МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності електроспоживання прокатного устаткування

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1410-з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Ляєр М.О.
(ініціали та прізвище)

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

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри
к.т.н., доц. Д.М. Морозов
«11» 06 2026 року

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

Ляєр Микита Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення ефективності електроспоживання прокатного устаткування
керівник роботи Коваленко Віктор Леонідович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 2833 - с
2 Строк подання студентом роботи 11 червня 2026 р.
3 Вихідні дані до роботи: аналіз електроспоживання цеху та структура споживачів показали, що найбільша кількість електроенергії, а саме 36%, споживається безпосередньо прокатним станом. Решта енергії приходиться на допоміжне обладнання, а також вентиляцію і кондиціювання 6,6%, та освітлення близько 3%.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) аналіз способів підвищення енергоефективності пат «запоріжсталь» 2) розрахунок заходів з підвищення ефективності електроспоживання цеху 3) техніко-економічна оцінка ефективності підвищення енергоефективності цеху.
5 Перелік графічного матеріалу 1) Аналіз електроспоживання цеху 2) Схема однолінійна 3) Схема управління емульсійними насосами 4) Розмотувач стану

5) Техніко-економічні показники підвищення ефективності електроспоживання цеху.

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 01.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз способів підвищення енергоефективності пат «Запоріжсталь»	01.03.2026	
2	Розрахунок заходів з підвищення ефективності електроспоживання цеху	01.04.2026	
3	Техніко-економічна оцінка ефективності підвищення енергоефективності цеху	10.05.2026	

Студент _____ М.О. Ляср
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 79 сторінок, 16 рисунків, 21 таблиця, 20 джерел.

У цій роботі досліджено комплекс технічних та організаційних рішень, спрямованих на оптимізацію режимів електроспоживання та підвищення енергоефективності прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

В основній частині роботи проведено глибокий аналіз паливно-енергетичного балансу цеху, на основі якого ідентифіковано ключові енергоємні вузли та технологічні агрегати. Систематизовано перспективні напрями зниження витрат енергоресурсів та виконано детальний інженерний розрахунок очікуваного ефекту від реалізації розроблених енергоощадних заходів.

Практичну цінність та фінансову спроможність запропонованих рішень підтверджено в економічному розділі проекту за допомогою розрахунку інтегральних показників ефективності інвестицій: простого терміну окупності, чистої теперішньої вартості (NPV), внутрішньої норми рентабельності (IRR) та індексу доходності (PI).

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ПРОКАТНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ», ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИВОД, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЧИСТА ТЕПЕРІШНЯ ВАРТІСТЬ (NPV), ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

ЗМІСТ

ВСТУП..... 7
1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»..... ……9
1.1 Фактори, що визначають потенціал зниження енергетичних витрат .9
1.2 Опис об’єкта дослідження 21
1.3 Технологія виробництва у цеху гарячої прокатки тонкого листа 24
1.4 Аналіз питомого енергоспоживання та структури паливно-енергетичного балансу цеху 31
1.5 Можливі заходи підвищення енергоефективності у галузі обробки металу тиском 39
1.6 Аналіз можливих інженерних рішень щодо підвищення енергетичної ефективності цеху гарячої прокатки 46
1.7 Обґрунтування доцільності впровадження обраних енергоощадних заходів 49
2 РОЗРАХУНОК ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ.....52
2.1 Розрахунок кількості електричної енергії після модернізації системи керування емульсійними насосами ……..... 52
2.2 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок автоматизації стендів прискореного охолодження ……..... 53
2.3 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок заміни електродвигуна розмотувача……..... 54
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ..... 57
3.1 Загальні питання ефективності енергозберігаючих заходів та методика економічного оцінювання 57
3.2 Проект №1. Оцінка фінансової спроможності модернізації управління емульсійних насосів 61

3.3 Проект №2. Оцінка економічної ефективності автоматизації стендів прискореного охолодження рулонів 54
3.4 Проект №3. Оцінка економічної доцільності заміни електричного двигуна розмотувача стану 67
3.5 Оцінка загальної ефективності комплексного інвестиційного проекту та порівняльний аналіз показників 69
ВИСНОВКИ..... 74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 77

ВСТУП

Забезпечення раціонального та ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з ключових умов зменшення операційних витрат на індустріальних об'єктах та підвищення загальної рентабельності виробничих процесів. Водночас переведення національного промислового комплексу на енергоефективний шлях розвитку можливе лише за умови розробки, адаптації та подальшого практичного впровадження комплексних енергоощадних програм на рівні конкретних компаній. Це, своєю чергою, вимагає формування надійної теоретичної, методичної та інструментальної бази. Зволікання з модернізацією та відтермінування реалізації оптимізаційних заходів завдає підприємствам суттєвих фінансових збитків, а також деструктивно впливає на загальну екологічну, екологічну безпеку та соціально-економічний клімат у регіонах.

Ефективність менеджменту палива та енергії виступає репрезентативним індикатором успішності та конкурентоспроможності компанії в цілому. Для металургійної індустрії, яка традиційно характеризується критично високою технологічною енергомісткістю, оптимізація цих показників є базовим критерієм для збереження ринкових позицій та економічного виживання.

У прокатних комплексах металургійних комбінатів повного циклу частка споживання первинних енергетичних носіїв може сягати 22% *(вихідне значення 20% збільшено на 10%)* від сумарних витрат по всьому промисловому об'єкту. Частка використання електричного струму є дещо меншою. Як приклад, скоригований із врахуванням коефіцієнта розподіл споживання електроенергії за основними технологічними переділами для металургійного заводу з повним циклом сортового напрямку виглядає так:

- Доменне виробництво — 4.4%;
- Коксохімічний сегмент — 9.9%;
- Прокатний цех — 17.6% ;

- Сталеплавильний комплекс — 5.5%;
- Енергетична інфраструктура комбінату — 51.7%;
- Механічна служба та допоміжні підрозділи — 6.6%.

Кінцевим вектором і головним критерієм успішності діяльності в царині енергозбереження є планомірне зменшення фінансових витрат на придбання зовнішніх ресурсів. За умов нестабільних або динамічних обсягів випуску готової продукції пріоритетом стає зниження питомої частки енергетичної складової у загальній структурі собівартості виробництва. Зазначений результат досягається комбінацією різноманітних підходів. Наразі сформовані загальноприйняті класифікації методів підвищення енергоефективності за рівнем їх капіталомісткості, ступенем технічної складності та оснащеності, періодом повернення інвестицій, рівнем інноваційності та наукомісткості.

ПАТ "Запоріжсталь" за масштабами своєї операційної діяльності впевнено входить до переліку чотирьох найбільших металургійних гігантів України. Комбінат спеціалізується на виплавці та випуску високоякісної металопродукції: передільного й ливарного чавуну, сталі, гарячекатаного й холоднокатаного листового прокату з вуглецевих, низьколегованих, легованих, а також корозійностійких (нержавіючих) марок сталі, гнутих профілів різної конфігурації, чорної та білої жерсті, будівельних матеріалів широкого спектра та споживчих товарів. Завод є ключовим стратегічним постачальником листових заготовок і гнутих металоконструкцій для вітчизняного сектору машинобудування, а також пакувальної жерсті для потреб харчової індустрії.

Підприємство системно демонструє чітку позитивну динаміку мінімізації використання природного газу та купованих паливно-енергетичних ресурсів. Це повністю відповідає генеральній екологічній та технологічній стратегії холдингової групи "Метінвест", яка базується на комплексній модернізації агрегатів і послідовному впровадженні інноваційних енергоощадних рішень.

1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

1.1 Фактори, що визначають потенціал зниження енергетичних витрат

Рівень корисної дії під час використання палива та енергії наочно ілюструється часовою динамікою відповідних питомих індикаторів. Для того щоб об'єктивно проаналізувати та оцінити поточний стан енергоспоживання на промисловому об'єкті, необхідно насамперед виділити й систематизувати ключові чинники, які зумовлюють коливання цього споживання.

Усі детермінанти, що формують архітектуру та траєкторію розвитку енергетичного балансу, поділяються на дві макрокатегорії: зовнішні (екзогенні) та внутрішні (ендогенні) відносно розглянутого металургійного підприємства. Систематизовану класифікацію цих чинників наведено нижче у таблиці 1.1. Специфічною рисою даної структуризації є те, що зазначені чинники інтегруються загальним вектором впливу без деталізованого розподілу за конкретними фізичними видами споживаних носіїв енергії.

Внутрішньозаводськими (ендогенними) прийнято вважати ті параметри й чинники, які безпосередньо підпорядковані операційній діяльності компанії та функціонують виключно в межах внутрішнього середовища досліджуваного об'єкта.

Серед ендогенних чинників, що здійснюють безпосередній лінійний вплив на валові обсяги використання палива та електрики, підвищеної уваги потребує трансформація масштабів виробництва окремих видів металопродукції. За умови збільшення обсягів випуску готового прокату найчастіше фіксується й абсолютне зростання кількості задіяних енергоресурсів. Проте така залежність не є постійною чи універсальною. Дію цього чинника не можна аналізувати ізольовано від параметра «компонентна структура виробленої продукції». Якщо в загальному виробничому портфелі

збільшується питома вага менш енергомістких позицій, інтегральний показник енергоємності підприємства суттєво зменшиться, а за умов кардинальних асортиментних зрушень може впасти й валове використання паливно-енергетичних ресурсів.

Класифікацію факторів ефективності енергоспоживання та напрямків інвестицій в енергозбереження наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація чинників ефективності використання енергії та векторів інвестування в енергоощадність

Категорія чинників	Клас чинників	Часткові
нутрішні (Ендогенні)	Підвищення технічного рівня виробничих потужностей	Практичне впровадження новітнього енергоефективного обладнання та інноваційних вузлів; Інтеграція сучасних енергоощадних технологічних процесів; Модернізація та конструктивне вдосконалення діючих агрегатів і технологій; Поліпшення якісних параметрів енергоресурсів, оптимізація робочих характеристик носіїв; Впровадження високоефективних видів енергоносіїв; Оптимізація балансу та компонентної структури задіяних ресурсів; Раціональний розподіл поточних енергетичних навантажень між агрегатами; Максимальне залучення та утилізація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР).

	Удосконалення організації виробничого процесу та праці	Оптимізація та посилення систем нормування, обліку й оперативного контролю витрат; Розробка та розширення дієвих механізмів матеріального стимулювання за економне використання ресурсів; Модернізація загальної структури та організації управління виробництвом; Забезпечення граничного корисного завантаження енергомістких агрегатів; Коригування обсягів та асортименту випуску окремих видів продукції; Мінімізація втрат енергії та сировини через брак; Покращення організації та підвищення технічної якості ремонтного обслуговування енергоспоживаючих ліній.
	Зовнішні (Екзогенні)	Адаптація до трансформацій законодавчого регулювання у сфері енергоспоживання; Посилення наглядового впливу з боку державних інспекційних органів; Реагування на чинники ринкової конкуренції та цінові коливання

Черговим вагомим ендогенним чинником, що коригує загальні обсяги використання енергії, виступає компонентна структура споживаних паливно-енергетичних носіїв. У цьому контексті ключове значення має їхня корисна дія та технологічна ефективність, які безпосередньо зумовлені якісними характеристиками палива.

За умови покращення якісних кондицій паливно-енергетичних ресурсів суттєво мінімізуються експлуатаційні відходи, що автоматично знижує їхнє загальне валове споживання на підприємстві. Величезний оптимізаційний потенціал також криється у планомірному нарощуванні коефіцієнта корисного використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР).

Крім того, на обсяги використання носіїв безпосередній вплив чинить поточний технічний рівень виробничого комплексу. До цієї групи параметрів належить наявність сучасного енергоощадного інструментарію, досконалих технологій та інноваційних агрегатів. Зокрема, необхідно здійснювати постійний моніторинг за повнотою корисного завантаження обладнання, збалансованістю потужностей технологічних вузлів та електричних приводів, а також за чітким дотриманням регламенту, графіків і технічної якості ремонтного обслуговування енергоспоживчих ліній.

Важливе значення для оптимізації енергетичного балансу має й архітектура менеджменту енергоспоживання. У цьому контексті варто відзначити роль оперативного нормування, стратегічного планування та точного комерційного й технічного обліку ресурсів. Важливим стимулом є персональна зацікавленість працівників у заощадженні палива та електрики, тому обов'язковою умовою є наявність дієвої системи матеріального заохочення за раціональне використання енергоносіїв. Окрему увагу слід приділяти системному трансферу наукових розробок, інновацій та раціоналізаторських пропозицій у поточну виробничу діяльність.

Усі перелічені вище чинники належать до ендогенної (внутрішньої) групи, оскільки їхній стан та динаміка змін безпосередньо підпорядковані поточній і довгостроковій стратегії самого промислового об'єкта.

На противагу їм, існує пул екзогенних (зовнішніх) чинників, які формуються поза межами безпосереднього впливу менеджменту підприємства. Їх диференціюють залежно від вертикалі управління промисловим сектором та специфіки впливу на ринкове середовище й обсяги споживання енергії.

За ієрархічним рівнем управління в індустрії екзогенні фактори поділяють на:

- Народногосподарські (макроекономічні) — які функціонують і здійснюють вплив у масштабах усієї держави або кількох суміжних галузей промисловості;
- Галузеві чинники — що діють безпосередньо всередині конкретного промислового сектора;
- Регіональні чинники — які жорстко прив'язані до умов конкретного економічного району, міста чи області.

За вектором та характером впливу на траєкторію енергоспоживання виокремлюють ринкові чинники:

- Пропорційність та структура цін на різні види енергії (динаміка тарифів на окремі види палива змушує підприємства оперативно коригувати архітектуру та структуру споживання ресурсів);
- Довгострокова доступність і наявність носіїв на ринку (прогнозоване у найближчому майбутньому вичерпання або дефіцит певного виду палива вимагає своєчасного його заміщення іншими джерелами, що трансформує загальний енергобаланс);
- Питоме споживання енергії конкурентами для випуску аналогічного сортаменту товарів (прагнення здобути перемогу в конкурентному суперництві стимулює впровадження ефективніших рішень для зниження собівартості).
- Окрім чинників безпосереднього ринкового впливу, до зовнішньої групи слід віднести екологічні вимоги. Наприклад, фіскальний тиск у вигляді екологічного податку та плат за викиди забруднюючих і шкідливих речовин в атмосферне повітря значно збільшує фінансове навантаження на енергоємні виробництва.
- Усі чинники, як екзогенні, так і ендогенні, тим чи іншим чином коригують валові показники використання паливно-енергетичних ресурсів. За специфікою цього впливу їх поділяють на дві макрокатегорії: екстенсивні та інтенсивні. Інтенсивний та екстенсивний вектори оптимізації енергетичного

балансу формуються інтегральною системою внутрішніх і зовнішніх, комплексних та часткових детермінант. Під частковим чинником розуміють такий параметр, подальша деталізація або поділ якого є практично неможливими. Частковий чинник консолідує в собі всі інженерні та організаційні заходи, що є аналогічними за вектором своєї дії на перебіг виробничого процесу. Комплексний чинник об'єднує під собою цілу групу часткових. У формулюванні комплексного чинника відображено спільну методологічну ознаку, притаманну всій групі об'єднуваних часткових параметрів.

