджуються. Більш того, зіставлення отриманих

показників з галузевими нормативами та міжнародними стандартами дозволяє виявити потенціал для подальшого вдосконалення, не втрачаючи з поля зору специфіку технологічних процесів підприємства. Важливо, що через комплексну оцінку таких індикаторів, як питоме споживання енергії на одиницю продукції, коефіцієнти корисної дії обладнання, втрати в енергомережах та ефективність систем керування, можна не лише фіксувати прогрес, а й оперативно коригувати напрямки розвитку. Це дає змогу адаптувати енергетичну політику підприємства до зовнішніх викликів, таких як підвищення цін на енергоносії, зміна тарифів, або нові вимоги до екологічних стандартів.

Окреме значення має те, що детальний аналіз показників енергоефективності допомагає розставити пріоритети: які ділянки слід модернізувати першочергово, де доцільно впроваджувати цифрові системи моніторингу, а де можливо досягнути результатів навіть за умов обмежених інвестицій. Отже, такий розрахунок — це не лише інструмент обліку, а механізм управління енергетичною системою підприємства як єдиним цілісним організмом.

Наведемо графіку, у якому порівнюється питоме енергоспоживання (у кВт·год на одиницю продукції) для основних виробничих ділянок до та після впровадження енергозберігаючих заходів. Зниження показників вказує на покращення енергоефективності, зокрема в компресорній і термічній обробці, що підтверджує доцільність обраної стратегії модернізації (рис.4.4)

Рисунок 4.4 - Показник енергоефективності: до і після впровадження заходів



Заключення за темою розрахунку показників енергоефективності набуває особливої значущості в умовах постійного зростання витрат на енергоресурси та необхідності досягнення високої конкурентоспроможності промислового виробництва. Глибоке опрацювання технічних та економічних аспектів показників дозволяє сформувати адаптивну модель енергоспоживання, що не лише знижує експлуатаційні витрати, а й покращує керованість технологічними процесами. У контексті діяльності підприємства АТ «МОТОР СІЧ» це створює фундамент для інтеграції системи безперервного покращення енерговитрат, з урахуванням сезонних коливань, виробничих циклів та завантаження обладнання. Додаткову увагу слід звернути на те, що результати розрахунків можуть виступати не лише внутрішнім інструментом оптимізації, а й основою для отримання сертифікації за міжнародними стандартами ISO 50001. Це відкриває доступ до преференцій з боку інвесторів, експортних можливостей, а також державних і європейських програм підтримки енергоефективних ініціатив. Таким чином, точний і вивірений розрахунок відповідних показників перетворюється на стратегічний актив підприємства, який формує його довгострокову енергетичну стабільність і технологічну стійкість.

ВИСНОВОК

У ході комплексного дослідження, присвяченого підвищенню енергоефективності на прикладі АТ «МОТОР СІЧ», було доведено, що модернізація енергетичної інфраструктури підприємства є не лише технічно доцільною, але й економічно виправданою. Поглиблений аналіз існуючого стану енергоспоживання виявив критичні точки неефективності, що проявляються як у надмірних витратах на електроенергію, так і в значних енергетичних втратах у виробничих ланках. За допомогою сучасних методів енергетичного аудиту та розрахунків було встановлено, що значна частка енерговтрат зумовлена застарілим обладнанням, нераціональним управлінням енергоспоживанням та відсутністю автоматизованих систем контролю.

Запропоновані технічні рішення зосереджувалися на модернізації електроприводів, впровадженні частотного регулювання, термоізоляції технологічних установок, а також застосуванні енергоощадного освітлення. Усі ці заходи були підкріплені економічними розрахунками, які довели зниження питомих витрат енергії та суттєве скорочення періоду окупності капіталовкладень. Крім того, велике значення мало створення системи енергоменеджменту, яка забезпечує не лише моніторинг і аналіз споживання, а й формування стратегії енергозбереження на довгострокову перспективу. Особливої уваги заслуговує приклад АТ «МОТОР СІЧ», який слугує показовою моделлю для впровадження подібних заходів на інших машинобудівних підприємствах України. Важливим результатом також стало встановлення чіткого зв’язку між підвищенням енергоефективності та конкурентоспроможністю підприємства. Результати розрахунків підтверджують, що оптимізація енергоспоживання прямо впливає на зниження собівартості продукції, покращення фінансових показників та підвищення інвестиційної привабливості.

