

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 енергоефективності механічного цеху промислового об'єкту

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1419

спеціальності 141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

Мадараш П.В.

Керівник доц. Друбєцька Т.І.

Консультант

Запоріжжя

2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(код та назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко

“ 20 ” травня 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту

Мадарашу Павлу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи Підвищення енергоефективності механічного цеху промислового об'єкту

керівник роботи доц. Друбецька Т.І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ЗНУ від « 26 » грудня 2023 року № 2215 - с

2. Строк подання студентом роботи: 20 травня 2024 року








3. Вихідні дані бакалаврської роботи Потужність основного обладнання та режими роботи; поточний тариф за 1 кВт год. електроенергії

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

Вступ; загальна інформація про промисловий об'єкт; оцінка енергоефективності підприємства; розробка заходів з метою підвищення енергоефективності

5. Перелік графічного матеріалу (лише у якості рекомендації): схема електропостачання ремонтно-механічного цеху; споживання електричної енергії; Розташування верстатів в РМЦ; баланс споживання електроенергії приладами механічного цеху; схема підключення обладнання

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання прийняв	Завдання прийняв
Розділ 1	доц. Друбецька Т.І.		
Розділ 2	доц. Друбецька Т.І.		
Розділ 3	доц. Друбецька Т.І.		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І.		

7. Дата видачі завдання 30.12.2023

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна інформація про промисловий об'єкт	01.03.24	
2	Оцінка енергоефективності підприємства	01.04.24	
3	Розробка заходів з метою підвищення енергоефективності	01.05.24	

Студент



(підпис)

Мадараш П.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник/консультант роботи



(підпис)

Друбецька Т.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер



(підпис)

Бандуренко І.І.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Мадараш П.В. Підвищення енергоефективності механічного цеху промислового об'єкту.

Дипломна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Друбецька Т.І. Запорізький національний університет, Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024 рік.

Зроблено порівняльний аналіз та виявлено найбільші споживачі електричної енергії ремонтно-механічного цеху підприємства. Визначено втрати потужності споживачів. Проведено дослідження по споживанню активної, реактивної та повної потужностей електрообладнання розглядуваного цеху. Розглянуто заходи з метою підвищення енергоефективності обладнання ремонтно-механічного цеху.

Ключові слова: електрична енергія; потужність електричної енергії; втрати електричної енергії, електропривід, енергоефективність.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1 Загальна інформація про промисловий об'єкт	8
1.1 Загальна характеристика ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» .....	8
1.2 Огляд роботи ремонтно-механічного цеху .....	9
1.3 Огляд інженерних мереж .....	10
1.4 Огляд динаміки виробничої діяльності та використання енергетичних ресурсів .....	11
2 Оцінка енергоефективності підприємства	15
2.1 Система енергопостачання підприємства .....	15
2.2 Аналіз споживачів РМЦ.....	16
3 Розробка заходів з метою підвищення енергоефективності	26
3.1 Компенсація реактивної потужності РМЦ .....	26
3.2 Аналіз характеру споживання електричної енергії.....	27
3.3 Аналіз завантаженості ліній енергопостачання .....	33
3.4 Удосконалення електроприводу .....	39
Висновки .....	57
Перелік посилань .....	58
Додаток А. ....	60

## ВСТУП

Підвищення енергоефективності у промисловості є одним із ключових інструментів підвищення її конкурентоздатності. Перед енергетикою у близькому майбутньому стоїть завдання всесвітнього розвитку та використання відновлювальних джерел енергії. Існують вагомі причини для нагальних зрушень у цій сфері, наприклад, до повномасштабного вторгнення країни-терориста росії на територію України у 2022 році енергоємність ВВП в Україні була в 2,5 рази вища, ніж у Польщі, та в 3,3 рази вища, ніж у Німеччині. У 2019 році втрати енергії через низьку енергоефективність підприємств коштували Україні близько 5 млрд доларів. Підписавши Паризьку угоду, Україна обрала курс на розвиток низьковуглецевої економіки.

Від технічного рівня, режиму роботи та умов експлуатації електроустаткування залежить продуктивність, якість і собівартість продукції, тобто всі основні показники, що характеризують ефективність роботи як окремих галузей, так і всього народного господарства в цілому. У цих умовах успіх виробничої діяльності спеціалістів значною мірою залежить від їхньої готовності виконувати низку функцій, що стосуються грамотної експлуатації електроустаткування.

Для фінансової установи за наявності кількох аналогічних варіантів найбільш привабливим буде той проект, у якого показник дисконту є максимальним. Недоліки цього показника полягають у тому, що він має абсолютний, а не відносний характер. Крім того, при розрахунках цього показника дуже важливу роль відіграє правильний вибір відсоткової ставки кредиту (норми дисконту), від якої суттєво залежить результат порівняння інших проектів із різним розподілом ефекту в часі. Вибір норми дисконту варіюється залежно від характеру організації та комерційної кон'юнктури, в якій вона працює; чи відповідає вона вартості зайнятих коштів, вартості банківських депозитів або необхідності організації знайти капітал з внутрішніх резервів. Вважається, що вартість капіталу - це складова, середньозважена цифра,

відповідно до джерел капіталу, який може бути використаний підприємством. При виборі норми дисконту потрібно враховувати, щоб дохід від вкладених коштів забезпечував мінімальний гарантований рівень дохідності (прибутковості); повністю компенсував зміни (включаючи інфляційні) купівельної спроможності грошей протягом періоду; покривав ризик інвестора, пов'язаний із здійсненням проекту.

В галузі раціонального витрачання і економії електроенергії особлива роль належить фахівцям-технологам, які повинні повсякденно виявляти і знаходити нові резерви економії електроенергії на всіх ділянках технологічного процесу. Це включає безперервне вдосконалення діючих технологій, оптимізацію режимів роботи електроустаткування, його заміну на більш досконале і економічне, з меншими питомими втратами енергії.

## 1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОМИСЛОВИЙ ОБ'ЄКТ

### 1.1 Загальна характеристика ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Як відомо, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» займає провідні позиції серед найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України і є частиною міжнародної корпорації АрселорМіттал, яка є світовим лідером з виробництва сталі та одним з найбільших іноземних інвесторів в нашій країні. Дане підприємство є одним з найбільших виробників сталевого прокату в Україні, спеціалізується на виробництві довгомірного прокату, зокрема арматури і катанки із звичайних і низьколегованих марок сталі. Крім того, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виробляє агломерат, концентрат, кокс, чавун, сталь, сортовий і фасонний прокат. Діяльність підприємства охоплює повний виробничий ланцюжок від видобутку залізної руди до виготовлення готової металопродукції.

Особливістю зазначеного підприємства є те, що воно має повний металургійний цикл, що включає коксохімічне виробництво, гірничорудне виробництво (відкриті розробки та підземний видобуток руди) і металургійне виробництво, яке складається з аглодоменного, сталеплавильного та прокатного департаментів.

У 2021 році підприємство виробило:

- 7,9 млн тонн чавуну
- 7,5 млн тонн сталі
- 6,8 млн тонн прокату

Неодмінною позитивною стороною підприємства є те, що воно має власний видобуток залізної руди; відносно низькі витрати металургійного виробництва; відносна географічна близькість до країн Європи з можливістю залізничного сполучення та близькість до портів Чорного моря, що забезпечує відкритий доступ до світових ринків; географічна близькість до джерел енергоресурсів.



У 2021 році підприємство сплатило до бюджету та державних цільових фондів податків і зборів на загальну суму 10 600 млн грн. З цієї суми майже 621 млн грн були перераховані до місцевих бюджетів, 621 млн грн до державного бюджету, 879 млн грн у державних цільових фондів, а також сплачено 1 202 млн грн податку на додану вартість при імпорті сировини та матеріалів. Тобто ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним з найбільших платників податків в країні.

## 1.2 Огляд роботи ремонтно-механічного цеху

Ремонтно-механічний цех «АрселорМіттал Кривий Ріг» є важливою ланкою підприємства, що забезпечує виробництво, обслуговування і ремонт основних засобів металургійного виробництва. Основними завданнями ремонтно-механічного цеху є оперативне технічне обслуговування та ремонт обладнання, а також виробництво запасних частин для власних потреб.