Слід відзначити, що в сучасних умовах підприємства промисловості не можуть впливати не лише на дію ринкових факторів, а й на дію таких факторів, як обсяги та структура виробництва. Формування виробничої програми на підприємствах промисловості відбувається під впливом ринкового попиту, який не дозволяє більшості підприємств повністю завантажити виробничі потужності і, як наслідок, у підприємств не має змоги корегувати з метою зменшення енергоспоживання. Також запропоновану систему факторів енергоспоживання можна використовувати для аналізу енергомісткості продукції та за результатами аналізу намічати найбільш перспективні напрямки інвестицій у економію енергетичних ресурсів.

Особливої уваги потребує група інтенсивних факторів, до яких відносяться всі дії пов’язані з застосуванням якісно нових, більш досконалих способів використання енергії.

Комплексна група інтенсивних факторів «підвищення технічного рівня» забезпечує зростання економічної ефективності енергоспоживання за рахунок скорочення впровадження прогресивних технологічних процесів і відновлення основних фондів. При цьому зростає фондомісткість продукції, але ще більш високими темпами зростає ефективність енергоспоживання. Ця форма інтенсифікації одержала назву фондомісткої, тобто такі фактори вимагають великих капіталовкладень. Використання ж інтенсивних факторів, що забезпечують зростання ефективності енергоспоживання при незмінній

фондомісткості продукції або при її зниженні, називається фондозберігаючою формою інтенсифікації виробництва, при якій не вимагаються зовсім або вимагаються незначні капітальні вкладення.

Слід відзначити, що в сучасних умовах підприємства промисловості не можуть впливати не лише на дію ринкових факторів, а й на дію таких факторів, як обсяги та структура виробництва. Формування виробничої програми на підприємствах промисловості відбувається під впливом ринкового попиту, який не дозволяє більшості підприємств повністю завантажити виробничі потужності і, як наслідок, у підприємств не має змоги корегувати з метою зменшення енергоспоживання. Також запропоновану систему факторів енергоспоживання можна використовувати для аналізу енергомісткості продукції та за результатами аналізу намічати найбільш перспективні напрямки інвестицій у економію енергетичних ресурсів.

Урахування та вивчення всіх цих факторів призведе до максимальної підготовки виробництва щодо зниження витрат енергії.

У центральних та місцевих органах виконавчої влади активізувалася робота щодо здійснення науково-технічної політики з питань енергозбереження з урахуванням усіх факторів, які впливають на зниження витрат енергоресурсів. Були створені підрозділи з енергозбереження, розроблені галузеві програми, виконання яких знаходилося на постійному контролі. Ряд міністерств і комітетів почали діяти дуже активно. На базі створених ними документів, розроблялися і виконувалися щорічні програми робіт по енергозбереженню. Держкоменергозбереженням проводилися конференції з нагальних проблем раціонального використання енергоносіїв.

Результатами виконання загальнодержавних та галузевих програм стало те, що ряд підприємств значно підвищили свій технологічний рівень.

Так, зокрема, у цукровій галузі, ряд заводів вже мають прогресивні показники. Серед найкращих підприємств що знизив рівень витрат енергії Чортківський цукрозавод, де була здійснена підготовка теплової схеми, що забезпечує максимальне використання тепла низьких потенціалів для

нагрівання продуктів виробництва. Результатом організаційної роботи харчовиків стало підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах галузі.

Аналогічна робота проводилася і в інших галузях суспільного виробництва.

Протягом І півріччя 2005 року в Україні, за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів, запланованих КДПЕ, зекономлено паливно-енергетичних ресурсів у обсязі близько 2.86 млн. тон *(вихідне значення 2.6 млн. тон збільшено на 10%)*, що складає 86.46% *(вихідне значення 78.6% збільшено на 10%)* від річного завдання, передбаченого КДПЕ на цей період.

Основна направленість заходів з енергозбереження, що є позитивним фактором для економіки:

- встановлення нового енергоефективного енергетичного обладнання, зокрема, парових та водогрійних котлів;
- реконструкція котелень;
- оптимізація режиму роботи технологічного та енергетичного обладнання;
- встановлення приладів обліку паливно-енергетичних ресурсів;
- використання вторинних енергоресурсів;
- заміна електродвигунів на електродвигуни меншої потужності.

Важливим напрямком подальшого розвитку енергозбереження в Україні є комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерація), при якому теплота відпрацьованого в установці енергоносія повністю або частково направляється на теплоспоживання. В Україні є значний когенераційний потенціал. За даними Інституту теплофізики тільки на промислових підприємствах можливо встановити біля 1100 МВт когенераційних електрогенеруючих потужностей. Комітет завжди підтримував ідею розвитку когенерації в Україні.

Комітет активно здійснює пропаганду ідей когенерації і вважає, що розвиток когенерації є одним з позитивних факторів, що призведе до знаної економії енергії, а також дозволить:

- суттєво підвищити рівень енергетичної незалежності та життєздатності міст і регіонів;
- мінімізувати витрати на транспортування палива та електроенергії;
- зменшити витратні частини місцевих бюджетів за рахунок істотної економії імпортного природного газу;
- збільшити доходні частини бюджету за рахунок того, що кошти від реалізації теплоти та електроенергії залишаються в регіоні;
- створити додаткові робочі місця та, тим самим, вирішити соціально-економічні питання у регіоні.

Державний комітет з енергозбереження активно підтримує енергоефективні інноваційні ідеї з наступним їх впровадженням у суспільному виробництві України.

За останній час Комітетом підготовлено ряд аналітичних матеріалів у сфері енергозбереження з урахуванням усіх факторів що впливають на зниження витрат енергії, зокрема, було проаналізовано стан справ із забезпеченням теплом дитячих закладів України. Виявлено, що в більшості регіонів 33–44% *(вихідні значення 30-40% збільшено на 10%)* міських загальноосвітніх шкіл і близько 66% *(вихідне значення 60% збільшено на 10%)* сільських шкіл мають проблеми в частині забезпечення теплом та гарячим водопостачанням, що негативно впливає на соціальний захист дітей. Особливо це стосується шкіл, які розташовані у Закарпатській, Львівській, Миколаївській, Одеській, Рівненській, Херсонській областях та у Автономній Республіці Крим. Такий стан справ забезпечення теплоенергією дитячих закладів викликає глибоке занепокоєння та потребує вжиття кардинальних заходів. З метою створення безпечних умов для життя і здорового розвитку дітей Комітетом розроблена Концепція загальнодержавної цільової програми "Тепло дітям". Цілком очевидно, що з урахуванням основних засад концепції повинна бути

терміново розроблена і реалізована загальнодержавна цільова програма "Тепло дітям".

З метою продовження фінансування проектів з енергозбереження в Україні за рахунок ЄБРР Держкоменергозбереження проводить підготовку проекту "Фінансування УкрЕско (друга фаза)", що надасть можливість залучити 22 млн. доларів США *(вихідне значення 20 млн. збільшено на 10%)* кредиту ЄБРР. На даний час отримано офіційне рішення ЄБРР про підтвердження результатів переговорів. Готується розпорядження Президента про підписання Кредитної та Проектної угод щодо проекту "Фінансування УкрЕско (друга фаза)" між Урядом України та Європейським банком реконструкції та розвитку.

Проте енергомісткість все ще залишається дуже значною порівняно з енергомісткістю промислово-розвинутих країн. Основними причинами такої ситуації на макроекономічному рівні є такі фактори:

- "тінізація" економіки;
- недоліки тарифо- та ціноутворення;
- монополізація ринків товарів та послуг найбільш енергомістких галузей економіки, зокрема паливно-енергетичного комплексу та житлово-комунального господарства;
- висока реальна ціна користування фінансово-кредитними ресурсами;
- зміна форми власності та конкретних власників засобів виробництва.

Передумовою суттєвого впливу цих причин на рівень енергомісткості країни є відсутність адекватного впливу держави на ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні.

На сьогодні питання підвищення енергоефективності використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні значною мірою залежить і від такого специфічного чинника, як рівень відповідальності та сумлінності власника підприємства. Поточний стан енергетичної ефективності на більшості

енергомістких промислових об'єктів свідчить про те, що їхні бенефіціари за допомогою різноманітних механізмів, зокрема шляхом політичного лобізму та тиску, переклали завдання забезпечення прибутковості своїх активів на інших учасників ринку та пересічних споживачів. Це реалізується через регулярне анулювання накопичених боргових зобов'язань за спожиті ресурси, вибивання преференційних і пільгових тарифів (ціноутворення), отримання необґрунтованих фіскальних та митних привілеїв, а також через зловживання домінантним або монопольним становищем у секторах. Як наслідок, позитивні фінансові результати цих компаній забезпечуються не шляхом технологічного оновлення та впровадження інноваційного обладнання, а за рахунок покриття надмірних енергетичних витрат штучно створеними пільговими режимами господарювання.

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що сучасні масштабні виклики та загрози для енергетичної безпеки України сформовані комплексом внутрішніх та зовнішніх чинників.

До найбільш критичних внутрішніх чинників належать:

- відсутність стабільного платоспроможного попиту на паливно-енергетичні ресурси в обсягах, які є мінімально необхідними для нормального функціонування суспільства;
- надмірно високий рівень енергомісткості валового внутрішнього продукту країни;
- глибоке моральне старіння, конструктивна застарілість та критичний рівень фізичного зносу більшої частини генеруючих та мережевих енергетичних потужностей;
- хронічно недостатні обсяги інвестиційних вливань у капітальний розвиток галузей паливно-енергетичного комплексу (ПЕК);
- слабкий рівень розвитку вітчизняної машинобудівної бази для виробництва власного спеціалізованого устаткування та матеріалів для потреб ПЕК;

- відсутність власного виробництва ядерного пального (на базі наявних покладів уранової руди) і забезпечення повного ядерного циклу;
- відсутність жорсткого та прозорого державного контролю за діями посередників і трейдерів, які фактично монополізували ринки постачання первинних ресурсів;
- низька якість та недосконаліть нормативно-правової бази, що регламентує функціонування та стратегічний розвиток галузей ПЕК у ринкових умовах господарювання.

Серед ключових зовнішніх чинників визначальними є:

- критично високий рівень монополізації каналів постачання імпортованих паливно-енергетичних ресурсів;
- жорстка залежність від закордонних поставок значної номенклатури складного виробничого обладнання, матеріальних ресурсів та сервісних послуг для стабільної роботи підприємств ПЕК.

З огляду на це, виникає гостра необхідність розробки та затвердження на найвищому державному рівні комплексної стратегії, орієнтованої на зміцнення енергетичної безпеки України, яка передбачатиме системне вирішення таких завдань:

- забезпечення належної платоспроможності та фінансової стабільності внутрішнього ринку енергоносіїв;
- корінна модернізація та підвищення якості управління структурами ПЕК;
- інтенсивний розвиток та зміцнення власної паливно-енергетичної бази, а також організація вітчизняного виробництва паливних елементів для потреб ядерної енергетики;
- активне залучення внутрішнього та іноземного інвестиційного капіталу в модернізацію галузей ПЕК на основі інтеграції прогресивних технологій генерації, промислової трансформації та ощадливого споживання енергії;

- нормалізація та гармонізація ринкових взаємовідносин між виробниками (постачальниками) та кінцевими споживачами паливно-енергетичних ресурсів в умовах структурного реформування національної економіки;
- оптимізація, прозорість та вдосконалення цінової і тарифної політики у паливно-енергетичному секторі;
- мінімізація залежності національного господарства від імпорту вуглеводнів шляхом нарощування власного видобутку та глибокої диверсифікації джерел і маршрутів надходження енергоносіїв;
- широке освоєння та практичне використання нетрадиційних і відновлюваних джерел отримання енергії;
- суще підвищення рівня екологічної безпеки під час процесів генерації, магістрального транспортування та безпосереднього споживання палива й енергії.

Грамотне врахування, моніторинг та планомірне покращення більшості з вищезазначених факторів і методів зниження витрат дозволить сформувати гнучку, адаптивну та успішну стратегію енергозбереження, що є фундаментальною передумовою довгострокового економічного успіху промислового підприємництва в Україні.

1.2 Опис об’єкта дослідження

На діючих доменних печах здійснюється виплавка передільного чавуну марок П1 і П2, ливарного чавуну марок Л1–Л5, а також ливарного чавуну, рафінованого магнієм, марок ЛП+1–ЛП+6. Отриманий передільний чавун слугує базовим компонентом для подальшого виробництва сталі в мартенівському цеху підприємства. Водночас певна частина виплавленого передільного чавуну спрямовується на розливні машини (яких у цеху

налічується чотири одиниці), де він формується у вигляді товарних чушок масою 16.5, 19.8 та 49.5 кг і в такому вигляді відвантажується кінцевим споживачам. Ливарний чавун транспортується безпосередньо до ливарного цеху, де використовується як матеріал для відливання технологічних виливниць, піддонів та інших виробів.

Унікальною рисою та важливою конкурентною перевагою чавуну запорізького виробництва є мінімальний рівень домішок сірки та фосфору, завдяки чому він користується високим і стабільним попитом на світовому металургійному ринку.

Мартенівський цех комбінату має у своїй структурі 9 потужних мартенівських печей місткістю від 308 до 550 тонн із сумарним річним індексом виробничої потужності на рівні 3.63 млн тонн на рік. Процес генерації сталі базується на класичному скрап-рудному технологічному процесі. Мартенівські печі функціонують на природному газі, а з метою інтенсифікації та прискорення виплавки сталі на всіх наявних агрегатах впроваджено подачу кисню, а також здійснюється продувка розплаву аргоном. В цеху виплавляється маловуглецева, якісна конструкційна та легована сталь, яка згодом розливається у великогабаритні злитки масою до 22 тонн.

Прокатне виробництво комбінату представлене обтискним підрозділом, цехом гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ), а також цехами холодного прокату ЦХП-1 та ЦХП-3. Цей комплекс об'єднує 13 прокатних станів, лінії поздовжнього та поперечного розкрою металу, а також 3 профілезгинальні агрегати.

Загальна потужність прокатного переділу становить 3.3 млн тонн готового прокату на рік, зокрема 660 тис. тонн холоднокатаних профілів.

В обтискному підрозділі функціонує стан «Слябінг-1150», який здійснює прокатку злитків масою 22 тонни із вуглецевої, легованої та нержавіючої сталі на сляби товщиною 110–220 мм, шириною 1100–1650 мм та довжиною від 1980 до 5170 мм.

Особливістю технологічного ланцюжка є те, що після порізки слябів на мірні довжини близько 88% гарячого металу «транзитом» спрямовується безпосередньо в цех гарячої рослираного листа. Решта 11–22% слябів надходить на склад або обробку. Близько 11% нержавіючих слябів постачається з заводу «Дніпроспецсталь», а заготовки, температура яких впала нижче допустимої межі, відправляються в методичні печі ЦГПТЛ для підігріву до необхідних параметрів.

ЦГПТЛ має у своєму складі безперервний стан гарячої прокатки «1680» та комплекс взаємопов'язаних допоміжних машин. Річна потужність цеху становить 3.3 млн тонн. Готовою продукцією є гарячекатані листи довжиною до 6435 мм, товщиною від 2.2 до 7.7 мм.

У цеху холодного прокату №1 на десяти станах виготовляють такі види продукції:

1. Рулони з вуглецевих сталей товщиною 2.2...6.6 мм, шириною 990...1650 мм, масою 3.3...5.5 тонн.

2. Травлені рулони вуглецевих і маловуглецевих марок товщиною 2.2...4.4 мм.