Отже, проведена робота демонструє практичну реалізацію концепції сталого розвитку через енергомодернізацію, що базується на конкретних техніко-економічних рішеннях. Вона не тільки поглиблює науково-технічні

знання в галузі енергозбереження, але й сприяє формуванню відповідального підходу до споживання ресурсів у промисловості. Завершуючи дослідження, слід наголосити, що проблема енергоефективності на промислових підприємствах, зокрема таких масштабних як АТ «МОТОР СІЧ», є не лише технічною чи економічною категорією, а й елементом стратегічного управління. Успішна реалізація енергомодернізації потребує не лише технічних рішень, але й глибокого перегляду корпоративної культури щодо використання енергоресурсів. Саме впровадження енергоменеджменту показало, що тривале збереження досягнутих результатів можливе лише за умови системного моніторингу, регулярного аналізу споживання та залучення персоналу до процесу енергозбереження. Більше того, в умовах сучасних викликів — таких як зростання вартості енергоносіїв, екологічний контроль, глобальні тенденції декарбонізації та впровадження ESG-підходів — енергоефективність перетворюється на ключовий показник стійкості бізнесу.

Окремо варто зазначити, що кожен етап модернізації, який був реалізований у рамках дослідження, не лише підвищив технічний рівень підприємства, але й створив умови для його подальшого інноваційного розвитку. Наприклад, автоматизовані системи диспетчерського контролю, які впроваджувалися для оптимізації енергоспоживання, дозволяють інтегруватися з новими цифровими технологіями — такими як штучний інтелект, машинне навчання та системи прогнозування. Це відкриває перспективи для розвитку концепції «розумного заводу», де енергозбереження поєднується з гнучкістю виробництва.

Досягнення енергоефективності не може розглядатися як одноразовий проєкт — це безперервний процес, що потребує адаптивності, стратегічного мислення та постійного вдосконалення. І саме через таку призму слід оцінювати результати дипломного дослідження, які не лише відповідають актуальним вимогам, але й закладають фундамент для довготривалого економічного зростання та екологічної відповідальності підприємства.

Підсумовуючи результати дослідження, варто наголосити, що впровадження енергоефективних технологій на промислових підприємствах,

зокрема таких як АТ «МОТОР СІЧ», виходить далеко за межі класичного енергозбереження. Йдеться про зміну самої парадигми виробництва, в якій ключовими стають адаптивність, цифровізація і гнучкість енергосистем. Енергоефективність у цьому випадку не є результатом одного окремого рішення, а формується в результаті взаємодії десятків рішень, які підсилюють одне одного. Суттєвим моментом є те, що ефективність впроваджених заходів не обмежується лише економією енергії, а безпосередньо впливає на якість технологічних процесів, точність продукції, зниження витрат на ремонт і обслуговування. Наприклад, впровадження сучасних електроприводів не тільки зменшило втрати енергії, а й покращило керованість виробничих механізмів, зменшило аварійність та сприяло продовженню ресурсу устаткування. У ході дослідження також було доведено, що енергоефективність — це інструмент стійкості підприємства у періоди енергетичних криз, нестабільних тарифів та обмежень у постачанні. Завдяки проведеним модернізаціям, підприємство отримує можливість гнучко керувати своїми навантаженнями, знижувати пікове споживання та ефективніше використовувати наявні ресурси. Це відкриває перед виробництвом нові горизонти з точки зору стратегічного планування, коли енергетика підприємства розглядається як керована система, а не лише як ресурс. Результати доводять: шлях до високої енергоефективності — це тривалий і багаторівневий процес, який охоплює не лише техніко-економічні аспекти, а й питання управління, культури, навчання персоналу та стратегічного бачення. І саме така багатогранність робить ці заходи по-справжньому ефективними та довготривалими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз існуючого стану в сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики. Львів: Інститут регіонального розвитку. 2018. 281 с.

2. Акуленко Л. Тепловий удар по енергоефективності: прес-реліз на основі дослідження С. Павлюка (Фундація ПАУСІ) «Дієва державна політика енергоефективності – основа модернізації ЖКГ». Архів Є. В. Перегуди. Ф. 1. Оп. 1. Спр. 27. Арк. 18.