У цеху проводяться ремонтні роботи будь-якої складності, що дозволяє запобігти аварійним ситуаціям та знизити час простою обладнання. Крім того, ремонтно-механічний цех займається модернізацією та удосконаленням існуючого обладнання, що підвищує його ефективність та продуктивність. На підприємстві постійно впроваджуються нові технології та методи роботи, що дозволяє знизити витрати на обслуговування та підвищити рівень безпеки на робочому місці.

Важливим завданням ремонтно-механічного цеху є також планування та координація робіт, а також контроль якості виконання ремонтних робіт. Це забезпечує високу якість виконання робіт та ефективне використання часу та ресурсів підприємства. Система вентиляції забезпечує чистоту повітря та оптимальні умови для працівників. Вентиляційні системи обладнані фільтрами для видалення пилу та інших забруднень з повітря.

Вода для технологічних потреб цеху надходить з власної водоочисної станції підприємства, яка забезпечує очищення та підготовку води до необхідних стандартів. Очищена вода використовується для охолодження обладнання, а

також для інших технологічних процесів.

Ремонтно-механічний цех має живлення за схемою одинарної секціонованої системи збірних шин, з перемичкою на ТП-14 яка виконується силовим броньованим кабелем ВБШв 3x70 [1-3]. Тягова підстанція складається з двох ТМ-2500/6, 1 резервний, потужністю 2500 кВ·А, напругою 6/0,4 кВ. У самому цеху живлення здійснюється за допомогою низьковольтних кабельних ліній марки ВВГ з двох фідерів трансформаторної підстанції. Принципова схема електропостачання ремонтно-механічного цеху показано на рисунку 1.1.

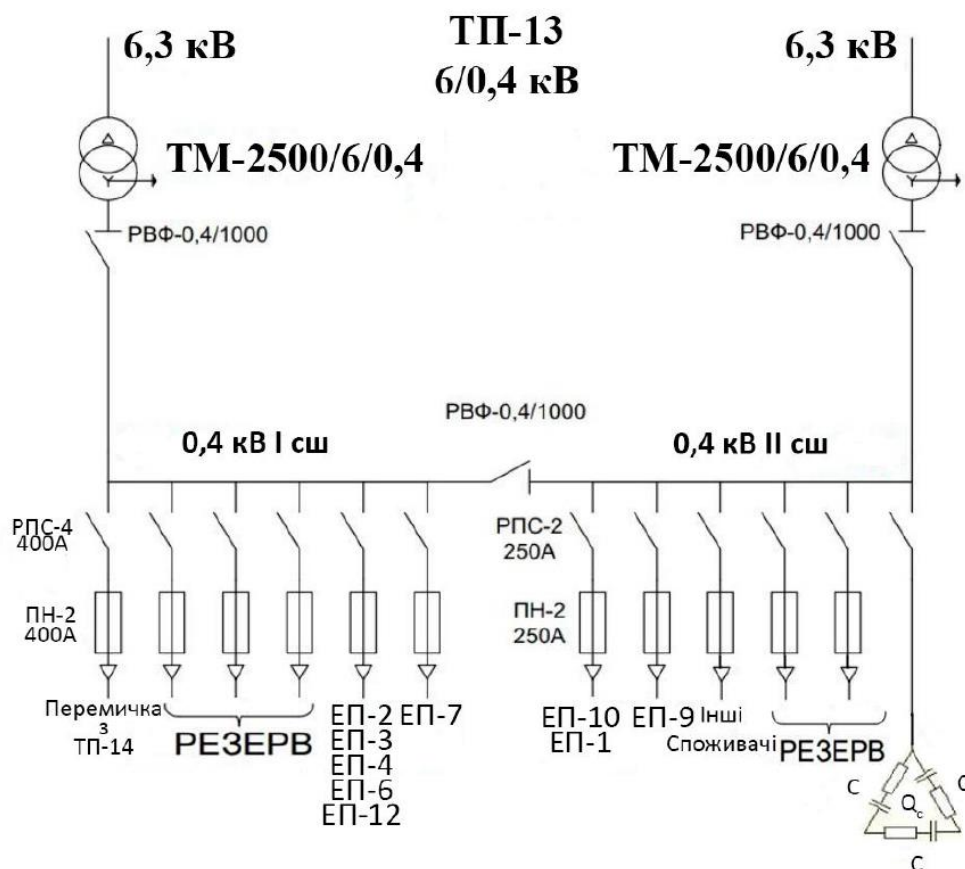


Рисунок 1.1 – Схема електропостачання ремонтно-механічного цеху

### 1.3 Огляд інженерних мереж

Для функціонування ремонтно-механічного цеху основним джерелом енергії є електроенергія. Вона використовується, наприклад, для запуску механізмів, роботи пневматичних та гідравлічних систем та освітлення.

Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних світильників. Для забезпечення електропостачання цех використовує внутрішню електростанцію потужністю 36 МВт, яка працює на газоподібному паливі.

Також цех використовує градирні (системи охолодження, які можуть також використовуватися для нагріву приміщень) для опалення приміщень. Тобто цех застосовує градирні як джерело тепла, що дозволяє підтримувати оптимальну температуру в робочих зонах. Тепла вода з градирні подається до розподільчого пункту, звідки розподіляється між будівлями підприємства за допомогою насосної станції. Загальна площа відділу становить 972 м<sup>2</sup>, з яких 839,8 м<sup>2</sup> є опалювальною площею. У РМЦ є 59 вікон з подвійним застосуванням в дерев'яних рамах площею 218,8 м<sup>2</sup>, 17 металевих дверей з утеплювачем та одні відкотні ворота.

Ремонтно-механічний цех щорічно споживає значну кількість природного газу для забезпечення своїх енергетичних потреб. Природний газ використовується для роботи електростанції. Для опалення приміщень використовується гаряча вода з градирної системи, що дозволяє створити комфортні умови для працівників та забезпечити ефективність роботи цеху. Стіни будівлі виконані з вапняних блоків товщиною 600 мм та покриті цементно-піщаною штукатуркою товщиною 20 мм зовні будівлі та 30 мм зсередини [4].

В цілому, ремонтно-механічний цех використовує електроенергію, природний газ та градирні системи для забезпечення своїх енергетичних потреб та постійно працює над зниженням енергетичних втрат та оптимізацією використання енергоресурсів, забезпечуючи ефективну та стабільну роботу всього виробничого процесу.

#### 1.4 Огляд динаміки виробничої діяльності та використання енергетичних ресурсів

Як вже зазначалося вище, основною сировиною для виробництва сталі є залізна руда, яку АрселорМіттал Кривий Ріг видобуває на власних рудниках.

Після видобутку залізна руда проходить кілька етапів переробки, включаючи збагачення, подрібнення та плавку, щоб отримати чистий залізний концентрат.

Чиста залізна руда потім використовується для виробництва сталі. АрселорМіттал Кривий Ріг має в своєму розпорядженні металургійні печі, конвертери та ливарні цехи, де проводяться процеси плавлення та лиття сталі. В результаті цих технологічних процесів отримуються різні види сталі, які застосовуються в будівництві, машинобудуванні, автомобільній промисловості, енергетиці та інших галузях.

Крім того, підприємство виробляє різні види сталевого прокату, такі як холоднокатаний прокат, гарячекатаний прокат, сталеві дроти, арматурний прокат та інші продукти. Ці матеріали знаходять широке застосування в будівництві, виробництві машин, побутовій техніці та інших галузях промисловості. Після повномасштабного нападу росії на Україну у 2022 році інформація про економічну діяльність багатьох підприємств має обмежений доступ. Тому у даній роботі наводимо інформацію за попередні роки (табл. 1.1), а дані про споживання паливно-енергетичних ресурсів наведено на рисунках 1.2 – 1.4.