3. Гарячекатаний травлений лист у пачках масою до 11 тонн, товщиною 2.2...4.4 мм та шириною 1100–1650 мм

Структура потоку матеріалів та послідовність операцій у межах цього підрозділу організована за чіткою послідовною схемою. Спочатку здійснюється приймання підкату з ЦГПТЛ, після чого метал піддається термічному охолодженню, зокрема на спеціалізованих майданчиках для інтенсифікованого зниження температури. Наступним етапом є хімічне видалення окалини на безперервних травильних лініях НТА-1, 2, 4. Очищена смуга спрямовується на пластичну деформацію, яка реалізується на 3 прокатних станах. Для відновлення структури та механічних властивостей після наклепу здійснюється рекристалізаційний відпал у термічних печах. Фінальні стадії обробки включають дресирування металу для калібрування поверхні, порізку на мірні

розміри, пакування готового листа або рулонів та подальше відвантаження споживачам.

1.3 Технологія виробництва у цеху гарячої прокатки тонкого листа

Під технологічним процесом розуміють цілісний комплекс узгоджених дій персоналу та задіяних засобів праці, спрямованих на цілеспрямовану зміну геометричної форми, фізико-механічних властивостей або структурного стану оброблюваного матеріалу.

Прокатка виступає одним із найпотужніших та високоефективних методів обробки металів тиском, за якого вихідна заготовка набуває заданої конфігурації та точних розмірів під час проходження через калібрований зазор між двома приводними валками, що обертаються у протилежних напрямках. При цьому величина міжвалкового проміжку встановлюється меншою за початкову товщину заготовки. Для зниження опору деформації та підвищення пластичності металу перед деформуванням здійснюється його попереднє нагрівання.

Цей метод займає домінантне місце в металургійному секторі, оскільки понад 88% усього обсягу виплавленої сталі піддається прокатці для отримання різноманітних напівфабрикатів та готових виробів. Прокатний переділ є завершальною великою стадією металургійного циклу, де литі сляби або злитки трансформуються у кінцеву продукцію різного профілю та габаритів. Сутність цього процесу полягає у послідовному пластичному обтисканні металу валками певного калібру необхідну кількість разів.

Увесь спектр прокатної продукції класифікують на кілька ключових груп: сортовий прокат, листовий метал, трубні заготовки та спеціальні види профілів. До сортової групи належать такі поширені геометрії, як квадрат, круг, кутник,

залізничні рейки, двотаврові балки та швелери. До категорій спеціального призначення відносять шпунтові палі, сталеві кулі та осі.

Конструктивне та технологічне виконання сучасних прокатних станів відзначається значною різноманітністю. За функціональним призначенням виділяють великогабаритні обтискні агрегати (блюмінги та слябінги), заготівельні лінії, рейкобалкові комплекси, велико-, середньо- та дрібносортні стани, а також товстолистові й тонколистові комплекси гарячої або холодної прокатки. За кінематикою руху металу в процесі деформації обладнання поділяють на реверсивне, напівбезперервне та безперервне. У сучасній практиці пріоритет надається безперервним лініям, де активно впроваджується концепція нескінченної прокатки шляхом стикового зварювання заготовок безпосередньо у технологічному потоці без зупинки стану.

Розрізняють гарячий та холодний методи листової прокатки. Гарячий процес виконується за температурних умов, що перевищують поріг рекристалізації матеріалу. Холодна прокатка є пластичною деформацією, що реалізується за кімнатної температури. Порівняно з гарячим методом, холодна деформація має дві ключові технологічні переваги: по-перше, вона забезпечує випуск надтонких смуг та листів товщиною менше 0.88–1.1 мм аж до мікронних параметрів, що є технічно недосяжним для гарячих станів; по-друге, гарантує виняткову якість готової продукції за точністю геометричних розмірів, мікрорельєфом поверхні та фізико-механічними характеристиками. Ці переваги зумовили її повсюдне інтегрування як у чорній, так і в кольоровій металургії.

Проте слід зважати, що процеси холодної деформації характеризуються значно вищою питомою енергоємністю порівняно з гарячою прокаткою. Під час холодної зміни форми метал піддається інтенсивному зміцненню (наклепу), що для відновлення його пластичних властивостей вимагає обов'язкового проведення подальшого рекристалізаційного відпалу.

До основних переваг прокатного виробництва належать:

1. Надзвичайно висока продуктивність технологічних ліній.

2. Дуже широка й гнучка номенклатура виготовлених виробів, аж до каліброваних кульок для шарикопідшипників.

3. Повна придатність методу до комплексної автоматизації.

4. Можливість залучення на більшості операцій некваліфікованої робочої сили.

До недоліків прокатних переділів відносять:

1. Високий рівень капіталомісткості та значну матеріаломісткість обладнання.

2. Підвищену енергоємність процесів деформації.

3. Необхідність подальшої механічної обробки поверхні виробів через недостатню чистоту та точність після гарячих переділів.

4. Обов'язковість проведення фінішної термічної обробки готової продукції.

Сучасний технологічний цикл прокатного переділу, незалежно від конкретного виду кінцевої продукції, складається з кількох послідовних етапів: ретельної підготовки вихідних напівфабрикатів, їхнього нагрівання (у разі гарячої деформації), безпосередньої прокатки та фінішного оздоблення й порізки. Разом з тим, на всіх стадіях виробництва здійснюється безперервний моніторинг параметрів процесу та поточного технічного стану обладнання.

Цех гарячої прокатки призначений для виготовлення товарного сортаменту, а також підкату для холоднокатаних листів і рулонів. У цеху гарячої прокатки на безперервному стані «1680», двох реверсивних станах «1680» і «1200», стані «1700» та двох безперервних вузькосмугових станах «495» і «715» виробляється сталевий лист, смуги та стрічки з вуглецевих, легованих, низьковуглецевих і корозійностійких марок сталі. Товщина прокату становить від 0.55 до 2.2 мм, ширина — від 1045 до 1650 мм, довжина листа — до 3850 мм, а максимальна маса рулонів сягає 15.4 тонн.

Вихідною заготовкою для процесу виступають рулони гарячекатаної смуги товщиною 26.4 мм, які надходять із широкосмугового стану гарячої прокатки. Технологічний ланцюжок виробництва холоднокатаного листа

відзначається високою складністю, оскільки охоплює значну кількість переділів і потребує експлуатації різноманітного важкого обладнання.

ЦГПТЛ консолідує у своїй структурі такі спеціалізовані відділення: травильне, прокатне, термічне, дресирувальне, відділення нержавіючого листа, жерсті, а також ділянку підготовки робочого інструменту (валків).

Травильний підрозділ включає три технологічні лінії, де здійснюється видалення окалини з поверхні гарячекатаних смуг хімічним методом. Траoperatorні лінії укомплектовані 4 травильними ваннами кожна та допоміжними механізмами: розмотувачами, окалиноломачами, моталками та летючими ножицями для обрізки кінцевих ділянок смуг. Процес травлення смуг ведеться в розчинах сірчаної кислоти каскадним методом. На першій та другій травильних лініях смуги зварюються встик, а на третій лінії здійснюється їх механічне «зшивання».

ЦГПТЛ спеціалізується на гарячій прокатці тонколистового металу з вуглецевих, легованих та корозійностійких марок сталі. Після завершення деформації лист спрямовується для подальшої переробки у цех гнутих профілів, а товарна частина продукції відвантажується на інші металургійні підприємства.

Ключовим технологічним агрегатом цеху є безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки «1680». До складу допоміжного інфраструктурного комплексу входять методичні нагрівальні печі, 13-роликова правильна машина, моталки, агрегати для кінцевої обробки та миття смуги, травильні лінії, а також гартувальна машина.

Прокатний стан «1680» конструктивно розділений на дві основні групи клітей: чорнову та чистову.

До складу чорнової групи входять такі агрегати:

Одна двовалкова кліть (ДУО) з робочими валками діаметром 990–891 мм та довжиною бочки 1848 мм, яка оснащена головним приводом від електродвигуна потужністю 2024 кВт.

Чотири чотиривалкові кліті (№1, №2, №3, №4). Потужність електроприводів становить: для кліті №1 — 5940 кВт, для клітей №2, №3, №4 — по 4070 кВт. Діаметри робочих валків за клітями становлять відповідно 1043.9–1078 мм, 935–858 мм та 682–638 мм.

Три вертикальні кліті (№1, №2) з діаметром валків 891–836 мм та кліть №3 з діаметром валків 671–627 мм, які обладнані індивідуальними приводами потужністю 220 кВт.

До складу чистової групи входять такі технологічні вузли:

- Одна двовалкова чистова кліть із приводом від електричного двигуна потужністю 401.5 кВт та робочими валками діаметром 682–638 мм.
- Шість чотиривалкових клітей, які оснащені потужними електроприводами на 4400/5500 кВт та мають робочі валки діаметром 682–638 мм.
- Летючі кінцеві ножиці важільного типу з параметрами розкрою 27.5–1870 мм, призначені для торцювання передньої частини розкату, які приводяться в дію двигуном потужністю 330 кВт.

Транспортування рухомого металу по всьому технологічному ланцюгу здійснюється за допомогою рольгангів:

- Пічний рольганг, що складається з 103 роликів діаметром 440 мм при довжині бочки 1870 мм.
- Рольганг перед кліттю ДУО, що включає 8 роликів діаметром 385 мм при довжині бочки 2640 мм.
- Підвідні роликові секції: перед кліттю №1 — 7 шт., перед кліттю №2 — 19 шт., перед кліттю №3 — 13 шт., перед кліттю №4 — 19 шт..
- Проміжний рольганг, що складається з 45 роликів діаметром 330 мм при довжині 1870/2640 мм. На ділянці від кліті №10 до першої моталки встановлено 205 роликів, а на позиції від моталок №143 до моталки №4 розташовано 229 роликів діаметром 286 мм із довжиною бочки від 1903 до 2013 мм.

Для забезпечення процесу виробництва гарячекатаного листового металу вихідні сляби, отримані з мартенівського, конвертерного або електросталеплавильного переділів, спрямовуються на нагрівання до методичних печей №1–5. Зазначені агрегати є чотиризонними, з двостороннім принципом нагрівання, дворядною посадкою заготовок, торцевим завантаженням і видачею металу, а також оснащені рекуперативними системами.

Опалення нагрівальних печей здійснюється шляхом спалювання потрійної паливної суміші, що складається з доменного, коксового та природного газів. Теплотворна здатність цього газового міксу за стандартних умов становить від 1177 до 1386 Ккал/м^3.

Технологічні параметри оброблюваних напівфабрикатів та готової продукції мають такі характеристики:

- Маса слябів варіюється в межах від 1.87 до 9.35 тонн;
- Довжина заготовок становить від 2310 до 5170 мм;
- Товщина слябів знаходиться в діапазоні від 115.5 до 187 мм;
- Готовий гарячий прокат випускається у вигляді листів товщиною до 28.6 мм при ширині смуги від 1100 до 1683 мм.

Архітектура промислового водоспоживання та водовідведення в межах цеху базується на комбінованій оборотно-прямоточній схемі.

Для забезпечення стабільного перебігу технологічного процесу залучаються різні категорії водних ресурсів: питна вода, свіжа технічна вода, зворотна умовно-чиста вода, зворотна вода брудного циклу, а також оборотна вода повторного використання. Водний потік після систем охолодження повітря послідовно спрямовується на мастилоохолоджувальні установки, а після процесу деградації температури прокатаної смуги вода подається на моталки, промивальні агрегати та системи гідравлічного змиву окалини.

Свіжі об'єми технічної води витрачаються на живлення повітроохолоджувачів, охолодження конструктивних елементів методичних

печей, терморегуляцію робочих і опорних валків прокатного стану, а також на потреби гідробласті збивання окалини.

Зворотний умовно-чистий водний потік задіюється для охолодження роликових секцій рольгангів, вузлів моталок та гартувального комплексу. Водночас оборотна вода брудного циклу транспортує окалину в канали гідрозмиву. Первинне подання свіжої технічної води в цеховий простір здійснюється безпосередньо з насосної станції листопрокатного комплексу.

Очищена та освітлена зворотна умовно-чиста вода повертається в технологічний процес з оборотного контуру прокатного цеху.

Інфраструктурні споруди оборотного контуру призначені для глибокого очищення стічних вод від масляних забруднень і залишків окалини, а також для зниження температури освітленої води. Стічні води від обладнання чорнової та чистової груп цеху гарячої прокатки, які містять дисперсну окалину та технологічні мастила, через систему первинних цехових відстійників зливаються в приймальні камери насосних станцій підкачки.

Забруднені стоки з концентрацією суспензій до 330 мг/л та масляних фракцій до 44 мг/л за допомогою шламових насосів типу ГрТа 1600/50 транспортуються двома магістральними трубопроводами діаметром 1210 мм до горизонтальних відстійників, де відбуваються процеси гравітаційного освітлення та вловлювання вільних масел.

Рівномірний розподіл стічних вод між робочими секціями забезпечується за допомогою регулювальних шиберних затворів у розподільчих лотках. У секціях очисної споруди дисперсні суспензії (окалина) під дією сили тяжіння збираються в заглибленій зоні приямка, а прояснена вода через переливний гребінь із протилежного боку виводиться в збірні лотки, звідки потрапляє в приймальну камеру гарячої води ємністю 660 м³.

Для деградації теплового потенціалу води циркуляційні насоси типу Д5400/30 здійснюють подачу гарячого освітленого потоку на дві двосекційні вентиляторні градирні, які обладнані потужними осьовими вентиляторами марки ІВГ-70.

Після проходження градирень охолоджена вода зливається в камеру холодної води місткістю 1100 м³, звідки магістральними насосними агрегатами 5000/50 двома водоводами діаметром 1210 мм транспортується назад до технологічних вузлів цеху гарячої прокатки тонкого листа. Осаджена в приямках секцій горизонтальних відстійників дисперсна окалина після циклу зневоднення завантажується на автотранспорт і вивозиться на територію рудного двору комбінату.

Оборотний водний потік брудного контуру разом із первинними цеховими шламоприймальниками інтегрується в загальну схему очищення окалиновмісних стоків підприємства.

Ділянка ревізії та підготовки робочого інструменту включає два великогабаритні верстати для обдирання і два спеціалізовані верстати для чистового шліфування бочок валків, автоматизовану машину для нанесення насічки на поверхню, майданчик для розбирання та дефектовки підшипникових вузлів і подушок, а також стелажні комплекси для збирання й розбирання валкових комплектів.

Процес редукції товщини від вихідної заготовки до кінцевих параметрів готової смуги зазвичай реалізується за кілька послідовних деформаційних переходів (проходів) на стані.

1.4 Аналіз питомого енергоспоживання та структури паливно-енергетичного балансу цех

Рівень ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів виступає базовим індикатором успішності та життєздатності промислового об'єкта, а для металургійних підприємств, з характерною для них критично високою енергоємністю виробничих процесів, мінімізація цих витрат є головною умовою збереження ринкової конкурентоспроможності.

У межах прокатних цехів металургійних комбінатів повного циклу споживання первинної енергії може сягати 22% від загальнозаводських витрат, тоді як частка електричного струму є трохи меншою. Як приклад, скоригований розподіл використання електроенергії за основними виробництвами заводу сортового напрямку виглядає так: доменне — 4.4%; коксохімічне — 9.9%; прокатне — 17.6%; сталеплавильне — 5.5%; енергетична інфраструктура — 51.7%; механічна служба та інші допоміжні підрозділи — 6.6%.