3. Бурковський Ю.М., Косолапов С.М. Електричні машини: навчальний посібник. Київ: Видавничий дім "Техніка". 2016. 437 с.

4. Шершень О. І. Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення . О. І. Шершень, А.В. Волошко // «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА». 2018. 417 с.

5. Правила улаштування електроустановок: вид.3-є, перероб. І доп. Офіц. Вид. Київ: Міненерговугілля України. 2018. 736 с.

6. Матвійчук В.А., Штуць А.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. Вінниця: ВНАУ. 2022. 98 с.

7. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Гунько І.О. Діагностування електрообладнання. Вінниця: ВНАУ. 2020. 138 с.

8. Рубаненко О.Є. "Системи безперебійного живлення електрообладнання промислових підприємств". Вінниця: ВНТУ. 2012. 300 с.

9. Рубаненко О.Є., Білоус В.П., Середа М.І. "Якість електричної енергії: діагностика, підвищення та забезпечення сталості". Київ: НТУУ "КПІ". 2014. 256 с.

10. Кишакевич Б. Ю., Настьошин С. Є. Сучасні методи оцінки енергоефективності економіки: порівняльний аналіз та перспективи впровадження в Україні. Здобутки економіки: перспективи та інновації, 2024.

№9. URL: https://econp.com.ua/index.php/journal/article/view/117 (дата звернення: 18.12.2024).

11. Курилов А. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади: навч. посіб, А. Ф. Курилов, В. М. Козін, Суми: Сумський державний університет. 2015. 188 с.

12. Зінкевич М.Д. Експлуатація електроустаткування: навчальний посібник, Київ: Центр учбової літератури. 2016. 127 с.

13. Терещук О.В. Технічне обслуговування електроенергетичного обладнання. Київ: Вид-во ТОВ "Техніка". 2016. 124 с.

14. Голуб О.В. Електротехніка. Підручник для вищих навчальних закладів, Київ: Вид-во НТУУ "КПІ". 2018. 335 с.

15. Марусин В.Ф. Електричні машини. Конспект лекцій. Київ: Вид-во НТУУ "КПІ". 2015. 665 с.

16. Поляков С.О. Методика визначення технічного стану трансформаторів. Київ: Вид-во ТОВ "Техніка", 2019. 224 с.

17. Павленко П. М. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб., П. М. Павленко, С. Ф., Філоненко, О. М., Чередніков, В. В. Трейтяк. – КНАУ. 2017. 392 с.

18. Іванов О.І. Підвищення надійності роботи трансформаторів та електричних машин. Київ: Вид-во ТОВ "Техніка". 2018. 130 с.

19. Шишов В.П. Електричні машини та апарати: навч. посіб. Київ: Вид-во Центр учбової літератури. 2018. 272 с.

20. Шастун С. В. Комплексна оцінка стану енергоефективності в Україні. К: Технологический аудит и резервы производства, № 6/5(32). 2016. С. 36-41.

21. Москаленко Ю.С. Основи технічного обслуговування та ремонту електричних машин. Київ: Вид-во "Нова Книга". 2017. 416 с.

22. Москалюк С. Особливості реалізації державної енергетичної політики України. НУЦЗУ. Державне управління та місцеве самоврядування. 2019. вип.2 (41). С. 145–151.

23. С. С. Антоненко, В. М. Козін, Е. В. Колісніченко. Суми: Сумський державний університет. 2015. 50 с.

24. Устенко О. С. Шляхи впровадження системи енергоменеджменту в територіальних громадах. Наукові праці ПНТУ. 2018. С. 25–29.

25. Величко К. С. Інноваційна стратегія розвитку АТ "Житомирський маслозавод". Кваліфікаційна робота, Поліський національний університет, 2023. URL: https://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/14470/3/Velychko_KS_KR_073_2023.pdf (дата звернення: 18.12.2024)

26. Дейна А. Прогнозування показників енергозбереження та енергоефективності України. Наукові праці МАУП. 2018. вип. 52(1). С. 57–48.

27. Денисюк С. П., Коцар О. В., Чернецька Ю. В. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї. Проєкт «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні». КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2016. 79 с.