Таблиця 1.1 – Виробнича діяльність ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Види продукції	Показники, млн. тонн		
	2020	2021	2022
Чавун	4,9	5,34	1,6
Сталь	4,66	4,92	1,2
Прокат	4,34	4,6	1,1
Кокс	2,1	2,5	1
Концентрат	10,6	11	4,5
Залізна руда	25,5	26,4	11,6

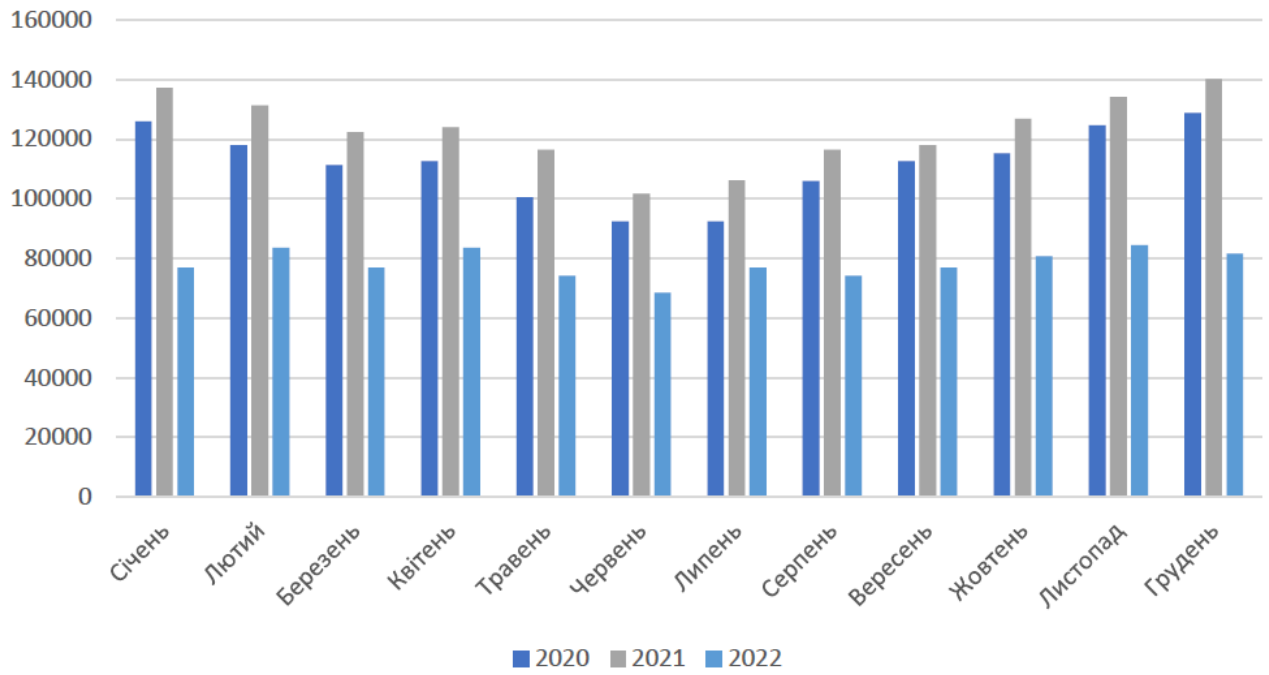


Рисунок 1.2 – Споживання електричної енергії

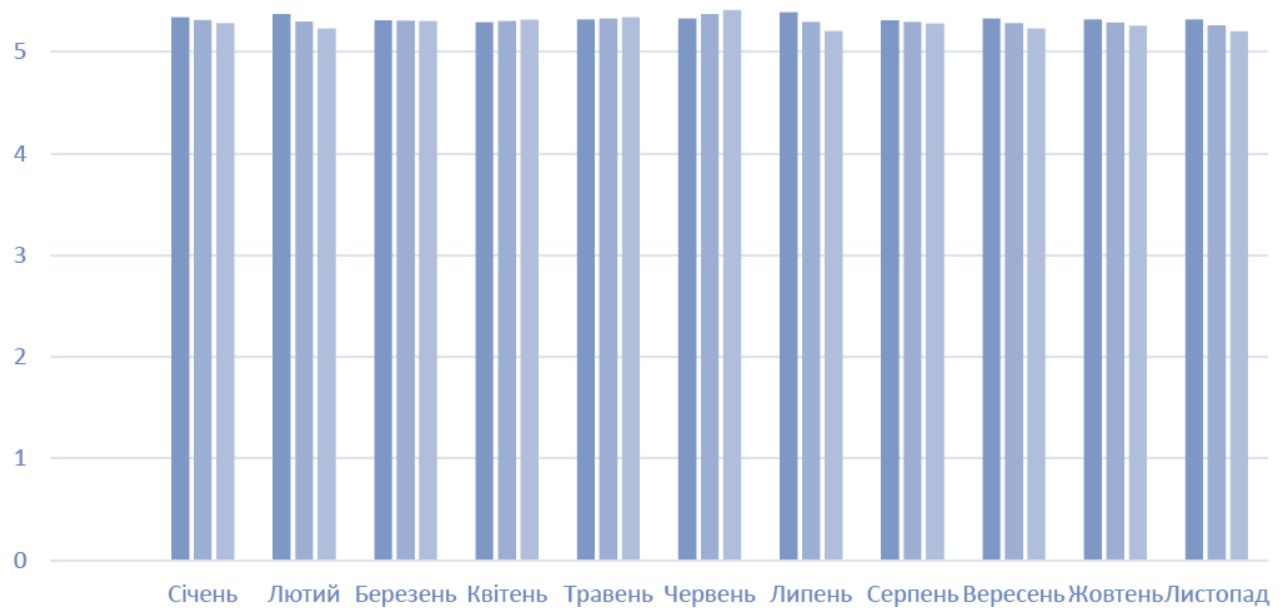


Рисунок 1.3 – Споживання питної води

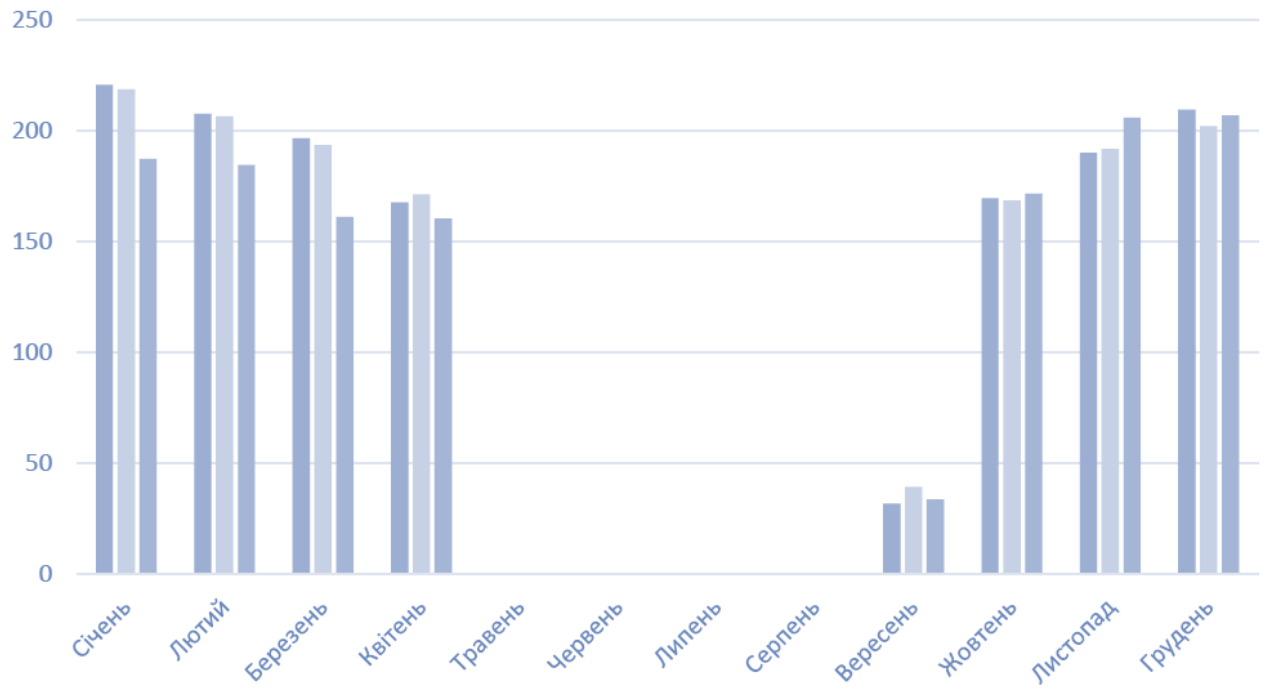


Рисунок 1.4 – Споживання теплової енергії

## 2 ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

### 2.1 Система енергопостачання підприємства

АрселорМіттал Кривий Ріг (АМКР) до повномасштабного вторгнення РФ на територію України приділяло значну увагу впровадженню енергоефективних технологій та процесів з метою зниження енергетичних витрат та викидів парникових газів. Компанія регулярно проводила розрахунки енергетичної ефективності виробничих ліній, впроваджувала нові методи та обладнання для оптимізації енергоспоживання у виробничому процесі.