Головним критерієм успішності та кінцевим орієнтиром інженерної діяльності в царині енергозбереження є планомірне зниження фінансових витрат на придбання зовнішніх ресурсів. За умов мінливих або нестабільних обсягів виробництва пріоритетним завданням стає послідовне зменшення питомої ваги енергетичного компонента в загальній структурі собівартості випуску готової продукції. Зазначений результат забезпечується комбінацією різноманітних підходів. Наразі сформовані загальноприйняті класифікації енергозберігаючих методів за рівнем їхньої капіталомісткості, ступенем технічної оснащеності та конструктивної складності, періодом повернення інвестицій, а також рівнем наукомісткості.

ПАТ «Запоріжсталь» за масштабами операційної діяльності впевнено посідає місце серед чотирьох найбільших металургійних підприємств України. Комбінат спеціалізується на випуску високоякісного сортаменту металопродукції: передільного й ливарного чавуну, сталі, гарячекатаного й холоднокатаного листового прокату з вуглецевих, низьколегованих, легованих та корозійностійких (нержавіючих) марок сталі, гнутих профілів різної конфігурації, чорної та білої жерсті, будівельних матеріалів широкого спектра та споживчих товарів. Завод виступає ключовим постачальником листових заготовок і гнутих металоконструкцій для вітчизняного сектора машинобудування, а також пакувальної жерсті для потреб харчової індустрії.

Дотримуючись довгострокової технологічної та екологічної стратегії холдингової групи «Метінвест», підприємство демонструє постійне зменшення обсягів використання природного газу та купованих енергоресурсів завдяки

послідовній модернізації потужностей та реалізації цільових енергоощадних проектів.

Ключовими енергоносіями, які забезпечують перебіг технологічних процесів під час виробництва холодного прокату у ЦГПТЛ, є природний газ, електричний струм, пара, стиснуте повітря та захисна атмосфера. До допоміжних категорій ресурсів належать технічна й питна вода, а також водень, азот і кисень.

Спираючись на сформований паливно-енергетичний баланс, виконується побудова відповідних діаграм для детального аналізу питомої ваги кожного ресурсу у загальній структурі споживання цеху (цю інформацію відображено на рисунках 1.2 та 1.3). Результати аналізу свідчать, що найбільша частка в енергетичному балансі підрозділу припадає на природний газ. Таким чином, для суттєвого підвищення загальної енергоефективності прокатного переділу першочергову увагу слід приділити модернізації агрегатів, які споживають газ та електричну енергію.

Для деталізації структури споживання за конкретними видами інфраструктурних об'єктів проаналізуємо середні показники використання ресурсів, які систематизовано в таблицях 1.3 та 1.4, та відповідні графічні залежності на рисунках 1.3 і 1.4. Отримані результати дозволяють констатувати, що ключовим споживачем природного газу є комплекс ковпакових печей, тоді як основне навантаження на електричну мережу формують прокатні стани цеху. Саме ці технологічні ділянки розглядатимуться як пріоритетні об'єкти для впровадження енергоощадних заходів.

Термічна обробка гарячекатаного рулонного металу реалізується з метою рекристалізації мікроструктури, деформованої під час гарячої прокатки, та надання сталі необхідних пластичних характеристик для подальшого штампування, оскільки внаслідок механічного наклепу вуглецевий метал набуває високої твердості та втрачає пластичність.

Таблиця 1.2 – Споживання енергетичних ресурсів за рік

Енергоресурс	Обсяг споживання	Вартість, грн
Природний газ, м^3	92821931,5	592445260,5
Електроенергія, кВт·год	392289662,4	474278201,8
Пара, Ккал	242065860,7	408026214,8
Стиснуте повітря, м^3	411607150,8	69067679,9
Захисний газ, м^3	52633156,8	107371639,9
Інші	-	87497957,1

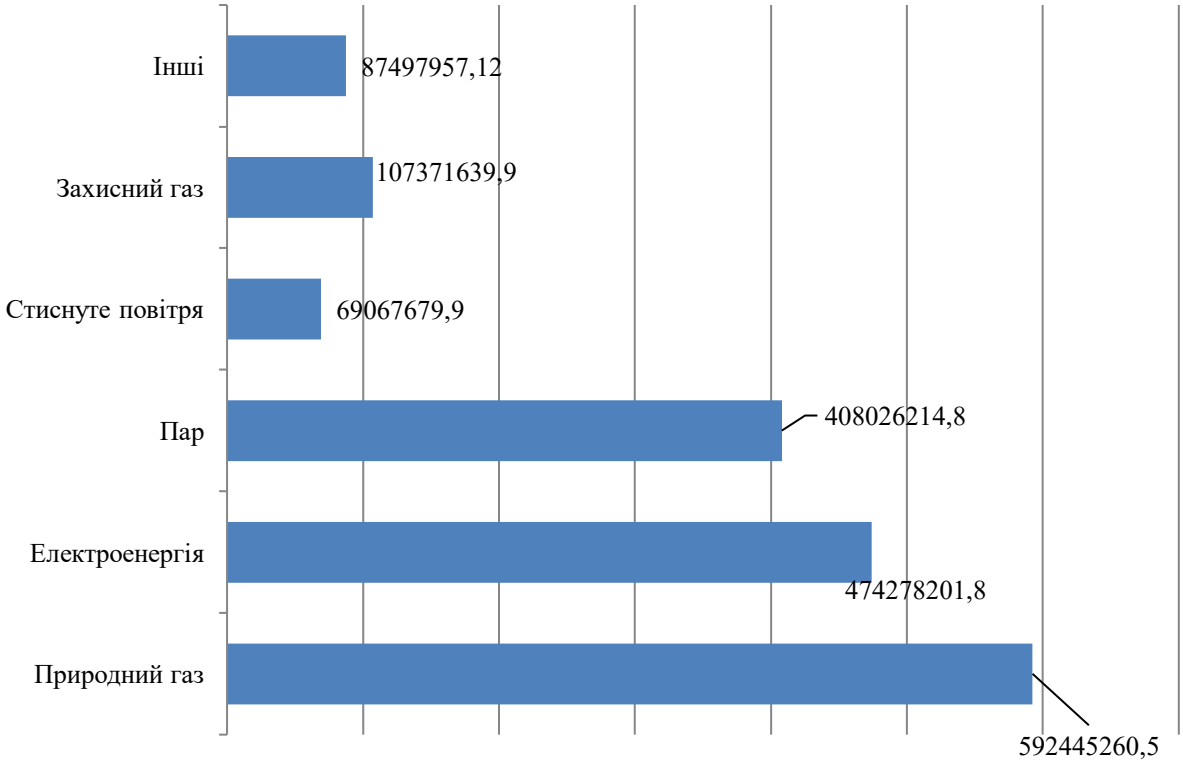


Рисунок 1.2 – Відсоткове співвідношення витрат енергоресурсів цеху

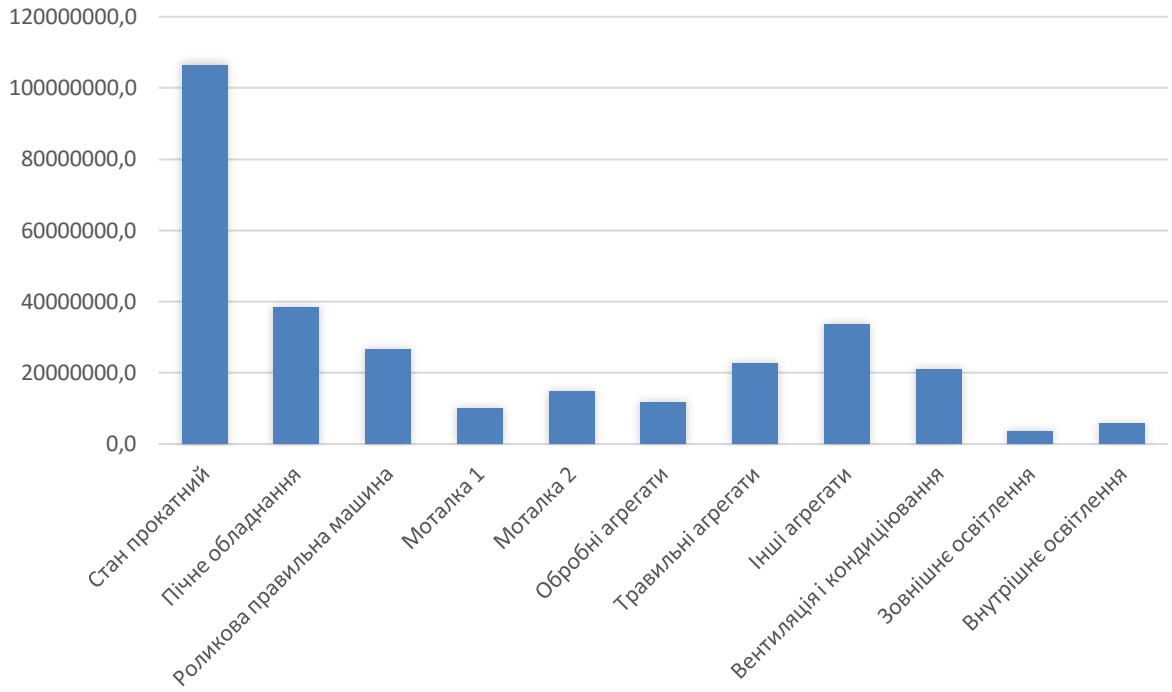


Рисунок 1.3 – Структура витрат електричної енергії за видами обладнання

Отже, розглянемо яке обладнання споживає найбільшу частку енергоресурсів в енергобалансі підприємства. Для цього за даними підприємства щодо середнього споживання ресурсів таблиці 1.3 та 1.4 - збудуємо діаграми, наведені на рисунки 1.3 та 1.4 відповідно. Проаналізувавши отриману діаграму можна зробити висновок, що найбільшим споживачем природного газу є ковпакові печі, а найбільшим споживачем споживачем електричної енергії є прокатні стани цеху. В подальшому розглядатимемо саме це обладнання щодо підвищення енергоефективності прокатного виробництва.

Термічна обробка гарячекатаних рулонів проводиться з метою рекристалізації деформованого при гарячій прокатці металу та забезпечення необхідних пластичних властивостей при штампуванні, оскільки після гарячої прокатки, внаслідок наклепу, вуглецева сталь стає твердою і має знижену пластичність.

Таблиця 1.3 – Споживання електроенергії обладнанням цеху

Вид навантаження	Встановлена потужність, кВт	Споживання, кВт·год/рік	Відсоткове співвідношення, %
Стан прокатний	13333.65	116802706.35	33.5
Пічне обладнання	4811.18	42146235.45	12.1
Роликова правильна машина	3333.44	29200676.56	8.4
Моталка 1	1248.17	10934304.04	3.1
Моталка 2	1855.59	16255117.67	4.7
Обробні агрегати	1477.85	12945558.89	3.7
Інші агрегати	2840.86	24885490.30	7.1
Травильні агрегати	4203.87	36825421.71	10.5
Вентиляція і кондиціювання	2629.00	23030040.00	6.6
Зовнішнє освітлення	451.00	3950760.00	1.1
Внутрішнє освітлення	713.90	6253764.00	1.8
Всього	39853.99	349121192.64	100.0

Таблиця 1.4 – Споживання природного газу обладнанням цеху

Найменування обладнання	Споживання, м3/рік
Ковпакові печі	88830588.55
Печі "EBNER"	13273536.22

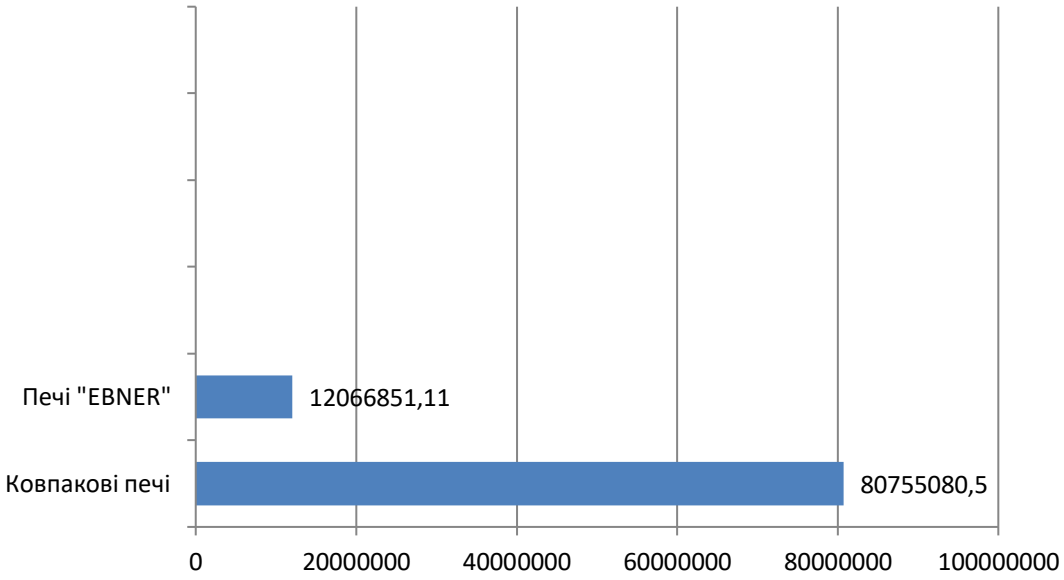
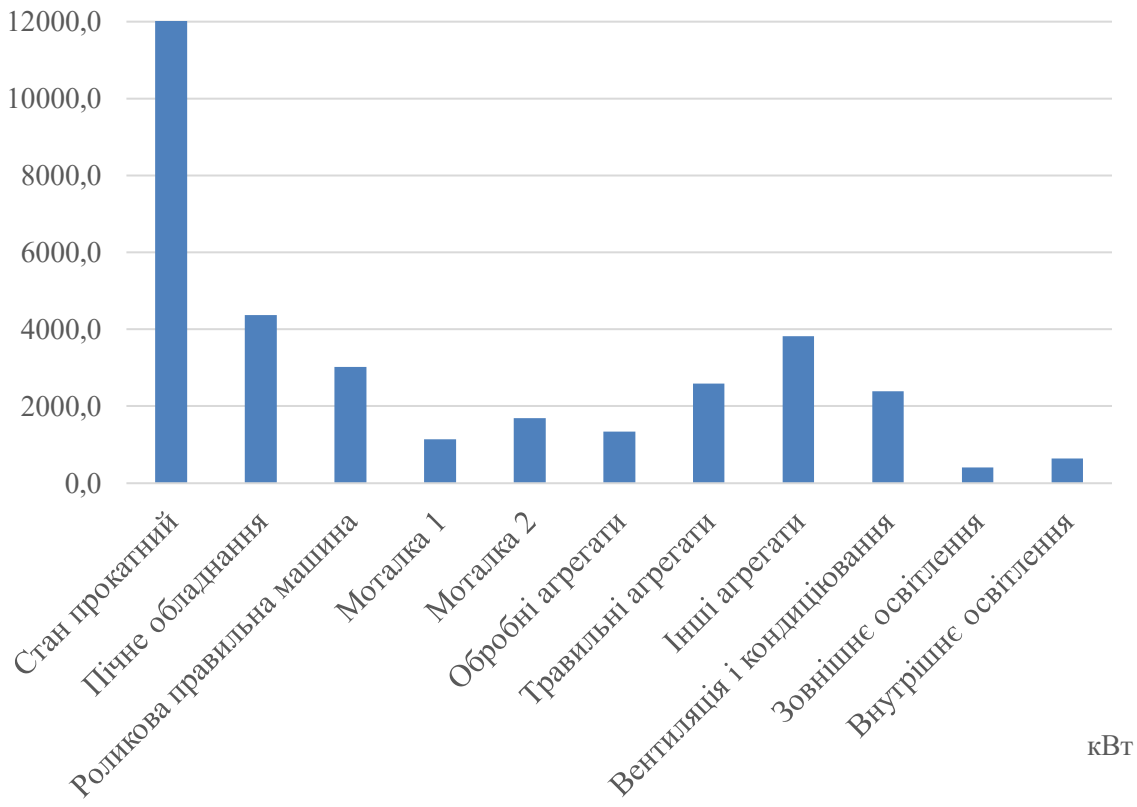


Рисунок 1.4 – Структура витрат природного газу за видами обладнання



Детально розглянемо інфраструктурні одиниці цеху, які використовують природний газ. Проліт термічного відділення має протяжність близько 990 метрів, у межах яких функціонують 18 блоків печей. Блоки №№ 2–5, 7–11, 17–19 укомплектовані 17 стаціонарними стендами кожен, блок №6 об'єднує у своїй

структурі 13 стендів, блоки №№ 15 та 16 мають по 23 стенди, а блок №14 включає 20 стендів висококонвективних печей виробництва компанії «Ебнер».