28. Денисюк С. П., Щербак С. Д «ISO 50001: Цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні» : Серія навчально-методичних матеріалів: Київ, 2015 р. 147 с.

29. Децентралізація влади: порядок денний на середньострокову перспективу. Аналітична доповідь. Авт.: Жаліло Я. А., Шевченко О. В., Романова В. В. та ін. Національний інститут стратегічних досліджень. К.: 37 2019. 115 с.

30. Грудненко В. І. Інвестиційний потенціал АТ «Житомирський маслозавод» та шляхи його використання. Кваліфікаційна робота. Одеський національний технологічний університет. 2024. URL: https://cardfile.ontu.edu.ua/items/df9ae22b-411c-4c7e-bb33-99d53cac4743 (дата звернення: 18.12.2024).

31. Юринець З. В. Інноваційні стратегії в системі підвищення конкуренто-спроможності економіки України. Львів. 2016. 519 с.

32. Іваненко О. В Проблема розмежування категорій «енергозбереження» та «енергоефективність» в управлінні підприємством. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. Вип. 5. Ч. 2. Херсон: Вид-во ХДУ. 2017. С. 103-105.

33. Гаприндашвілі Б. В. Енергозбереження як чинник підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств. Бізнес Інформ. № 8. Харків: Вид-во ХНЕУ. 2017. С. 213-217.

34. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія. Вінниця: ВНТУ. 2017. 346 с.

35. Співак Я. О. Енергозбереження як фактор економічного зростання України. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент. Вип. 10. Одеса: Вид-во МГУ. 2018. С. 208-210.

36. Співак Я. О. Реалізація потенціалу енергозбереження в України. Науковий вісник Херсонського державного університету. Вип. 11. Ч. 2. Херсон: Вид-во ХДУ. 2018. С. 100-103.

37. Іпполітова І. Я. Сорокотяженко К. С. Формування організаційноекономічного механізму енергозбереження на підприємстві. Глобальні та національні проблеми економіки. Вип.8. 2018. С. 406–411.

38. Гевко Б. Р. Організаційно-економічний механізм енергозбереження на підприємстві, його сутність та концептуальна модель. Економічний вісник Дніпровської політехніки. № 2 (54). Дніпро: Вид-во НГУ. 2019. С. 99-106

ДОДАТКИ

Презентація доповіді (слайд 3)

1.2. Основні напрямки підвищення енергоефективності

- Основні напрямки підвищення енергоефективності включають як технічні рішення щодо модернізації виробництва, так і організаційні заходи, що змінюють підходи до управління енергоресурсами на підприємстві.
- Ще одним глибинним напрямом є перехід від класичного підходу до обліку енергії до концепції управління енергетичними потоками як бізнес-процесом. Це передбачає не лише технічне обладнання лічильниками, а й впровадження систем контролінгу, що дозволяють кожному цеху, дільниці чи виробничій лінії мати свої показники енерговитрат і відповідати за їх зниження.

Напрямок	Суть заходу	Очікуваний ефект	Пояснення
Оптимізація технологічних процесів	Перегляд режимів роботи обладнання, зменшення простоїв	Зниження витрат енергії на одиницю продукції	Зменшення непотрібного споживання енергії в періоди низького навантаження
Впровадження автоматизованих систем управління енергоспоживанням	Встановлення АСКОЕ, інтеграція з ERP/SCADA системами	Підвищення точності контролю, оперативне виявлення втрат	Дає змогу бачити реальну картину витрат у розрізі підрозділів
Використання відновлюваних джерел енергії	Встановлення сонячних панелей, теплових насосів, біоенергетичних установок	Часткове заміщення зовнішнього постачання, стабільність витрат	Зменшення залежності від ринкових коливань цін на енергоносії
Теплоутеплення виробничих приміщень	Реконструкція вікон, дахів, теплоізоляція трубопроводів	Зменшення втрат теплової енергії до 30%	Актуально для підприємств із великими цехами або старими будівлями
Модернізація електроприводів	Заміна двигунів старого типу на високоефективні з частотними перетворювачами	Зниження електроспоживання до 40% на окремих ділянках	Частотне регулювання дозволяє уникати пікових навантажень
Рекуперація тепла	Використання залишкового тепла димових газів або відпрацьованого повітря	Виробництво гарячої води або підігрів повітря без додаткових витрат	Особливо ефективно в металургії, машинобудуванні, харчовій промисловості