Одним із важливих кроків у цьому напрямку був аудит енергоефективності, який дозволяв ідентифікувати слабкі місця у використанні енергії та розробляти плани заходів для їх усунення. Компанія також впроваджувала заходи з зменшення енергоспоживання у системах освітлення, опалення та вентиляції, а також удосконалювала ізоляцію теплових мереж та обладнання, що сприяло зниженню енергетичних втрат.

АМКР активно співпрацювала з екологічними організаціями та урядовими структурами з метою розробки та впровадження програм з енергоефективності. Компанія брала участь у проектах з використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, що дозволяло урізноманітнити джерела енергопостачання та зменшити залежність від традиційних паливних ресурсів.

Приклади діяльності АрселорМіттал Кривий Ріг у сфері енергоефективності:

- Компанія встановила систему рекуперації тепла, яка дозволяє повторно використовувати тепло, що виділяється під час виробництва сталі. Це сприяло зниженню споживання енергії на опалення та підігрів сировини. Крім того, були впроваджені енергоефективні методи плавки чавуну та сталі, які дозволяють зменшити енергетичні витрати на ці процеси.

- АМКР розпочало встановлення сонячних панелей на дахах будівель, що дозволяє використовувати сонячну енергію для генерації електроенергії. Це допомагає зменшити споживання енергії з традиційних джерел та скоротити викиди парникових газів.
- Компанія впровадила систему моніторингу та управління споживанням енергії, яка дозволяє точно контролювати та аналізувати енергетичні витрати на різних виробничих лініях та процесах. Це допомагає виявляти енергетичні втрати та розробляти заходи для їх усунення.
- АМКР провело реконструкцію систем опалення та вентиляції з метою підвищення енергоефективності. Встановлені сучасні системи регулювання та контролю дозволяють підтримувати комфортні умови для працівників при мінімальних енергетичних витратах.

## 2.2 Аналіз споживачів РМЦ

У ремонтно-механічному цеху розглядуваного підприємства використовуються різноманітне обладнання, яке є основним споживачем електричної енергії. Основні електроспоживачі РМЦ наведено в таблиці 2.1, а на рисунку 2.1 показано розташування споживачів електричної енергії у РМЦ. Основна частина цеху, яка знаходиться у зоні досяжності мостового крану, поділена на декілька зон за спеціалізацією [4-6].

Ремонтно-механічний цех має 12 приміщень загальною площею 879,8 м<sup>2</sup>, де проводяться різні ремонтні та механічні роботи. Електрична енергія використовується переважно для живлення цих верстатів та обладнання, необхідних для проведення ремонтних та виробничих процесів в цьому цеху.



Таблиця 2.1 – Основні електроспоживачі РМЦ

Назва обладнання	Призначення (короткий опис) обладнання	Номінальна потужність обладнання, кВт
Поперечно-стругальний станок	Обробка плоских поверхонь та пазів	5 - 10
Консольно-фрезерний станок	Фрезерний верстат з консольним кріпленням	2-7
Станок радіально-свердлильний	Свердління отворів у великих деталях	3-5
Довбальний станок	Виготовлення шпонкових канавок, зубчастих коліс	2-5
Токарно-фрезерний станок	Комбінований верстат для токарної та фрезерної обробки	5-15
Станок вертикально-свердлильний	Вертикальний свердлильний станок для точного свердління	3-6
Молот ковальський пневматичний	Ковальські роботи	5-10
Вертикальний консольно-фрезерний станок	Фрезерний верстат з вертикальним шпинделем	3-10
Ножиці гільотинні гідравлічні	Різання листового металу	5-15
Агрегат пилозбірний	Система для збору пилу	2-4
Прес-ножиці	Різання металевих листів	5-20
Прес гідравлічний	Формування та штампування матеріалів	5-25

Станок пилкорізний	різання матеріалів	2-6
Пристрій для виготовлення стропів	Виробництва стропів	2-4
Точильно-шліфувальний станок	шліфування та заточування інструментів	2-5
Станок вертикально-свердлильний настільний	Компактний свердлильний станок	1-3
Станок вертикально-свердлильний	Вертикальний свердлильний станок	3-6
Ванна нагрівальна	Нагрів матеріалів	3-8
тенд для випробування насосів ЕЦВ	Тестування насосів	5-10
Станок для різання металів тертям	Різання металу	5-10
Кран мостовий однобалковий опорний	Підйому та переміщення важких вантажів	10-30
Компресор	Стиснення та подача повітря	5-15

Визначення номінальних потужностей: Складання таблиці всіх електроприймачів з вказівкою їх номінальних потужностей.

Розрахунок середнього навантаження. Визначення середнього навантаження для кожного типу обладнання з урахуванням робочих циклів. Розрахунок пікового навантаження. Визначення максимального навантаження з урахуванням можливих одночасних включень декількох верстатів.