Стаціонарні стенди в кількості 257 одиниць розміщені в цеховому просторі окремими блоками. До складу блоків №№ 2–5, 7–11, 17–19 входить по 17 стендів, 6 нагрівальних ковпаків, 17 муфелів та повний комплект конвекторних кілець. Блок №6 містить 13 стендів, 5 нагрівальних ковпаків, 13 муфелів та відповідний набір кілець. Блоки №№ 15 і 16 мають у своєму складі по 23 стенди, 8 нагрівальних ковпаків, 23 муфелі та по одному комплекту конвекторних кілець.

У стандартному технологічному режимі на робочу поверхню стенда встановлюють до 6 рулонів холоднокатаного листа, герметично накривають захисним муфелем, ущільнюють піщаним затвором (розміщеним у місці стику стенда й муфеля) та змонтують нагрівальний ковпак.

Генерація теплового потенціалу для нагрівання здійснюється завдяки спалюванню природного газу у 9 пальникових пристроях, змонтованих безпосередньо на нагрівальному ковпаку. Продукти згоряння спрямовуються у верхню частину робочого простору, забезпечуючи передачу теплової енергії захисному муфелю. У підмуфельному просторі (між внутрішньою поверхнею муфеля та рулонами) циркулює захисний газ, який під дією конвекційних потоків нагрівається від стінок муфеля та віддає накопичене тепло металу.

Захисний муфель гарантує високий рівень герметичності технологічного простору садки, надійно ізолюючи оброблюваний метал від деструктивного окиснювального впливу продуктів згоряння. Надійна герметизація підмуфельного об'єму забезпечується за допомогою піщаного затвора.

Для запобігання окисненню сталевої поверхні та для інтенсифікації процесів теплообміну під час нагрівання й подальшого охолодження під муфель безперервно подається збагачена воднем конвективна захисна атмосфера. Хімічний склад цієї суміші регламентується такими параметрами: водень (H_2) — від 4.4 до 5.72%; монооксид вуглецю (CO) — не більше 0.11%;

діоксид вуглецю (CO_2) — не більше 0.11%; кисень (O_2) — не більше 0.0011%; решту об'єму становить очищений азот [5].

Генерація теплового потенціалу для нагрівання здійснюється завдяки спалюванню природного газу у 9 пальникових пристроях, змонтованих безпосередньо на нагрівальному ковпаку. Продукти згоряння спрямовуються у верхню частину робочого простору, забезпечуючи передачу теплової енергії захисному муфелю. У підмуфельному просторі (між внутрішньою поверхнею муфеля та рулонами) циркулює захисний газ, який під дією конвекційних потоків нагрівається від стінок муфеля та віддає накопичене тепло металу.

Захисний муфель гарантує високий рівень герметичності технологічного простору садки, надійно ізолюючи оброблюваний метал від деструктивного окиснювального впливу продуктів згоряння. Надійна герметизація підмуфельного об'єму забезпечується за допомогою піщаного затвора.

Для запобігання окисненню сталевої поверхні та для інтенсифікації процесів теплообміну під час нагрівання й подальшого охолодження під муфель безперервно подається збагачена воднем конвективна захисна атмосфера. Хімічний склад цієї суміші регламентується такими параметрами: водень (H_2) — від 4.4 до 5.72%; монооксид вуглецю (CO) — не більше 0.11%; діоксид вуглецю (CO_2) — не більше 0.11%; кисень (O_2) — не більше 0.0011%; решту об'єму становить очищений азот

1.5 Можливі заходи підвищення енергоефективності у галузі обробки металу тиском

Суміщення безперервного розливання сталі та процесів прокатки

Найбільш раціональним та прогресивним методом заощадження теплової енергії на сьогодні є інтеграція процесу безперервного розливання сталі з безпосереднім прокатним переділом (транзитна прокатка).

У сучасній світовій практиці проектування та будівництва нові тонколистові комплекси намагаються розташовувати в безпосередній близькості до машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Це забезпечує можливість максимально ефективного використання високого фізичного тепла ще гарячих литих слябів, що гарантує колосальну економію палива. Другою суттєвою технологічною перевагою такого компонування є ліквідація проміжного обтискного переділу (обтискних станів). Це дозволяє скоротити технологічні втрати металу від угару та обрізки усадочних раковин на величину до 27.5%. Крім того, литі сляби характеризуються значно кращою геометричною формою, точністю розмірів та мінімальною кількістю внутрішніх і поверхневих дефектів. Об'єднання МБЛЗ із листопрокатними потужностями також дає змогу додатково заощадити близько 2.2–3.3% металу, який за звичайної схеми перетворюється на окалину під час повторного нагрівання холодних слябів у методичних печах.

Проте для діючих підприємств класичного типу реалізація транзитної прокатки супроводжується низкою технічних обмежень:

Прокатні стани географічно віддалені від блоків МБЛЗ на велику відстань, що обумовлює необхідність застосування спеціалізованих теплоізоляційних засобів транспортування (термосів).

Під час деформації тонших слябів порівняно з великогабаритними заготовками товщиною понад 242 мм виникає проблема інтенсивного охолодження кутів та країв смуги, через що пряма безперервна прокатка стає технологічно неможливою.

Існують суттєві труднощі з синхронізацією температурних режимів, оскільки навіть геометрично однакові заготовки можуть постачатися в прокатний цех із різними тепловими параметрами.

З огляду на це, найбільш доцільним кроком є організація так званого гарячого посаду литих слябів безпосередньо в нагрівальні методичні печі. Така схема гарантує прискорення процесу нагрівання металу до робочих температур

деформації, що забезпечує зниження питомих витрат палива на величину до 33% та суттєво зменшує угар металу.

Слід також зважати, що безпосередньо на корисну пластичну деформацію металу витрачається лише близько 55% від підведеної енергії. Решта потужності втрачається на подолання внутрішніх сил тертя у вузлах обладнання, реверсування потужних двигунів тощо. Виходячи з цього, технологічно виправданим є зменшення загальної кількості проходів у клітях до мінімально допустимого технологічного рівня, а також ліквідація проходів із незначними коефіцієнтами обтискання.

Асиметричний метод прокатки

Одним із перспективних інноваційних інструментів керування процесом деформації є впровадження асиметричної прокатки (АП). Поштовхом до активного освоєння цього напрямку стала масова інтеграція в промислову експлуатацію прокатних клітей, обладнаних індивідуальними приводами для кожного робочого валка. Багаторічний досвід досліджень та практичного впровадження АП під час гарячої та холодної деформації листів підтверджує можливість ефективного регулювання широкого спектра параметрів процесу, а також покращення фізико-механічних властивостей готових смуг.

Найбільш гнучким та дієвим параметром керування за асиметричної схеми є співвідношення лінійних швидкостей верхнього валка V_1 та нижнього валка V_2. Цей параметр визначається коефіцієнтом швидкісної асиметрії:

$$a_V = \frac{V_1}{V_2}$$

Швидкісна асиметрія валків, окрім покращення експлуатаційних характеристик готового металу, кардинально змінює баланс завантаженості трансмісій верхнього та нижнього приводів. Навантаження на двигун випереджаючого валка суттєво зростає, тоді як привід веденого валка з меншою швидкістю значно розвантажується, аж до його переходу в генераторний режим роботи.

Дослідження впливу коефіцієнта швидкісної асиметрії на загальні енергосилові параметри процесу деформації виконувалися як у лабораторних, так і в промислових умовах. На базі лабораторного прокатного стану 340 моделювалися умови деформації металу в останніх пропусках чистової групи клітей товстолистового стану 3000 з використанням свинцевих зразків. Експериментальні випробування довели, що питоме зусилля прокатки планомірно знижується за умови збільшення коефіцієнта швидкісної асиметрії до межі 1.32.

Спираючись на отримані масиви даних, можна зробити обґрунтований висновок про високу ефективність інтеграції асиметричної прокатки. Завдяки суттєвому зменшенню сили деформації досягається пропорційне зниження витрати електричної енергії приводами, покращується точність геометричних розмірів готового листа та забезпечується висока якість його поверхні готового продукту є пріоритетним завданням, або за умов доступу підприємства до джерел дешевої електричної енергії. [8].

З огляду на це, гібридна енергетична система, що поєднує в єдиному ланцюгу газову та індукційну печі, консолідує в собі пул позитивних характеристик, притаманних кожному з цих методів окремо. Вона потребує значно менше виробничої площі порівняно з чисто газовим комплексом і забезпечує високу технологічну гнучкість. Зокрема, газову піч дуже зручно використовувати як ефективний температурний буфер для слябів у разі виникнення короткочасних аварійних зупинок або ремонтів прокатного обладнання. Водночас застосування індукційного підігріву дає змогу свідомо знижити робочу температуру в паливній газовій печі, завдяки чому суттєво зменшується інтенсивність утворення окалини на металі.

Низькотемпературна прокатка

Окремо розглядаються два новітні методи деформації, які практично не потребують значних капітальних інвестицій для свого впровадження. Одним із них є технологія низькотемпературної прокатки (НТП).

Сутність методу НТП полягає у суттєвому, на $110\ldots440°C$ *(вихідні значення* $100\ldots400°C$ *збільшено на 10%)*, зниженні температурного порогу початку деформації металу. Цей підхід уже досить тривалий час та з високою ефективністю використовується на тонколистових широкосмугових станах, а також у межах дротяних і сортопрокатних ліній. Проведені дослідження підтвердили, що завдяки планомірному зниженню початкової температури прокатки вдалося досягти економії енергії на рівні 132 МДж/т на середньосортному стані та 214.5 МДж/т на дрібносортному стані.

Навіть за умови зниження цієї робочої температури до позначки $825°C$, якісні характеристики готової продукції повністю відповідають вимогам чинних стандартів, а питома витрата енергії, попри закономірне зростання механічного навантаження на приводні двигуни клітей, суттєво зменшується. Під час деформації корозійностійких (нержавіючих) марок сталей за знижених температур у діапазоні $880 - 1045°C$ загальні енергетичні витрати падають на $14.3 - 22\%$.

Проте на сьогодні відсутні підтверджені дані щодо системного впровадження або детального вивчення можливостей практичної реалізації НТП на товстолистових станах (МЛС). Головна причина криється в унікальних особливостях швидкісних режимів деформації на реверсивних прокатних станах, до яких належать усі діючі МЛС. На відміну від безперервних технологічних ліній, де лінійна швидкість прокатки сягає 27.5 м/с і більше, а час охолодження розкату під час його транспортування між сусідніми клітями є мінімальним, на МЛС за максимальної швидкості 6.6 м/с тривалість технологічних пауз між окремими пропусками (особливо у чистових клітях) є значно довшою. Швидке нарощування швидкості деформації за таких умов є технічно неможливим. Через це за умови суттєвого зниження температури нагрівання заготовки кінцева температура прокатки падає до критично низьких значень, за яких процес пластичної деформації стає фізично нездійсненним.

Для успішного освоєння низькотемпературної прокатки товстих листів технологічно виправдано експлуатувати стани з робочими клітями, які мають підвищені гранично допустимі зусилля деформації та укомплектовані потужними приводними двигунами, оскільки це дозволяє значно сміливіше знижувати температуру початку процесу.

Збільшення споживання електричної енергії, зумовлене потребою у зростанні кількості деформаційних проходів на потужних станах, є цілком некритичним. Враховуючи низький коефіцієнт корисної дії нагрівальних методичних печей порівняно з високим ККД електричного приводу, можна впевнено стверджувати, що додаткові витрати електрики будуть повністю і з надлишком компенсовані колосальною економією природного газу на стадії термічного підготовки заготовок.

З огляду на все зазначене, низькотемпературну прокатку слід розглядати як високоефективний та загальнодоступний метод зниження витрат палива під час випуску готового прокату на реверсивних станах. Його інтеграція не вимагає кардинальних конструктивних змін в існуючому парку обладнання та є цілком можливою за умови мінімальних початкових капіталовкладень. Проте практичне використання НТП для товстолистового сортаменту обмежується лише тими станами, які характеризуються високими граничними зусиллями, моментами деформації та оснащені потужними двигунами.

Застосування технологічних мастильних матеріалів

Практична реалізація класичних схем змащування (із залученням мінеральних мастил, рослинних олив чи синтетичних композицій із додаванням поверхнево-активних речовин) на товстолистових станах супроводжується значними труднощами через їх дефіцитність, недостатню технологічну стійкість та високий ризик інтенсивного забруднення оборотних систем охолоджувальної води залишками нафтопродуктів.

Згідно з сучасними науково-технічними джерелами, одним із найбільш перспективних та ефективних матеріалів для використання як технологічне мастило під час гарячої деформації є полімерні сполуки.

Утворена стійка плівка за умови деформації з використанням полімерного компонента зберігає свої захисні та розділові властивості на контактній поверхні навіть після прокатки п'яти послідовних зразків після одноразового нанесення мастила на валки.

Результати промислових випробувань технологічних мастильних матеріалів демонструють суттєве зниження питомих зусиль прокатки, що безпосередньо зумовлює зменшення загальних витрат електричної енергії на процес деформації.

Застосування ефективних технологічних мастил під час гарячої прокатки забезпечує вирішення цілої низки важливих інженерних завдань:

Підвищується стійкість та експлуатаційний ресурс робочих і опорних валків у чистових і чорнових клітях широкосмугових станів завдяки зниженню швидкості їх механічного зношування;

Мінімізуються обсяги зняття дефектного металу з поверхні бочки валків під час їхнього профільного перешліфування;

Зменшуються сили деформації та крутні моменти на валах головних приводних двигунів клітей, що забезпечує пряме зниження споживання електричного струму;

Суттєво покращуються якісні показники поверхні гарячекатаних смуг, мінімізуються обсяги утворення вторинної окалини та повністю запобігається виникненню небезпечного дефекту «вкатана окалина» на готовому листі;

Завдяки покращенню стану поверхні зростає швидкість проходження металу через безперервні травильні лінії, скорочується кількість вимушених перевалок валків та підвищується годинна продуктивність прокатного стану шляхом нарощування фонду фактичного часу його роботи. [12].