Презентація доповіді (слайд 5)

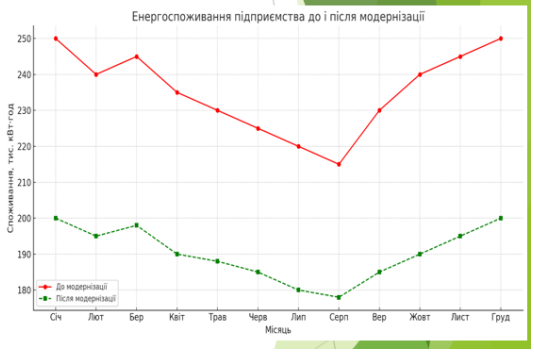
2.2. Структура енергоспоживання та джерела енергії

Вид енергії	Джерело постачання	Частка у загальному споживанні (%)	Сфера використання	Коментар щодо ефективності та потенціалу
Електроенергія	Централізована мережа + генерація (ТЕК)	52	Приводи обладнання, компресори, освітлення	Найвищий обсяг споживання; є потенціал до зменшення через оптимізацію
Теплова енергія	Власна котельня, когенерація	28	Обігрів приміщень, технічні потреби	Високі втрати на транспортування; потрібна модернізація трубопроводів
Газ природний	Національний оператор	12	Генерація тепла, гаряча вода	Висока залежність від ціни; доцільне часткове заміщення біоенергією
Дизельне паливо	Закупівля через тендер	5	Резервне живлення, транспорт	Нерегулярне використання, але важливе для аварійної стійкості
Відновлювана енергія	Фотоелектричні панелі (локальні)	3	Допоміжне живлення, адміністративні будівлі	Мала частка, але стабільно зростає; перспективна зона розвитку

Продовження презентації доповіді (слайд 6)

2.4. Оцінка рівня енергоефективності

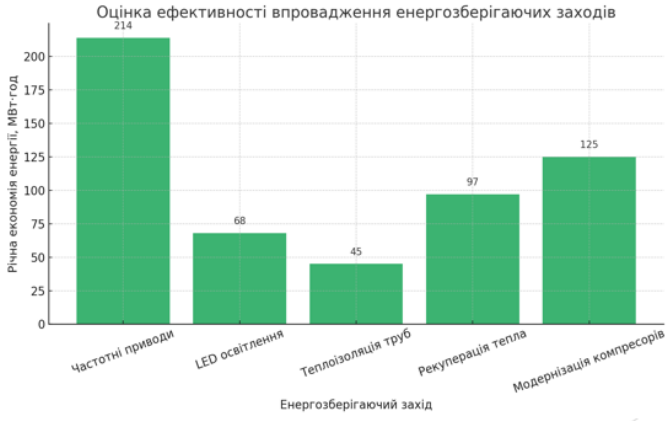
- У межах проведеного аналізу можна констатувати, що рівень енергоефективності підприємства є середнім за галузевими мірками, проте має суттєвий потенціал для зростання. За рахунок заміни зношеного обладнання, впровадження сучасних засобів обліку та диспетчеризації, оптимізації роботи систем опалення та стисненого повітря, підприємство може скоротити витрати енергії на 15–25%, з відповідним економічним ефектом.
- З огляду на це, оцінка рівня енергоефективності має носити багатовимірний характер. Вона не повинна обмежуватися лише аналізом чисел — вона має враховувати контекст прийняття рішень, гнучкість систем, можливість реакції на зміну навантаження, чутливість до вартості енергоносіїв та здатність підприємства інтегрувати інновації.



Презентація доповіді (слайд 11)

4.2. Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів

- Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих заходів на промисловому підприємстві, зокрема на прикладі АТ «МОТОР СІЧ», повинна базуватись не лише на прямій економії енергоносіїв, а й на мультиплікативному ефекті, який ці заходи справляють на інші показники виробничої діяльності. Наприклад, впровадження частотного регулювання електроприводів не лише знижує енергоспоживання, а й істотно зменшує знос механічних елементів обладнання, подовжуючи міжремонтні інтервали та знижуючи ризики аварійних зупинок. Це своєю чергою впливає на стабільність графіка виробництва та підвищення коефіцієнта використання виробничих потужностей.