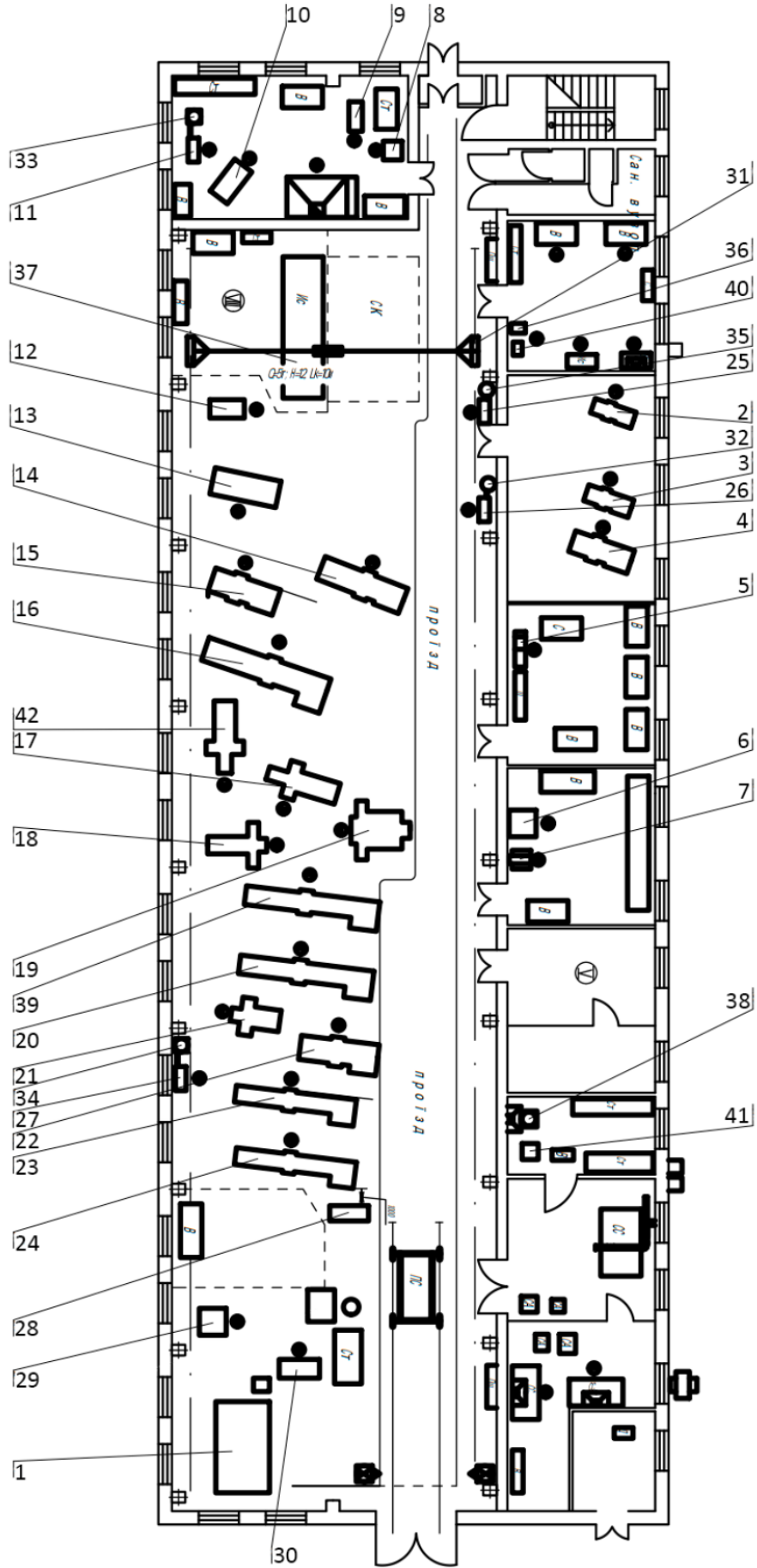


Рисунок 2.1 – Розташування верстатів в РМЦ

Аналіз енергоспоживання. Вивчення графіків навантаження для визначення характеру енергоспоживання протягом робочого дня. Планування оптимізації. Розробка заходів для оптимізації навантаження та зниження пікових навантажень шляхом раціонального планування роботи обладнання.

Враховуючи кількість обладнання визначимо його загальну потужність та загальну річну кількість годин роботи обладнання (табл. 2.2) [7, 8].

Таблиця 2.2 – Споживачі електричної енергії РМЦ

Тип обладнання	Кількість	Загальна потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Кількість робочих годин на рік, год
1	2	3	4	5
Точильно-шліфувальний станок	1	1,7	0,7	4858
Молот ковальський пневматичний	1	7,5	0,4	2959
Токарно-фрезерний станок	3	25,42	0,7	4887
Пристрій для виготовлення стропів	1	1,625	0,7	5304
Агрегат пилозбірний	1	1,5	0,8	6246
Прес гідравлічний	1	3	0,6	4573

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
Станок для різання металів тертям	1	12,4	0,6	4372
Станок вертикально-свердлильний настільний	1	0,18	0,6	4632
Точильно-шліфувальний станок	2	3,4	0,7	4319
Станок вертикально-свердлильний	2	4,49	0,7	4932
Агрегат пилозбірний	2	3	0,8	5941
Стенд для випробування насосів ЕЦВ	1	5	0,6	3749
Кран мостовий однобалковий опорного	1	48	0,8	6123
Ванна нагрівальна	1	5	0,4	3847
Станок радіально-свердлильний	1	22	0,7	4950
Точильно-шліфувальний станок	1	0,75	0,7	4128
Поперечно-стругальний станок	1	13	0,6	4387
Токарно-фрезерний станок	8	75,57	0,7	4600
Прес-ножиці	1	4,8	0,7	4938

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
Консольно-фрезерний станок	1	1,7	0,7	4900
Компресор	1	1,1	0,8	6162
Станок вертикально-свердлильний	1	4	0,6	3848
Вертикальний консольно-фрезерний станок	1	1,7	0,7	5032
Довбальний станок	1	3	0,6	4328
Агрегат пилозбірний	1	1,5	0,8	6025
Станок вертикально-свердлильний	1	0,37	0,7	4659
Станок пилкорізний	1	1,7	0,7	5083
Ножиці гільотинні гідравлічні	1	18,5	0,6	4394
Лампи ДРЛ	20	8	0,8	6108
Люмінісцентні лампи	32	2,3	0,8	6108

Розраховуємо сумарну потужність електроприймачів, використовуючи відомий метод розрахункових коефіцієнтів [10].

$$P_{\Sigma 1} = P_H n;$$

де  $P_H$  – потужність електроприймача, кВт;

$n$  – кількість електроприймачів одного типу.

$$P_{\Sigma 1} = P_{H1} n$$

$$P_{\Sigma 1} = 3 \cdot 1 = 350 \text{ кВт};$$

Проміжна активна потужність:

$$P_{n1} = P_{\Sigma 1} K_{в1}$$

де  $K_{в}$  – коефіцієнт використання.

$$P_{n1} = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ кВт};$$

Проміжна реактивна потужність:

$$Q_{n1} = P_{n1} \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,33$$

$$Q_{n1} = 1,8 \cdot 0,33 = 0,594 \text{ квар}$$

Визначаємо ефективне число споживачів, знайшовши серед споживачів, приймачі з максимальною і мінімальною потужностями:

$$\frac{P_{\text{нimax}}}{P_{\text{нimin}}} = \frac{7,5}{1,5} = 5 > 3, \text{ тоді}$$

$$n_{pe} = \frac{2 \sum P_{\Sigma i}}{P_{\text{нimax}}}$$

$$n_{pe} = \frac{2 \cdot 13,7}{7,5} = 3,65$$

Визначимо груповий коефіцієнт використання:

$$K_B = \frac{\sum P_{ni}}{\sum P_{\Sigma i}}$$

$$K_B = \frac{7,19}{13,7} = 0,52$$

За таблицею «Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження  $K_p$  для шин НН цехових трансформаторів і магістральних шинопроводів напругою до 1 кВ» визначаємо  $K_{pa}$  [11, 12].

$$K_{pa} = 1,04$$

Знаходимо розрахункові активне, реактивне та повне навантаження:

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_p$$

$$P_p = 7,19 \cdot 1,04 = 7,48 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 9,95 \text{ квар}$$



$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

$$S_p = \sqrt{7,48^2 + 9,95^2} = 12,45 \text{ кВА}$$

Розраховуємо навантаження на ЩО Приймаємо коефіцієнт пускорегулюючої апаратури  $K_{пра}=1,12$

$$P_{р.осв} = n \cdot P_{осв} \cdot K_{пра} \cdot K_{п}$$

$$P_{р.осв.люм} = 32 \cdot 0,072 \cdot 1,12 \cdot 0,8 = 2,06 \text{ кВт}$$

$$Q_{р.осв} = P_{р.осв} \cdot tg\varphi$$

$$Q_{р.осв.люм} = 2,06 \cdot 0,48 = 0,99 \text{ квар}$$

$$S_{осв.люм} = \sqrt{2,06^2 + 0,99^2} = 2,28 \text{ кВА}$$

$$P_{р.осв.дрл} = 20 \cdot 0,4 \cdot 1,12 \cdot 0,8 = 7,17 \text{ кВт}$$

$$Q_{р.осв.дрл} = 7,17 \cdot 0,619 = 4,44 \text{ квар}$$

$$S_{осв.дрл} = \sqrt{7,17^2 + 4,44^2} = 8,43 \text{ кВА}$$

$$S_{осв} = 8,43 + 2,28 = 10,71$$

Розрахуємо навантаження на шинах НН.

$$P_{НН} = P_{р.(СП1+СП2+СП3+СП4+СП6+СП7+СП9+СП10+СП12)} + P_{р.осв}$$

$$P_{НН} = 177,45 + 9,23 = 186,68 \text{ кВт}$$

$$Q_{НН} = Q_p + Q_{р.осв}$$

$$Q_{НН} = 179,82 + 5,43 = 185,25 \text{ квар}$$

$$S_{НН} = \sqrt{181,58^2 + 181,8^2} = 260,58 \text{ кВА}$$

## 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

### 3.1 Компенсація реактивної потужності РМЦ

Одним із суттєвих напрямків із збільшення енергетичної ефективності при роботі обладнання є компенсація реактивної потужності. Відомо, що реактивна потужність є невід'ємною частиною роботи електричних кіл, що містять реактивні елементи. Проте реактивна потужність не виконує корисної роботи, а приводить до втрат, пропорційних квадрату струму. Тобто відбувається енергообмін між джерелом електричної енергії та приймачем, що тягне за собою завантаження ліній (дротів). Оцінка, що характеризує ступінь впливу реактивної складової потужності на енергосистему є коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ . Чим ближче коефіцієнт потужності до одиниці, тим менше реактивна складова і, відповідно, тим менше втрати потужності. Вважається, що мінімально допустимим значенням  $\cos\varphi$  є 0,95.