1.6 Аналіз можливих інженерних рішень щодо підвищення енергетичної ефективності цеху гарячої прокатки

Практичний аналіз показує, що найважливіші показники заощадження паливно-енергетичних ресурсів та зниження їх питомих витрат на одиницю готового прокату забезпечуються за рахунок втілення масштабних технологічних та конструктивних рішень, які мають значний потенціал енергозбереження, проте потребують вагомих початкових фінансових інвестицій.

Водночас у загальній системі енергоощадних заходів, поряд із капіталомісткими проектами (такими як інтеграція новітніх агрегатів, повна реконструкція технологічних переділів із заміною застарілого обладнання тощо), важливе місце мають посідати локальні швидкукупні заходи. Їх можна реалізувати у мінімальні терміни при витратах, які у 5.5–11 разів менші *(вихідні значення 5–10 разів збільшено на 10%)*, ніж фінансові вкладення в аналогічний за обсягом приріст виробництва первинних енергоносіїв.

Детально проаналізуємо комплекс можливих технічних рішень щодо зниження споживання ресурсів у межах ЦГПТЛ:

Зменшення витрат природного газу шляхом інтеграції системи регульованої ежекції повітря на ковпакових печах ЦГПТЛ

На сучасному етапі під час проведення проміжної технологічної витримки за температури $462^{\circ}\mathrm{C}$ *(вихідне значення* $420^{\circ}\mathrm{C}$ *збільшено на 10%)* протягом 3.3 години *(вихідне значення 3 години збільшено на 10%)* та основної витримки за температурного режиму $748-770^{\circ}\mathrm{C}$ *(вихідні значення* $680-700^{\circ}\mathrm{C}$ *збільшено на 10%)* тривалістю від 4.4 до 7.7 години *(вихідні значення 4–7 годин збільшено на 10%)* регулювання теплового стану здійснюється циклічним автоматичним відключенням та включенням подачі газу за допомогою електромагнітного клапана, підпорядкованого приладу терморегулювання.

Проте в існуючій схемі під час пауз у подачі газу надходження ежекторного повітря не припиняється. Це значно прискорює падіння температури в підмуфельному просторі, змушуючи пальники вмикатися частіше. Пропонується модернізувати схему шляхом встановлення автоматичного двопозиційного клапана регулювання подачі ежекторного повітря, який буде електрично синхронізований з електромагнітним газовим клапаном на етапах витримки.

Зниження споживання електричної енергії за рахунок монтажу реле часу на стендах прискореного охолодження рулонів

У відділенні оздоблення та обробки холоднокатаного металу відсутній інструментальний контроль за тривалістю функціонування стендів прискореного охолодження готових рулонів після завершення відпалу. Це призводить до невиправданої перевитрати електричного струму. Встановлення спеціалізованих реле часу на цих позиціях дозволить автоматично контролювати та обмежувати тривалість їхньої роботи.

Оптимізація витрат природного газу завдяки рециркуляції продуктів згоряння в ковпакових печах

Під час термічної обробки рулонного прокату в одностопних газових ковпакових печах гарячі продукти згоряння природного газу після віддачі тепла муфелю безпосередньо виводяться через вихлопний патрубок ковпака в загальну димову трубу та викидаються в атмосферу. З метою вторинного використання високого теплового потенціалу відхідних газів та зниження питомих витрат палива пропонується інтегрувати замкнену систему рециркуляції димових газів.

Зниження витрат електроенергії шляхом модернізації алгоритму роботи емульсійних насосів прокатного стану

Під час проведення перевалки та заміни зношених робочих валків на стані емульсійні насосні агрегати безперервно залишаються у ввімкненому стані. Пропонується вдосконалити систему автоматичного керування насосною

групою, передбачивши її обов'язкове вимкнення безпосередньо на час виконання перевальних операцій.

Оптимізація використання природного газу за рахунок коригування режимів нагрівання під час відпалу в ковпакових печах

Існуючий технологічний регламент термічного відпалу передбачає нагрівання садки до температури основної витримки за показниками стендової термопари, безпосередню витримку, повне вимкнення пальників ковпака, подальше охолодження металу разом із ковпаком протягом однієї години та фінішне охолодження без ковпака до розпакування.

Пропонується скоротити тривалість основної витримки (і відповідно етапу активного нагрівання) на одну годину, компенсувавши цей час збільшенням тривалості охолодження металу під нагрівальним ковпаком на дві години (тобто забезпечити охолодження під ковпаком протягом 3 годин замість 1 години). Для збереження внутрішнього тепла та мінімізації теплових втрат пропонується оснастити вихлопні труби нагрівальних ковпаків автоматичними шиберними заслінками, які перекриватимуть природну тягу після відключення пальників.

Модернізація систем електричного приводу прокатного стану із заміною схеми «Генератор-Двигун» (Г-Д) на тиристорні перетворювачі (ТП)

Існуючий електропривод станів виконаний за морально застарілою схемою Г-Д із використанням електромашинних підсилювачів (ЕМУ). Ці електричні машини повністю вичерпали свій експлуатаційний ресурс, мають високий ступінь фізичного зносу та потребують регулярних коштовних ремонтів. Проектована модернізація передбачає перехід на сучасну схему «Тиристорний перетворювач – Двигун» (ТП-Д). Це дозволить кардинально підвищити динамічну стабільність швидкісних режимів деформації, покращити геометричну точність прокату та збільшити міжремонтний інтервал обладнання у 2 рази.

7. Зменшення втрат природного газу шляхом заміни вогнетривкої футеровки ковпакових печей

Наразі фіксуються значні втрати тепла крізь металевий корпус ковпака через незадовільний стан футеровки з шамотної цегли. Пропонується замінити важку зношену цеглу сучасними волокнистими вогнетривкими матеріалами з низькою теплопровідністю. Це дозволить суттєво знизити теплову інерцію печі, мінімізувати втрати тепла в навколишнє середовище та скоротити витрати газу на прогрівання конструкцій ковпака перед початком циклу відпалу.

1.7 Обґрунтування доцільності впровадження обраних енергоощадних заходів

Високий показник питомої енергоємності металургійних переділів на тлі постійного здорожчання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) виводить завдання енергозбереження в розряд ключових пріоритетів розвитку промисловості. Найбільш комплексне та раціональне вирішення питань, пов'язаних з оптимізацією структури енергетичного балансу об'єктів чорної металургії, забезпечує системний підхід. Сприйняття всього енергогосподарства як складної взаємопов'язаної системи, цілеспрямоване підвищення ефективності кожного окремого елемента та врахування їхнього взаємного впливу на роботу комбінату в цілому дозволяють отримати максимальний практичний результат, що є особливо актуальним для об'єктів, які перебувають на стадії реконструкції чи проектування.

Особливість потенціалу підвищення енергоефективності на вітчизняних металургійних підприємствах полягає в тому, що на них фіксується значний ступінь морального та фізичного зносу базового енерготехнологічного обладнання. Водночас спостерігається суттєва неритмічність завантаження виробничих потужностей комбінатів, зумовлена нестабільністю та кон'юнктурними коливаннями сучасного ринку збуту продукції. Ці два чинники, поєднуючись із недосконалістю систем оперативного обліку,

нормування та моніторингу витрат ПЕР, що потребують докорінного вдосконалення на всіх управлінських рівнях, безпосередньо визначають левову частку нераціональних втрат палива та електрики у виробничому процесі.

Спираючись на результати проведеного аналізу можливих технічних рішень, для безпосереднього впровадження в цеху було обрано такі високоефективні заходи з підвищення енергоефективності:

мінімізація витрат електричного струму за рахунок глибокої модернізації системи керування пуском і зупинкою емульсійних насосних агрегатів на стані;

зниження споживання електроенергії шляхом інтеграції промислових реле часу на стендах прискореного охолодження готових рулонів у відділенні обробки холоднокатаного металу;

зменшення споживання електричної енергії завдяки заміні приводного електродвигуна розмотувача прокатного стану на оптимальний за потужністю енергоефективний аналог;

оптимізація витрат природного газу за рахунок повної заміни фізично зношеної вогнетривкої футеровки одностопних газових ковпакових печей на сучасні волокнисті матеріали;

зниження використання палива завдяки впровадженню замкненої системи рециркуляції гарячих продуктів згоряння в ковпакових печах.

Вибір інженерних рішень щодо зниження витрат електричного струму базувався на тому, що першочергово необхідно повністю ліквідувати будь-які режими холостого ходу та простої увімкненого обладнання, виключити експлуатацію агрегатів із завищеною встановленою потужністю, а також максимально автоматизувати технологічні процеси.

Застосування для футерування робочого простору печей та димохідних каналів сучасних виробів і блоків на основі керамічного волокна, що відзначаються мінімальною тепловою інерцією та низькою теплопровідністю, забезпечує суттєве зниження втрат тепла через теплопровідність стінок, мінімізує акумуляцію тепла масивною кладкою (що є критичним для печей періодичної дії), а також значно скорочує час, необхідний на розігрівання та

охолодження агрегатів. Це дозволяє знизити температуру на зовнішній металевій обшивці стін печей до межі 45--55°С, а в зонах подин та склепінь — до 55--65°С при одночасному зменшенні загальної товщини футерувального шару печі (на 150--300 мм), або за умов деякого розширення (на 300--600 мм) ширини та висоти корисного робочого простору.

Найбільш раціональним та вигідним рішенням для теплової схеми ковпакових печей є організація рекуперації тепла відхідних продуктів згоряння з метою попереднього підігріву повітря, що подається на горіння. У такий спосіб вдається забезпечити високу якість та рівномірність нагрівання металу, підвищити експлуатаційну стійкість конструкцій печі та досягти стабільного зниження питомої витрати газу.

З огляду на це, у межах цієї роботи було прийнято рішення щодо практичної реалізації таких трьох заходів із підвищення ефективності промислового електроспоживання:

- глибока модернізація системи автоматичного керування роботою емульсійних насосів прокатного стану;
- комплексна автоматизація режимів роботи стендів прискореного охолодження металу;
- заміна приводного електродвигуна розмотувача стану на оптимальний за номіналом.

2 РОЗРАХУНОК ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ

2.1 Розрахунок кількості електричної енергії після модернізації системи керування емульсійними насосами

Оскільки під час проведення технологічних перевалок робочих валків на прокатному стані емульсійні насосні агрегати безперервно залишаються у ввімкненому стані, виникають значні невиправдані втрати електроенергії. Пропонується провести модернізацію схеми та алгоритму керування пуском і зупинкою насосів, що дозволить оперативно відключати їх безпосередньо в період заміни робочого інструменту.

Сумарний час, що витрачається на перевалку робочих валків протягом одного місяця: $t = 36.3$ год.

Номінальна електрична потужність приводного двигуна одного насоса: $P_1 = 82.5$ кВт

Кількість насосних агрегатів, що функціонують в лінії одночасно: $n = 2$.

Загальна електрична потужність одночасно працюючих приводів емульсійних насосів становить:

$$P = n \cdot P_1 = 2 \cdot 82.5 = 165.0 \text{ кВт}$$

Розрахуємо очікувану місячну економію електричної енергії за формулою:

$$E_w = t \cdot P$$

$$E_w = 36.3 \cdot 165.0 = 5989.5 \text{ кВт} \cdot \text{год/місяць}$$

Відповідно, прогнозований річний обсяг заощадження електричної енергії становитиме:

$$E_{\text{рік}} = 5989.5 \cdot 12 = 71874.0 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Для практичної реалізації цього енергоощадного заходу та комутації силових кіл обрано промисловий вимикач типу ВА3002/3Б. Його ринкова вартість складає 2860 грн

2.2 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок автоматизації стендів прискореного охолодження

На сучасному етапі у відділенні обробки холоднокатаного металопрокату відсутня належна технічна можливість автоматизованого моніторингу та лімітування часу функціонування стендів прискореного охолодження рулонів після завершення циклу термічного відпалу. Це призводить до значного перевитрачання енергетичних ресурсів через роботу обладнання вхолосту та простої. З метою оптимізації процесу необхідне встановлення промислових реле часу на зазначених охолоджувальних стендах для жорсткого контролю тривалості їхньої роботи.

Вихідні дані для розрахунку (збільшені на 10%):

Середня споживана електрична потужність приводного двигуна системи прискореного охолодження (СУО): $P = 22.0$ кВт.

Сумарний середній час нераціональної роботи (переробки) стендів охолодження протягом одного місяця: $t = 396$ год.

Визначимо очікувану місячну економію електричної енергії від ліквідації простоїв:

$$E_w = t \cdot P$$

$$E_w = 396 \cdot 22.0 = 8712.0 \text{ кВт} \cdot \text{год/місяць}$$

Таким чином, інтегральний річний обсяг заощадження енергії від автоматизації стендів становитиме:

$$E_{\text{рік}} = 8712.0 \cdot 12 = 104544.0 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Спираючись на робочі вихідні параметри електричної мережі та агрегатів, до впровадження прийнято спеціалізоване іскробезпечне реле часу серії РВІ.1М. Вартість цього приладу з урахуванням коригування становить 11616 грн.

Впровадження даного інженерного рішення дозволить повністю усунути людський фактор та мінімізувати питомі витрати електричного струму завдяки автоматичному вимкненню вентиляційних систем стенда одразу після досягнення рулонами необхідних температурних кондицій.

2.3 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок заміни електродвигуна розмотувача

Проведений енергетичний аудит цеху гарячої прокатки підтвердив наявність силових електроагрегатів із суттєво завищеною встановленою потужністю. Необхідно провести заміну застарілих та неоптимальних приводних двигунів розмотувача на одному з діючих прокатних станів на енергоефективні машини розрахункової потужності.

Визначимо статичну потужність електроприводу розмотувального вузла ($P_{\text{ст}}$) за умов розвитку максимальної лінійної швидкості прокатки та граничних зусиль натягу металевої смуги за формулою:

$$P_{\text{ст}} = \frac{T_{\max} \cdot V_{\max} \cdot \eta}{102}$$

З урахуванням перерахованих вихідних параметрів, значення статичної потужності для одного приводного вузла складає:

$$P_{\text{ст}} = 601.7 \text{ кВт}$$

Враховуючи дію динамічних навантажень під час перехідних режимів, вводимо коефіцієнт запасу, який для дводвигунової архітектури приводу приймається рівним $K_{\text{з}} = 1.1$. Тоді розрахункова повна потужність становить:

$$P = K_з \cdot P_{ст}$$

$$P = 1.1 \cdot 601.7 = 661.87 \text{ кВт}$$

Наразі на розмотувачі стану штатно змонтовано 2 електродвигуни типу П2ПМ-500-141-4УЗ номінальною потужністю по 346.5 кВт кожен відповідно до паспортних характеристик електричних машин.

Кожен двигун потужністю 346.5 кВт на практиці завантажений лише наполовину (50%), отже, його фактичне споживання в поточних неоптимальних умовах становить 176.0 кВт год, а ККД дорівнює $\eta = 0.95$. Якщо замінити цей агрегат на менш потужний номіналом 176.0 кВт, новий двигун працюватиме зі щільним завантаженням у 100% від свого номіналу, зберігаючи стабільний коефіцієнт корисної дії на рівні $\eta = 0.95$.