Додаток 1.1 Енергоефективність та енергозбереження

Енергоефективність та енергозбереження



Енергоефективність та енергозбереження - це перш за все дбайливе ставлення до енергії в будь-якій сфері і її нешкідливе виробництво. Хто ефективно використовує енергію, той запобігає зловживанню ресурсами і охороняє навколишнє середовище.

Економія енергії дозволить значно зменшити забруднення навколишнього середовища. Раціональне використання й збереження енергії - це не лише економічно, а й екологічно вигідно.

Додаток 1.2 Енергетична безпека



Додаток 1.3 Енергетична ефективність: основні поняття та складові

Управління у сфері забезпечення енергетичної ефективності у межах своїх повноважень здійснюють:		**Планування у сфері енергоефективності:**
Кабінет Міністрів України		Національний план дій з енергоефективності (Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року, **затверджений 29.12.2021**)
центральний орган виконавчої влади, **що реалізує** державну політику у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива	Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України	державні цільові програми
центральний орган виконавчої влади, **що забезпечує формування** державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива (крім питань забезпечення енергоефективності будівель та інших споруд)	Міністерство енергетики України	Концепція впровадження «розумних мереж» в Україні середньостроковий План заходів із впровадження «розумних мереж» в Україні
центральний орган виконавчої влади, **що забезпечує формування** державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель	Міністерство розвитку громад та територій України	Стратегія термомодернізації будівель (станом на 09.11.2021 **розробка тривала**)
центральний орган виконавчої влади, **що забезпечує формування та реалізує** державну політику економічного, соціального розвитку і торгівлі, державну промислову політику, державну політику у сфері технічного регулювання, державних та публічних закупівель	Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України	
Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг		
інші органи виконавчої влади відповідно до закону		регіональні програми забезпечення енергоефективності
органи місцевого самоврядування		місцеві енергетичні плани, місцеві цільові програми енергоефективності

Додаток 1.4 Втрата електроенергії



Додаток 1.5 Плакат. Підвищення енергоефективності механічного заводу № 1



Додаток 1.6 Плакат. Плакат. Підвищення енергоефективності механічного заводу № 2

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНННОСТІ МЕХАНІЧНОГО ЗАВОДУ

1 ВСТУП

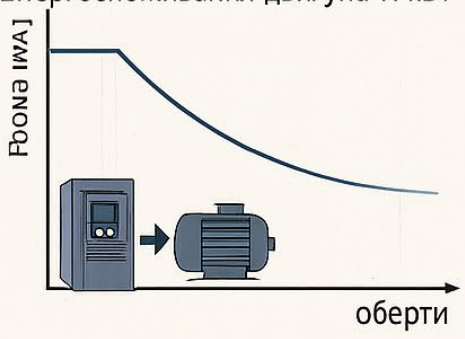
Енергоефістість— клічкий фактор сталово розвитку промисловних підлриемстах. знмщює енергоострат земнкцнуки собількісті проуші.

3 ЕНЕРГОАУДИТ; ДО ПІСІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ

Показник	До впроваженння
Загальїіе енергаслження	120 000
Поштраженння	100 %
Влстяит на ене-ертю. трнЎа	480 000
CO_3 викиди	120
Стим викиди	120

4 ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Енергоспоживання двигуна 11 кВт



3 ОСНОВНІ НАЛРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

- Модернізашя електродиг чнн заміна старих на енергошнні
- Упровадження третовних
- Теплоутилізаші́я
- Системи авгоматизаіі
- кѳнтроль та отимізна етивання
- Освітленння

4 РЕЗУЛЬТАТИ

- ✓ Ексномія електренергії – 30%
- ✓ Зниженняви кідів CO_2 – 30%
- ✓ Період окупності 12–18 міс.

5 РЕЗУЛЬТАТИ

- ✓ Економія електронертеіі
- ✓ 30 %
- ✓ Зниження викідів CO_2 – 30%

6 ВИСНОВКИ

Інвестиші в енергоефективість швидко окулаються, підвйшуюгьконкурегентсло-проможність лідприємства та слрияють екологічну безлеку.

Додаток 1.7 Плакат. Правильного споживання енергії