Оскільки на одній із тягових підстанцій встановлено 10 конденсаторів в установці на 50 квар кожен, сумарною потужністю 500 квар, то після розрахунків маємо струми по фазах  $I_1 = 71,4\text{I A}$ ;  $I_2 = 68,3\text{ A}$ ;  $I_3 = 74,2\text{ A}$  [13].

Отримані параметри компенсуючої установки:

- коефіцієнт потужності  $\cos\varphi = 0,96$ ;
- активна потужність  $P = 2139\text{ кВт}$ ;
- реактивна потужність  $Q = 425,45\text{ квар}$ ;
- повна потужність  $S = 2180,9\text{S кВА}$ ;
- трансформатор: 2500 кВА, 10/0,4 кВ;
- кількість робочих годин на рік: 8544.

Отже, компенсація реактивної потужності за допомогою конденсаторних установок сприяє підвищенню коефіцієнта потужності, що дозволяє знизити навантаження на мережу та трансформатор.

Розрахунок економії енергії. З підвищенням коефіцієнта потужності зменшується величина струму в мережі, що призводить до зменшення втрат в

електричних мережах і трансформаторах. Розрахуємо економію енергії за рік.

Втрати потужності в проводах можна розрахувати як:

$$P_{\text{втрат}} = R \cdot I^2$$

де:  $R$  – опір проводів,

$I$  – струм.

Зі збільшенням коефіцієнта потужності до 0,96 знижується реактивний струм, що призводить до зменшення втрат. Розрахуємо зниження втрат потужності при  $\cos\varphi=0,96$ :

$$I_{\text{нов}} = 2139 \cdot 0,4 \cdot 0,96 = 21390,7 = 71,4 \text{ А.}$$

Втрати потужності для нового струму:

$$P_{\text{втр.нов}} = 3 \cdot R \cdot 71,4^2$$

Таким чином, встановлення компенсуючих конденсаторних установок дозволить зменшити втрати потужності в проводах та підвищити енергоефективність електричної системи підприємства. А встановлення додаткової автоматичної системи регулювання дозволить уникнути похибок компенсації енергії.

### 3.2 Аналіз характеру споживання електричної енергії

Аналіз характеру споживання електричної енергії дозволяє зрозуміти, які споживачі використовують більшу кількість енергії. Така інформація дозволяє більш ефективно оцінити енергоефективність роботи обладнання та напрямки з енергозбереження та підвищення енергоефективності. Для цього використовують формулу:

$$W_i = P_{\text{вст.і}} \cdot n \cdot K_{\text{в.і}} \cdot T_{\text{роб.і}}$$

де  $P_{\text{вст.і}}$  - встановлена потужність обладнання, кВт (береться із паспортних даних);

$n$  – кількість, шт;

$K_{\text{в.і}}$  – коефіцієнт використання встановленої потужності;

$T_{\text{роб.і}}$  – тривалість роботи відповідного обладнання за рік.

Для прикладу представимо баланс електричної енергії для РМЦ (рис. 3.1) [6].

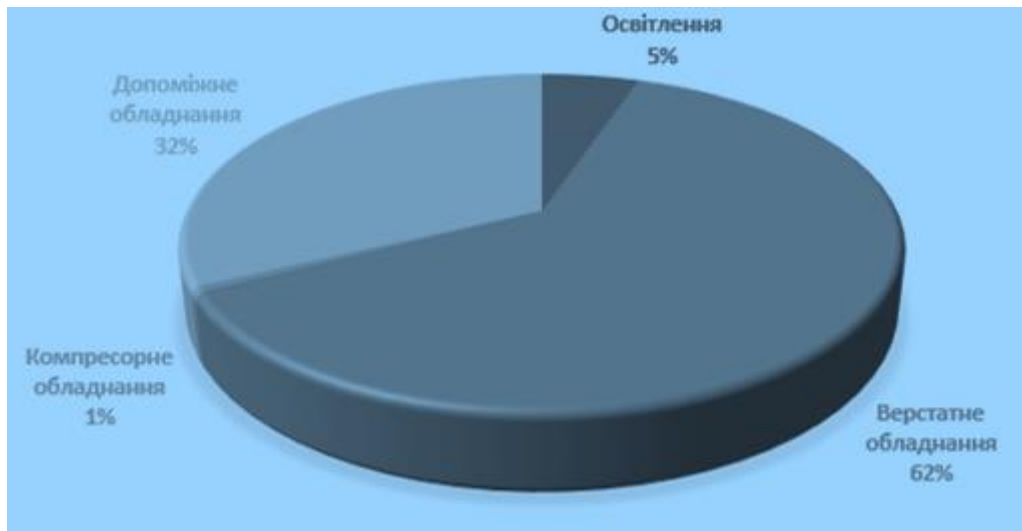


Рисунок 3.1 – Баланс споживання електроенергії приладами механічного цеху

Аналіз енергетичної ефективності системи освітлення.

Для аналізу енергетичної ефективності системи освітлення ремонтно-механічного цеху та розрахунку кількості освітлювальних ламп, що забезпечують необхідний рівень освітлення, використаємо наступні дані:

Габаритні розміри приміщення:

- висота  $H = 12$  м;
- довжина  $L = 47,8$  м;
- ширина  $B = 9,2$  м.

Врахуємо необхідні параметри освітлення:

- мінімальне освітлення  $E_{min} = 200$  лк;
- коефіцієнт відображення від стелі  $\pi = 0,7$ ;
- коефіцієнт відображення від стін  $\sigma = 0,5$ ;
- коефіцієнт відображення від розрахункової поверхні  $\rho = 0,1$ .

Характеристики світильників:

- тип світильників: РСП 08 з лампами ДРЛ-400;
- кількість світильників: 20;
- потужність лампи  $P = 400$  Вт;

- середня тривалість роботи  $T = 10000$  год;
- світловий потік однієї лампи  $\Phi_{\text{л}} = 24000 = 24000$  лм.

Розрахунок кількості ламп. Для розрахунку необхідної кількості ламп для забезпечення мінімального освітлення  $E_{\text{min}}$  використовуємо таку формулу:

$$n = E_{\text{min}} \cdot A \cdot B \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot f_z$$

де:

$n$  – необхідна кількість ламп,

$E_{\text{min}}$  – мінімальне освітлення (лк),

$A$  – довжина приміщення (м),

$B$  – ширина приміщення (м),

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку,

$\Phi_{\text{л}}$  – світловий потік однієї лампи (лм),

$f_z$  – коефіцієнт запасу (зазвичай приймається як 1,5 - 2 для промислових приміщень).

Визначення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$ . Коефіцієнт використання світлового потоку можна визначити за допомогою таблиць або формул, але для спрощення можна прийняти його значення приблизно 0,5 для типових умов. Коефіцієнт запасу приймемо рівним 1,5.

Підставимо значення в формулу [12]:

$$n = 200 \cdot 47,8 \cdot 9,20,5 \cdot 24000 \cdot 1,5$$

Після розрахунку для забезпечення мінімального рівня освітлення 200 лк у приміщенні розміром 47,8 м на 9,2 м при висоті 12 м необхідна кількість ламп становить 5 ламп ДРЛ-400. Оскільки в приміщенні встановлено 20 світильників РСП 08 з лампами ДРЛ-400, наявна система освітлення більш ніж достатня для забезпечення необхідного рівня освітлення.