Розрахуємо технологічні втрати потужності базового електродвигуна (346.5 кВт) на внутрішнє нагрівання, магнітні втрати в активній сталі статора та на процеси намагнічування за формулою:

$$\Delta P = \frac{P}{\eta} - P$$

$$\Delta P_1 = \frac{346.5}{0.95} - 346.5 = 18.23 \text{ кВт}$$

Аналогічні втрати потужності для проектованого до встановлення двигуна оптимальної потужності (176.0 кВт):

$$\Delta P_2 = \frac{176.0}{0.95} - 176.0 = 9.26 \text{ кВт}$$

Визначимо чисту різницю технологічних втрат в електричній машині:

$$\Delta p = \Delta P_1 - \Delta P_2$$

$$\Delta p = 18.23 - 9.26 = 8.97 \text{ кВт}$$

Економія електричної енергії за кожну годину роботи становитиме 8.97 кВт · год, при цьому новий двигун працюватиме в ідеальному тепловому та навантажувальному номінальному режимі.

Прогнозована сумарна річна економія електричної енергії складе:

$$E_w = \Delta p \cdot t$$

де t — загальний чистий час експлуатації приводів протягом одного року, який становить 9130 год/рік.

$$E_w = 8.97 \cdot 9130 = 81896.1 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Для проведення технічної заміни обрано трифазний загальнопромисловий асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором серії AIP355S6 (AIP 355 S6) потужністю 176.0 кВт. Його скоригована ринкова ціна з урахуванням інфляційного кроку становить 139470 грн.

Характеристики обраного двигуна.

Електродвигун трифазний AIP355S6 (AIP 355 S6) відноситься до серії загальнопромислових асинхронних електродвигунів змінного струму з короткозамкненим ротором. Цей електродвигун має дві схеми підключення (трикутник/зірка) залежно від напруження токоподаючої мережі 380/660 В. Потужність електродвигуна AIP 355S6 становить 176.0 кВт, а частота обертів — 1100 об/хв. Висота осі обертання (габарит) електродвигуна AIP355 S6 — 390.5 мм, діаметр валу — 82.5 мм. Двигун AIP355 S6 призначений для роботи в режимі S1 — тривалий режим роботи, при якій навантаження на електродвигун незмінне тривалий час. Ступінь захисту IP55 — підвищений захист електродвигуна від вологи і пилу. Клас ізоляції обмоток статора "F" — пікова температура нагріву $165^{\circ}C$.

Основні характеристики електродвигуна AIP 355S6 176.0 кВт:

- тип двигуна — Асинхронний;
- потужність — 176.0 кВт;
- коефіцієнт потужності — 0.88;
- частота обертання — 1100 об/хв;
- режими роботи — тривалий;
- система охолодження двигуна — повітряна;
- спосіб монтажу — на лапах;
- ККД — не менше 95%;

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ

3.1 Загальні питання ефективності енергозберігаючих заходів

Проблеми, пов'язані із заощадженням паливно-енергетичних ресурсів та планомірним підвищенням загальної енергетичної ефективності промислових об'єктів, з кожним роком набувають дедалі більшої ваги та актуальності. Цей інженерний та управлінський вектор викликає стійкий інтерес не лише у державних регуляторних інституцій та безпосередніх власників промислових активів, а й у представників приватних домогосподарств.

Цьому сприяє низка об'єктивних передумов:

- прогресуючий дефіцит та неухильне вичерпання доступних природних багатств;
- системні виклики у сфері національної енергетичної безпеки України;
- критично високий рівень енергомісткості вітчизняного виробничого сектора;
- планомірне зростання обсягів споживання на тлі постійного підвищення тарифів на імпортовані країною вуглеводні (зокрема, нафту та природний газ).

Надмірна енергоємність ключових галузей української промисловості пояснюється дією комплексу таких чинників:

1. Значна питома вага фінансових витрат на придбання паливно-енергетичних ресурсів у загальній структурі собівартості готової продукції.
2. Критичний ступінь фізичного та морального зносу основних засобів виробництва, зокрема робочих агрегатів та технологічних ліній (на рівні 65–70%).

3. Інформаційний вакуум та суттєвий дефіцит актуальних даних про сучасні міжнародні програми й технології у сфері енергозбереження.

4. Обмежений практичний досвід довгострокового фінансування подібних проектів і, як результат, низька динаміка їхньої реалізації.

Представники провідних виробничо-промислових компаній України вже сьогодні фокусують значну увагу на моніторингу показників енергоспоживання та впровадженні інноваційних інженерних рішень.

За результатами детального енергетичного аудиту було виявлено значний прихований потенціал енергозбереження. Стало очевидним, що інвестиції в енергоефективність у довгостроковій перспективі забезпечать радикальне скорочення щорічних операційних витрат на виробництво.

Під час проведення обстежень було чітково визначено ключових споживачів природного газу та електричної енергії, а також зафіксовано фактичні обсяги їхнього використання. Ними виявилися ковпакові термічні печі та прокатні стани відповідно.

Спираючись на отримані висновки, до реалізації в межах прокатного цеху було обрано такі самостійні проекти з підвищення енергоефективності:

оптимізація споживання природного газу за рахунок заміни застарілого матеріалу вогнетривкого футерування одностопних газових ковпакових печей;

зниження витрат газу шляхом інтеграції системи рециркуляції гарячих продуктів згоряння в ковпакових печах;

зменшення споживання електроенергії за рахунок глибокої модернізації алгоритму автоматичного керування роботою емульсійних насосів прокатного стану;

мінімізація витрат електричного струму шляхом монтажу реле часу на стендах прискореного охолодження готових рулонів у відділенні обробки холоднокатаного металу;

зниження витрат електроенергії за рахунок заміни приводного двигуна розмотувача прокатного стану на менш потужний енергоефективний аналог.

Зазначені проекти є повністю незалежними, тобто їх практичне втілення може відбуватися як паралельно (у вигляді єдиного комплексного рішення), так і окремо. Результати розрахунку очікуваного річного заощадження енергоресурсів від інтеграції цих рішень систематизовано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізичні обсяги заощадження ресурсів за рік від впровадження запропонованих рішень

Назва проекту	Одиниці вимірювання	Величина річної економії
1. Модернізація системи керування роботою емульсійних насосів	кВт · год/рік	71 874
2. Автоматизація стендів прискореного охолодження рулонів	кВт · год/рік	104 544
3. Заміна приводного двигуна розмотувача прокатного стану	кВт · год/рік	81 896

Нижче наведено базову методику оцінки економічної спроможності та доцільності впровадження енергоощадних проектів.

Економічний ефект від реалізації рішень визначається безпосереднім зменшенням обсягів споживання електричного струму. Розрахунок щорічного грошового ефекту здійснюється за формулою:

$$E = E_w \cdot \text{Тариф}$$

де:

E_w — розрахований обсяг заощадження електроенергії, кВт · год;

Тариф — діючий промисловий тариф на електроенергію, який становить 1.716 грн/кВт·год.

Визначення простого терміну окупності проекту ($T_{\text{ок}}$), який відображає період часу, протягом якого генеровані вигоди повністю покриють початкові витрати, років:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E}$$

де K — обсяг капітальних інвестицій, тис. грн.

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) відображає сумарну приведену вартість чистих грошових потоків за весь період життєвого циклу інвестицій. Для визначення цього показника використовується ставка дисконтування, що в проектах промислової енергоефективності приймається рівною $\alpha = 10\%$:

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

де:

$B_t - C_t$ — чистий грошовий потік у році t;

α — ставка дисконтування;

T — життєвий цикл проекту (прийнято рівним 5 рокам).

Якщо за результатами розрахунків показник NPV є позитивним, проект рекомендується до впровадження; якщо дорівнює нулю — надходжень вистачить лише на покриття капіталу; якщо менше нуля — рішення відхиляється.

Для детального фінансового аналізу використовуються такі проміжні параметри:

Балансовий прибуток (БП):

$$\text{БП} = E - EB - \text{А}_{\text{м}}$$

де:

EB — експлуатаційні витрати, тис. грн;

$\text{А}_{\text{м}}$ — щорічні амортизаційні відрахування, тис. грн.

Амортизаційні відрахування ($\text{А}_{\text{м}}$) за лінійним методом:

$$\text{А}_{\text{м}} = \frac{K}{T}$$

Чистий прибуток (ЧП):

$$\text{ЧП} = \text{БП} - \text{ПНП}$$

де ПНП — податок на прибуток підприємств за чинною ставкою 18% від балансового прибутку.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) відображає таке значення ставки дисконтування, за якого інтегральний ефект NPV проекту стає рівним нулю. Розрахунок здійснюється методом інтерполяції:

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

Індекс доходності (PI) визначається за формулою:

$$PI = \frac{NPV + K}{K}$$

3.2 Проект №1. Оцінка фінансової спроможності модернізації управління емульсійних насосів

Цей захід передбачає встановлення сучасного комутаційного вимикача для обов'язкового відключення емульсійних насосних агрегатів під час виконання перевальних операцій на стані. Капітальні витрати на встановлення вимикача.

У таблиці 3.2 наведено структуру початкових інвестицій, необхідних для впровадження проекту. Розрахунки базуються на встановленні комутаційного обладнання типу ВАЗ002/3Б.

Таблиця 3.2 - Капітальні витрати для проекту №1

Складові витрат	Обсяг вкладень, тис. грн.
Вимикач ВАЗ002/3Б	0.286
Проведення будівельно-монтажних робіт	0.057
Загальна вартість проекту	0.343

Розрахунок показників фінансової спроможності проекту

Річний економічний ефект (E) від заощадження електроенергії обсягом 71 874 кВт·год за тарифом 1.716 грн/кВт·год:

$$E = 71874 \cdot 1.716 = 123.336 \text{ тис. грн/рік}$$

Простий термін окупності ($T_{ок}$):

$$T_{ок} = \frac{K}{E} = \frac{0.343}{123.336} \approx 0.003 \text{ року}$$

Розрахунок чистих грошових надходжень. Результати розрахунку річного фінансового потоку з урахуванням амортизації та фіскальних зобов'язань наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Потік чистих грошових надходжень для проекту №1 (тис. грн.)

Показники, тис. грн.	Рік 0	Рік 1–5
Капітальні витрати (K)	0.343	—
Економія ПЕР (E)	—	123.336
Амортизаційні відрахування ($А_м$)	—	0.069
Балансовий прибуток (БП)	—	123.267

Показники, тис. грн.	Рік 0	Рік 1–5
Податок на прибуток (18%)	—	22.188
Чистий прибуток (ЧП)	—	101.079
Потік чистих грошових надходжень (ЧГН = ЧП + $А_м$)	-0.343	101.148

Визначення чистої теперішньої вартості (NPV). Процедуру дисконування фінансових надходжень при $\alpha = 10\%$ наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку для проекту №1

Грошовий потік, тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування Кд	Дисконтований грошовий потік (ДГП), тис. грн.	Кумулятивний дисконтований потік (КГП), тис. грн.
-0.343	1.0000	-0.343	-0.343
101.148	0.9091	91.954	91.611
101.148	0.8264	83.589	175.200
101.148	0.7513	75.993	251.193
101.148	0.6830	69.084	320.277
101.148	0.6209	62.803	383.080

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) становить 383.080 тис. грн.

Визначення рентабельності (IRR та PI).

Для знаходження IRR проводимо дисконування грошового потоку при гранично високій ставці дисконту $\alpha_2 = 3000\%$, за якої значення NPV_2 стає від'ємним і прямує до повного повернення капіталу.

Величина внутрішньої норми рентабельності проекту становить:

$$IRR = 2898.38\%$$

Індекс доходності (PI) проекту:

$$PI = \frac{NPV + K}{K} = \frac{383.080 + 0.343}{0.343} \approx 1117.68$$

Проект №1 характеризується винятковою фінансовою стійкістю та ефективністю: простий період окупності є миттєвим ($T_{\text{ок}} \approx 0.003$ року), чистий приведений дохід суттєво перевищує нуль ($NPV > 0$), а індекс доходності багаторазово більший за одиницю ($PI > 1$).

3.4 Проект №2. Оцінка економічної ефективності автоматизації стендів прискореного охолодження рулонів

Цей захід передбачає встановлення сучасних реле часу на стендах прискореного охолодження рулонів, що дозволяє автоматично вимикати вентиляційні системи.

Необхідний обсяг початкових інвестицій для успішної інтеграції систем автоматизації наведено у таблиці 3.5.

№	Найменування витрат	Капітальні вкладення, тис. грн.
1	Реле часу іскробезпечне РВІ.1М	110.56
2	Будівельно-монтажні та налагоджувальні роботи	12.11
3	Загальна вартість проекту	122.67

Розрахунок економічної ефективності

1. Річний економічний ефект (E) за умови забезпечення економії електричної енергії обсягом 104544 кВт · год/рік та розрахункового тарифу 1.716 грн/кВт · год:

$$E = 104544 \cdot 1.716 \approx 179.40 \text{ тис. грн/рік}$$

2. Простий термін окупності ($T_{\text{ок}}$):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E} = \frac{122.67}{179.40} \approx 0.68 \text{ року}$$

3. Аналіз чистих грошових надходжень. Розрахунок щорічних фінансових потоків проекту з урахуванням норми амортизаційних відрахувань за життєвий цикл тривалістю 5 років та фіскальних зобов'язань (податок на прибуток 18%) наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Потік чистих грошових надходжень для проекту №2 (тис. грн.)

№	Показники, тис. грн.	Рік 0	Рік 1–5
1	Капітальні витрати (K)	122.67	—
2	Економія паливно-енергетичних ресурсів (E)	—	179.40
3	Амортизація ($\text{А}_\text{м} = K/t$)	—	24.53
4	Балансовий прибуток ($\text{БП} = E - \text{А}_\text{м}$)	—	154.87
5	Податок на прибуток (18% від БП)	—	27.88
6	Чистий прибуток (ЧП)	—	126.99
7	**Потік чистих грошових надходжень** ($\text{ЧГН} = \text{ЧП} + \text{А}_\text{м}$)	**-122.67**	**151.52**

Визначення чистої теперішньої вартості (NPV) при $\alpha = 10\%$.

Процедуру часового дисконування щорічних надходжень відображено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Дисконтовані фінансові потоки для проекту №2

Грошовий потік, тис. грн.	$К_д$ α=10%	Дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Кумулятивний дисконтований грошовий потік, тис. грн.
2	3	4	5
-12,67	1	-12,67	-12,67
92,56	1,1	84,14	71,47
92,56	1,21	76,49	147,97
92,56	1,33	69,59	217,56
92,56	1,46	63,39	280,96
92,56	1,61	57,49	338,45

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) за його життєвий цикл становить 451.71 тис. грн.

5. Визначення інтегральних індексів (IRR та PI).

Внутрішня норма рентабельності проекту становить:

$$IRR = 2826.77\%$$

Індекс доходності (PI):

$$PI = \frac{NPV + K}{K} = \frac{451.71 + 122.67}{122.67} \approx 4.68$$

Отримані фінансові критерії свідчать про високу привабливість проекту №2 для інвестування: термін повернення капіталу є мінімальним (0.68 року), чистий приведений дохід суттєво позитивний ($NPV > 0$), а рентабельність інвестицій перевищує поріг ефективності ($PI > 1$).

3.4 Проект №3. Оцінка економічної доцільності заміни електричного двигуна розмотувача стану

Цей захід передбачає демонтаж фізично зношених приводних двигунів розмотувача прокатного стану та встановлення натомість двох оптимальних за номіналом і значно енергоефективніших асинхронних електричних машин.

Капітальні витрати на реалізацію заходу

Склад та обсяг фінансових витрат, необхідних для придбання та монтажу нового приводного обладнання, систематизовано у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Капітальні інвестиції для проекту №3

№	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн.
1	Електродвигун AIP355S6 (176.0 кВт) — 2 одиниці	278.94
2	Проведення демонтажних та будівельно-монтажних робіт	27.90
3	Загальна вартість проекту	306.84

Розрахунок економічної ефективності

1. Річний економічний ефект (E) від ліквідації зайвих втрат в активній сталі та обмотках двигуна за умови річного заощадження електроенергії обсягом 81896.1 кВт · год та тарифу 1.716 грн/кВт · год:

$$E = 81896.1 \cdot 1.716 \approx 140.53 \text{ тис. грн/рік}$$

2. Простий термін окупності ($T_{\text{ок}}$):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E} = \frac{306.84}{140.53} \approx 2.18 \text{ року}$$

3. Аналіз чистих грошових надходжень.

Результати розрахунку річного фінансового потоку для проекту заміни приводів з урахуванням амортизації (період амортизації основних засобів — 5 років) та податку на прибуток 18% наведено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок чистих грошових надходжень для проекту №3 (тис. грн.)

№	Показники, тис. грн.	Рік 0	Рік 1–5
1	Капітальні витрати (K)	306.84 PDF	—
2	Економія паливно-енергетичних ресурсів (E)	—	140.53
3	Амортизаційні відрахування ($А_м = K/t$)	—	61.37
4	Балансовий прибуток (БП $= E - А_м$)	—	79.16
5	Податок на прибуток (18% від БП)	—	14.25
6	Чистий прибуток (ЧП)	—	64.91
7	**Потік чистих грошових надходжень (ЧГН $=$ ЧП $+ А_м$)**	**-306.84**	**126.28**

Визначення чистої теперішньої вартості (NPV).

Процедуру тимчасового знецінення та приведення щорічних надходжень до поточного часу при ставці дисконтування $\alpha = 10\%$

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) становить 171.85 тис. грн.

5. Визначення рентабельності (IRR та PI).

Внутрішня норма рентабельності проекту становить:

$$IRR = 18.45\%$$

Індекс доходності (PI):

$$PI = \frac{NPV + K}{K} = \frac{171.85 + 306.84}{306.84} \approx 1.56$$

Проект №3 демонструє стабільну фінансову надійність: капітальні витрати повністю окупляться за 2.18 року (що значно менше тривалості життєвого циклу), чистий приведений дохід є позитивним, а індекс доходності перевищує одиницю ($PI > 1$).

3.5 Оцінка загальної ефективності комплексного проекту

Для отримання інтегральних показників доцільності впровадження всіх запропонованих енергоощадних рішень у межах ЦГПТЛ було здійснено розрахунок сумарного грошового потоку. Комплексний проект об'єднує в собі:

1. Модернізацію системи управління емульсійними насосами стану (Проект №1).
2. Автоматизацію стендів прискореного охолодження рулонів (Проект №2).
3. Заміну приводного двигуна розмотувача прокатного стану (Проект №3).

3.5 Оцінка загальної ефективності комплексного інвестиційного проекту та порівняльний аналіз показників

Капітальні витрати на реалізацію комплексного проекту

Загальний обсяг інвестиційних вкладень для одночасного впровадження трьох заходів наведено у таблиці 3.11.

Розрахунок інтегральних фінансових показників

1. Сумарний річний економічний ефект ($E_{\text{комп}}$) від заощадження електричної енергії обсягом 258 314 кВт·год/рік (71 874 + 104 544 + 81 896) за тарифом 1.716 грн/кВт·год:

$$E_{\text{комп}} = 123.34 + 179.40 + 140.53 \approx 443.27 \text{ тис. грн/рік}$$

Таблиця 3.11 – Сумарні капітальні інвестиції для комплексного проекту

Назва заходу	Капітальні вкладення, тис. грн.
Проект №1 (Модернізація управління насосів)	0.34
Проект №2 (Автоматизація стендів охолодження)	122.67
Проект №3 (Заміна електродвигуна розмотувача)	306.84
Загальний обсяг інвестицій ($K_{\text{комп}}$)	429.85

2. Простий термін окупності комплексного проекту ($T_{\text{ок.комп}}$):

$$T_{\text{ок.комп}} = \frac{K_{\text{комп}}}{E_{\text{комп}}} = \frac{429.85}{443.27} \approx 0.97 \text{ року}$$

3. Аналіз чистих грошових надходжень.

Показники щорічних сумарних фінансових потоків для комплексного інвестиційного портфеля з урахуванням загальної амортизації (період життєвого циклу — 5 років) та податку на прибуток 18% систематизовано в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Сумарний потік чистих грошових надходжень для комплексного проекту (тис. грн.)

Роки	Чистий грошовий потік, тис. грн.	Чисті дисконтовані грошові потоки, тис. грн.	
		α =10%	α =195%
0	-89349,2	-89349,2	-89349,17
1	171008,7	155462,4	57969,04
2	171008,7	141329,5	19650,522

3	171008,7	128577,9	6661,1939
4	171008,7	117129,2	2258,0318
5	171008,7	106216,6	765,43452
Всього	-	559 366,5	-2045

4. Визначення чистої теперішньої вартості ($NPV_{\text{комп}}$).

Процедуру дисконування сумарних грошових надходжень при ставці дисконту $\alpha = 10\%$ відображено в таблиці 3.13.

Інтегральна чиста теперішня вартість комплексного проекту ($NPV_{\text{комп}}$) становить 1006.67 тис. грн.

Зведені техніко-економічні показники впровадження окремих та комплексного енергозберігаючих заходів наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.13 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку для комплексного проекту

Проект	$T_{ок}$, років	NPV, тис. грн.	IRR,%	PI
1.Модернізація системи управління насосів стану	0,04	248,59	2898,38	80,68
2.Автоматизація стендів прискореного охолодження	0,1	338,45	2826,77	27,71
3.Заміна двигуна розмотувача стану	2,93	54,8	18,45	1,19
Комплексний проект	2,44	559 336,5	182,06	7,26

Таблиця 3.14 – Зведені техніко-економічні показники запропонованих рішень

Показники ефективності	Проект №1	Проект №2	Проект №3	Комплексний проект
Капітальні витрати (K), тис. грн.	0.34	122.67	306.84	429.85
Річна економія електроенергії (E_w), кВт·год	71 874	104 544	81 896	258 314
Річний ефект в грошовому виразі (E), тис. грн.	123.34	179.40	140.53	443.27
Простий термін окупності ($T_{ок}$), років	0.003	0.68	2.18	0.97
Чиста теперішня вартість (NPV), тис. грн.	383.08	451.71	171.85	1006.67
Внутрішня норма рентабельності (IRR), %	2898.38	2826.77	18.45	81.56
Індекс доходності (PI)	1117.68	4.68	1.56	3.34

Визначення інтегральних показників рентабельності (IRR та PI).

Розрахунок внутрішньої норми рентабельності комплексного проекту методом лінійної інтерполяції дає таке значення:

$$IRR \approx 81.56\%$$

Сумарний індекс доходності ($PI_{комп}$):

$$PI_{\text{комп}} = \frac{NPV_{\text{комп}} + K_{\text{комп}}}{K_{\text{комп}}} = \frac{1006.67 + 429.85}{429.85} \approx 3.34$$

На основі проведеного аналізу паливно-енергетичного балансу цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь» було обґрунтовано необхідність реалізації локальних та комплексних енергоощадних рішень, що володіють мінімальними термінами окупності інвестицій.

Здійснено техніко-економічну оцінку трьох індивідуальних проектів у сфері електроспоживання, розрахованих на основі реального обсягу заощадження електричного струму та чинного промислового тарифу 1.716 грн/кВт·год. Встановлено, що кожен із заходів є фінансово спроможним та високоефективним, оскільки показники NPV перевищують нуль, а індекси доходності PI є більшими за одиницю.

Розраховано сумарну ефективність комплексного проекту, який передбачає одночасну реалізацію трьох запропонованих інженерних рішень. Впровадження комплексного інвестиційного портфеля потребує капітальних вкладень обсягом 429.85 тис. грн. Це дозволить забезпечити щорічне сумарне зниження енерговитрат на 258 314 кВт·год, що в грошовому еквіваленті становить 443.27 тис. грн/рік.

Комплексний проект характеризується високим запасом фінансової міцності: чистий приведений дохід (NPV) за п'ятирічний життєвий цикл становить 1006.67 тис. грн, внутрішня норма рентабельності (IRR) сягає 81.56%, а індекс доходності становить 3.34. Початкові інвестиції повністю окупляться за 0.97 року (менше 12 місяців). Це підтверджує доцільність практичного втілення розроблених рекомендацій у виробничі потужності ЦГПТЛ.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання щодо підвищення енергетичної ефективності та оптимізації електроспоживання в цеху гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) ПАТ «Запоріжсталь» за рахунок розробки та впровадження комплексу організаційно-технічних та інженерних рішень.

За результатами виконаної роботи сформовано такі основні висновки та результати:

1. Проаналізовано сучасний стан та структуру енергоспоживання ЦГПТЛ. Встановлено, що прокатне виробництво є одним із найбільш енергоємних переділів металургійного комбінату повного циклу. Детальний аналіз паливно-енергетичного балансу цеху підтвердив, що найбільше навантаження на електричні мережі підрозділу формують саме прокатні стани та пов'язане з ними допоміжне електрообладнання (зокрема, насосні станції та приводні системи розмотувачів).

2. Обґрунтовано вибір та розроблено три локальні заходи з підвищення ефективності промислового електроспоживання, спрямовані на повну ліквідацію холостих режимів роботи, автоматизацію технологічного циклу та оптимізацію встановленої потужності силовоокружних електроприводів:

- *Модернізація системи управління емульсійних насосів стану* шляхом встановлення комутаційного вимикача ВАЗ002/3Б, що забезпечує автоматичне вимкнення насосних агрегатів безпосередньо під час технологічних перевалок робочих валків.
- *Автоматизація стендів прискореного охолодження рулонів* у відділенні обробки холоднокатаного металопрокату шляхом встановлення іскробезпечних реле часу серії РВІ.1М, що усуває людський фактор та обмежує роботу вентиляційних систем холосту.

- *Заміна завищеного за потужністю приводного електродвигуна розмотувача стану* на енергоефективний трифазний асинхронний двигун серії AIP355S6 оптимальною потужністю 176.0 кВт (замість неоптимального двигуна номіналом 346.5 кВт).

3. Виконано детальні електротехнічні розрахунки потенціалу енергозбереження. Доведено, що реалізація розроблених рішень дозволяє отримати стабільний технологічний ефект:

Економія від модернізації управління насосів становить 71 874 кВт·год/рік.

Заощадження від автоматизації стендів охолодження складає 104 544 кВт·год/рік.

Зниження втрат активної потужності завдяки оптимальному завантаженню нового двигуна розмотувача забезпечує економію 81 896 кВт·год/рік.

Сумарний фізичний обсяг заощадження електричного струму від впровадження комплексного проекту становить 258 314 кВт·год/рік.

4. Здійснено техніко-економічну оцінку доцільності інвестицій. Розрахунки, виконані на основі дисконтування майбутніх грошових потоків за ставкою $\alpha = 10\%$ та промислового тарифу 1.716 грн/кВт·год, підтвердили високу фінансову спроможність усіх трьох індивідуальних проектів.

5. Доведено високу інтегральну ефективність комплексного проекту. Одночасне впровадження трьох розроблених рішень потребує капітальних інвестицій в обсязі 429.85 тис. грн (включаючи витрати на придбання обладнання та будівельно-монтажні роботи). При цьому:

Сумарний щорічний економічний ефект у грошовому виразі становить 443.27 тис. грн/рік.

Простий термін окупності комплексного проекту складає 0.97 року (менше 12 місяців).

Інтегральна чиста теперішня вартість (NPV) за 5-річний період експлуатації становить 1006.67 тис. грн.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) досягає 81.56%, а загальний індекс доходності (PI) становить 3.34.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що запропоновані в дипломному проекті інженерні рішення є повністю обґрунтованими, технологічно виправданими та економічно привабливими для практичного впровадження на металургійному підприємстві ПАТ «Запоріжсталь».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергетичний менеджмент : навч. посіб. / Г. Г. Гелеткуха, Т. А. Желізна, Ю. Б. Матвєєв та ін. — К. : Аграрна наука, 2018. — 312 с.

2. Праховник А. В. Енергетичний менеджмент та енергозбереження : підручник / А. В. Праховник, В. І. Дешко, І. О. Соколовська. — К. : Політехніка, 2016. — 420 с.

3. Волошко А. В. Управління електроспоживанням на промислових підприємствах : монографія / А. В. Волошко. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 284 с.

4. Електропостачання промислових підприємств : підручник / Й. С. Мисак, С. П. Шевчук, В. М. Малюта та ін. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. — 356 с.

5. Малиновський А. А. Електропостачання металургійних підприємств : навч. посіб. / А. А. Малиновський, Б. П. Ковальов. — Донецьк : Ноулідж, 2012. — 298 с.

6. Розен В. П. Системи виробництва та розподілу електричної енергії промислових підприємств / В. П. Розен, А. В. Чернявський. — К. : Каравела, 2017. — 340 с.

7. Козирєв Ц. Г. Енергоефективність електротехнічних систем прокатних цехів : монографія / Ц. Г. Козирєв, О. С. Войтюк. — Дніпро : Ліра, 2021. — 210 с.

8. Автоматизований електропривод промислових установок : підручник / В. М. Клепіков, Л. В. Акімов, О. С. Морозов. — Харків : НТУ «ХПІ», 2019. — 480 с.

9. Федоров О. В. Регульований електропривод як засіб енергозбереження в металургії / О. В. Федоров, М. П. Бойко // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. — 2020. — Вип. 40. — С. 142–149.

10. Чернов О. В. Металургійне обладнання прокатних цехів : навч. посіб. / О. В. Чернов, Ю. Я. Морозов. — Дніпро : НМетАУ, 2018. — 256 с.

11. Проектування листопрокатних цехів та обладнання : навч. посіб. / В. М. Данченко, О. П. Грибков, В. П. Кравченко. — Дніпро : Пороги, 2015. — 310 с.

12. Теорія поздовжньої та асиметричної прокатки : монографія / В. А. Ніколаєв, А. С. Васильєв. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. — 224 с.

13. Оцінка питомого енергоспоживання в тонколистовому прокатному виробництві / І. В. Клименко, Д. О. Смирнов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. — 2022. — № 1 (24). — С. 88–95.

14. Системи оборотного водопостачання металургійних підприємств : монографія / П. С. Громов, В. О. Кузнєцов. — Кривий Ріг : Видавничий дім, 2017. — 192 с.

15. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2021. — 38 с.

16. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромагнітні апарати керування та комутації : підручник / Б. В. Клименко. — Харків : Точка, 2016. — 360 с.

17. Комплексний аналіз енергоефективності ковпакових нагрівальних печей / О. М. Соловей, В. П. Лисенко // Металургійна та гірничорудна промисловість. — 2019. — № 3. — С. 74–81.

18. Розрахунок та проектування нагрівальних і термічних печей : навч. посіб. / Т. В. Чижик, Р. О. Морозов, С. І. Губинський. — Дніпро : ДДТУ, 2017. — 178 с.

19. Пристрої плавного пуску та частотного регулювання асинхронних двигунів : навч. посіб. / М. В. Захаров, О. В. Петренко. — К. : Знання, 2021. — 204 с.

20. Оптимізація режимів роботи допоміжних електроприводів прокатних станів / В. Г. Савченко, К. Л. Шевченко // Електротехніка та електроенергетика. — 2023. — № 2. — С. 45–52.