Проаналізуємо енергетичну ефективність існуючої системи освітлення.

Кількість світильників 20, потужність одного світильника: 400 Вт. Тоді

загальна потужність освітлення:  $20 \times 40020 = 8000 \text{ Вт} = 8 \text{ кВт}$ . При середній тривалості роботи лампи 10000 годин та враховуючи вартість електроенергії, можна розрахувати витрати на освітлення. Таким чином, існуюча система освітлення є енергоефективною та забезпечує необхідний рівень освітлення з достатнім запасом. Розміщення світильників у приміщенні показано на рисунку 3.2. Для розрахунку використаємо точковий метод розрахунку за допомогою кривих сили світла.

$$h_p = H - 1$$

де  $h_p$  – висота підвісу світильника

$$h = 11 - 1 = 10 \text{ м}$$

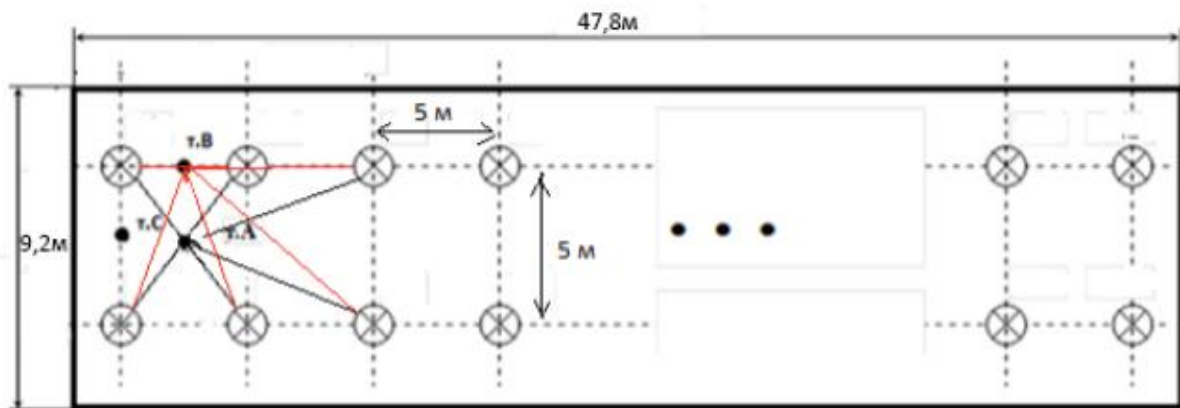


Рисунок 3.2 – Розміщення світильників у приміщенні

Розрахунок освітленості від окремого світильника

$$E = \frac{c \cdot I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^2},$$

де  $I_{\alpha}$  – сила світла по кривій під кутом  $\alpha$  ;

$\alpha$  – кут падіння світла на робочу поверхню ;

$c$  – коефіцієнт, що враховує реальний світловий потік лампи по відношенню до умовного;

$$c = \frac{\Phi_{\text{св}}}{1000}$$

Після проведення розрахунків за відомою методикою [15] заносимо результати розрахунку до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку освітленості у певній точці

Відстань d, м	Число світильників, шт.	1	Li, кд	Ei, лк	Σ Ei, лк
3,54	4	0,3402	180	30,8	123,2
7,9	2	0,6686	210	22,4	44,8
7,9	2	0,6686	210	22,4	44,8
					212,8

Достатньою вважаємо освітленість, яка не відрізняється від номінальної не більше 20% у більшу сторону, та не більше 10% у меншу, маємо:

$$0,9 \cdot E_{\text{min}_{\text{min}}}$$

$$180 < 212,8 < 240$$

Значить, освітленість відповідає нормам.

### 3.3 Аналіз завантаженості ліній енергопостачання

Використовуємо дані лічильників і розраховуємо активну, реактивну, та повну потужність.

$$P_{\text{ВН}} = 10^3 \cdot 71,4 + 10^3 \cdot 68,3 + 10^3 \cdot 74,2 = 2139 \text{ кВт}$$

Враховуючи  $\cos\varphi = 0,96$ , знаходимо

$$\sin\varphi = \sqrt{(1 - 0,98^2)} = 0,1989$$

$$Q_{BH} = 2139 \cdot 0,1989 = 425,45 \text{ квар}$$

$$S_{BH} = \sqrt{2139^2 + 425,45^2} = 2180,9 \text{ кВА}$$

Проведемо перевірку у після аварійному режимі (пошкодження однієї з ліній, що живить об'єкт). Перевірку кабелю від РП до ТП виконаємо за розрахунковим струмом:

$$I = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$$

Отримуємо:

$$I_p = \frac{2180,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 125,9 \text{ А}$$

Кабель який використовується ВБбШв 3х70,  $I = 211 \text{ А}$ ;  $r_0 = 0,28 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,0612 \text{ Ом/км}$  [14]. У РМЦ використовується магістральна електрична схема, тому перевіримо кабель від ТП до цеху за розрахунковим струмом:

$$I_p = \frac{260,58}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 376,11 \text{ А}$$

Кабель який використовується ВВГ 4х240,  $I = 438 \text{ А}$ ;  $r_0 = 0,077 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,0587 \text{ Ом/км}$  [15]

Проведемо перевірку:

$$I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \geq I_p$$

$$438 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 > 376,11$$

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  - поправні коефіцієнти, що залежать від температури землі та повітря  $K_1$ , від кількості кабелів, прокладених в одній траншеї або одному кабельному каналі  $K_2$ , коефіцієнт допустимого перевантаження  $K_3$  [11].

Нехай  $K_1 = 1,0$ , при температурі  $+15 \text{ C}^\circ$ ,  $K_2 = 1$ ,  $K_3 = 1,15$ . Перевіримо



кабель від ТП до механічного цеху ще розрахунковим струмом.

$$I_p = \frac{260,58}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 376,11 \text{ А}$$

Використовується 2 кабелі ВВГ 4х240,  $I = 438 \text{ А}$ ;  $r_0 = 0,077 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,0587 \text{ Ом/км}$ .

Перевіримо:

$$438 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,15 > 376,11$$

Проводимо розрахунок втрат активної потужності в кабельних лініях.

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{S^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R_e \cdot 10^{-3}$$

$$R_e = l \cdot r_0,$$

де  $l$  – довжина лінії,

$R_e$  – еквівалентний опір, Ом.

За формулою розрахуємо кабельну лінію від РП до ТП то лінії що живлять цех:

$$\Delta P_{\text{л1}} = \frac{2180,9^2}{10^2} \cdot 0,1 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 1,33 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{л2}} = \frac{260,58^2}{0,38^2} \cdot 0,04 \cdot 0,077 \cdot 10^{-3} = 1,45 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{л3}} = \frac{260,58^2}{0,38^2} \cdot 0,1 \cdot 0,077 \cdot 10^{-3} = 3,62 \text{ кВт}$$

В основному приміщенні ремонтно-механічного цеху (РМЦ) освітлення забезпечується лампами ДРЛ-400, які підсвічують робочі зони та зону переміщення мостового крана. Лампи ДРЛ-400 мають такі характеристики:

- потужність  $P = 400$  Вт;
- середня тривалість роботи  $T = 10000$  год;
- світловий потік  $\Phi_{л} = 24000$  лм.

Світлодіодні (LED) лампи є більш ефективними завдяки таким перевагам:

- відсутність потреби в пускорегулювальній апаратурі;
- відсутність потреби у світлових фільтрах;
- мала частка енергії витрачається на нагрівання.

Після проведеного моніторингу ринку LED ламп, було обрано лампу A.GLO GL-11-200, яка може використовуватися в тих самих умовах, забезпечуючи такий же рівень освітлення. Основні характеристики LED лампи A.GLO GL-11-200 наведені в таблиці 3.2 [17].

Таблиця 3.2 – Характеристики LED лампи A.GLO GL-11-200

LED лампа A.GLO GL-11-200	
Потужність	200 Вт
Світловий потік	20000 <u>лм</u>
Клас енергоспоживання	A+
Напруга живлення	175-265 В
Термін роботи	30000 год
Рівень захисту	IP 65

Перевіримо відповідність використання цих ламп у ремонтно-механічному цеху за допомогою точкового метода з використанням кривих сил світла.

$$W_{\text{дрл}} = 0,4 \cdot 1,12 \cdot 0,8 \cdot 6108 \cdot 20 = 43782,14 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо річне споживання електричної енергії світлодіодними лампами:

$$W_{\text{сд}} = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{п}} \cdot T_{\text{р}} \cdot N$$

Так як, для світлодіодних ламп не використовується ПРА, то:

$$W_{\text{сд}} = 0,2 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot 6108 = 19545,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо економію електроенергії:

$$\Delta W = W_{\text{дрл}} - W_{\text{сд}} = 43782,14 - 19545,6 = 24236,54 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Виразимо економію в грошому еквіваленті:

$$E = \Delta W \cdot b = 24236,54 \cdot 1,3282 = 32190,97 \text{ грн}$$

де  $b$  ціна за електроенергію Капітальні витрати на закупівлю LED ламп.

$$KB = N \cdot Ц = 20 \cdot 1439 = 28780 \text{ грн}$$

де  $Ц$ -ціна за один світлодіодний світильник,  $Ц=1439$  грн.

Розрахуємо простий термін окупності для світлодіодних ламп:

$$T_{\text{пр.ок}} = \frac{KB}{E} = \frac{28780}{32190,97} = 0,9 \text{ року}$$

Заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні у малих виробничих приміщеннях. Більшу частину ремонтно-механічного цеху (РМЦ) АрселорМіттал Кривий Ріг складають малі виробничі та складські приміщення, які мають значно меншу висоту стелі — 4 м проти 12 м у залі, де працює мостовий кран. В цих приміщеннях використовуються люмінесцентні лампи.

Заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні (LED) лампи є кроком у напрямку підвищення енергоефективності та сталого розвитку. Впровадження світлодіодних ламп має численні переваги:

- економія енергії. Світлодіоди споживають менше енергії, що дозволяє значно знизити витрати на електроенергію;
- довгий термін служби. LED-лампи мають значно довший термін служби, що зменшує необхідність у частій заміні та обслуговуванні;
- якість світла: Світлодіоди забезпечують рівномірне, яскраве та комфортне для роботи освітлення;
- екологічність. Світлодіоди не містять шкідливих речовин, таких як ртуть, що робить їх екологічно безпечними;
- підвищення продуктивності та комфорту. Якісне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці та комфорту співробітників.

Приклад розрахунку економії від заміни люмінесцентних ламп на світлодіодні. Припустимо, що в одному приміщенні використовується 20 люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт кожна:

$$E_{\text{люом}} = 20 \times 36 \text{ Вт} = 720 \text{ Вт.}$$

Споживання енергії LED-лампами. Замінімо люмінесцентні лампи на LED-лампи потужністю 18 Вт кожна:

$$E_{\text{LED}} = 20 \times 18 \text{ Вт} = 360 \text{ Вт.}$$

Економія енергії за годину:

$$E_{\text{ек}} = E_{\text{люом}} - E_{\text{LED}} = 720 - 360 \text{ Вт} = 360 \text{ Вт}$$

Економія енергії за рік (8544 год):

$$E_{\text{ек,рік}} = 360 \times 8544 = 3075.84 \text{ кВт год}$$

Економія, грн = 4083.02 грн

Аналіз ринку та запропонований варіант заміни люмінісцентних ламп на світлодіодні з невеличкою модернізацією самого світильника. Обрана

лампа EVROLIGHT L-1200 на 18 Вт кожна (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – лампа EVROLIGHT L-1200

Технічні характеристики лампи ЛПО 09У-2х36 Ореол-20 наведено у таблиці 3.3, а технічні характеристики лампи EVROLIGHT L-1200 у таблиці 3.4.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики лампи ЛПО 09У-2х36 Ореол-20

Технічні характеристики	ЛПО 09У-2х36 «Ореол-20»
Номінальна потужність, Вт	2х36(72)
Коефіцієнт корисної дії (ККД) світильника, % не менше	50
Габаритні розміри, мм не більше	1250х170х72
Монтажні розміри, мм не більше	600
Маса світильника, кг не більше	3,5
Ціна світильника, грн з ПДВ	275

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики лампи EVROLIGHT L-1200

Технічні характеристики	EVROLIGHT L-1200
Потужність	18 Вт
Колір світіння	Холодне світло (6400К)
Цоколь	G13
Світловий потік	1620 лм
Форма колби	Трубка (лінійна)
Клас енергоспоживання	A+
Напруга живлення	165-265 V
Строк служби	25000 год
Температурний режим	-15 +45 С
Кут розсіювання	160 °
Рівень захисту	IP 20

Річне споживання електричної енергії люмінесцентними лампами [18]:

$$W_{\text{Люм}} = 0,072 \cdot 1,12 \cdot 0,8 \cdot 6108 \cdot 32 = 12609,26 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річне споживання електричної енергії світлодіодними лампами:

$$W_{\text{СД}} = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{п}} \cdot T_{\text{р}} \cdot N$$

Так як, для світлодіодних ламп не використовується ПРА, то:

$$W_{\text{СД}} = 0,036 \cdot 32 \cdot 0,8 \cdot 6108 = 5629,13 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо економію електроенергії:

$$\Delta W = W_{\text{ДРЛ}} - W_{\text{СД}} = 12609,26 - 5629,13 = 6980,13 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Виразимо економію в грошовому еквіваленті:

$$E = \Delta W \cdot b = 6980,13 \cdot 1,3282 = 9271 \text{ грн}$$

де  $b=1,3282$  грн/кВт·год – ціна за електроенергію Капітальні витрати на закупівлю LED ламп:

$$KB = N \cdot Ц = 64 \cdot 94 = 6016 \text{ грн}$$

де Ц-ціна за один світлодіодний світильник, Ц=94 грн. Розрахуємо простий термін окупності для світлодіодних ламп:

$$T_{\text{пр.ок}} = \frac{KB}{E} = \frac{6016}{9271} = 0,65 \text{ року}$$

Для використання лампи знадобиться зняти зі світильників ПРА, так як світлодіоди його не потребують. Отже, заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні в малих виробничих приміщеннях РМЦ дозволить значно зменшити енергоспоживання, скоротити витрати на електроенергію та обслуговування, а також покращити умови праці та екологічну ситуацію. Це сприятиме підвищенню продуктивності праці та забезпеченню сталого розвитку підприємства.

### 3.4 Удосконалення електроприводу

Одним із дієвих способів підвищення енергоефективності верстатів є використання частотно-регулюючих приводів (ЧРП). Дане технічне рішення дозволяє в заданих межах регулювати швидкість та потужність верстатів в залежності від потреб виробництва із заданою точністю. Частотний привід забезпечує можливість плавної регуляції, що призводить до зменшення витрат електроенергії та ефективного використання ресурсів [19].

Переваги використання ЧРП:

- 1) енергозбереження. Регулювання швидкості обертання двигунів верстатів відповідно до навантаження дозволяє знизити споживання електроенергії. Наприклад, якщо верстат не потребує максимальної потужності, частотний привід знижує частоту обертання двигуна, зменшуючи тим самим споживання електроенергії.
- 2) Зниження експлуатаційних витрат. Використання ЧРП зменшує механічні навантаження на верстати, що призводить до зниження зносу обладнання та продовження терміну його служби. Це зменшує витрати на ремонт та заміну деталей.

- 3) Підвищення продуктивності. Завдяки можливості точної регуляції швидкості, верстати можуть працювати з оптимальною ефективністю, що сприяє підвищенню якості та продуктивності виробництва.
- 4) Покращення умов праці. Плавне регулювання швидкості двигунів знижує рівень шуму та вібрацій, що створює більш комфортні умови праці для робітників.
- 5) Екологічні переваги. Зменшення споживання електроенергії призводить до зниження викидів вуглекислого газу, що має позитивний вплив на довкілля.

Приклад впровадження ЧРП на токарно-винторізному верстаті. Токарно-винторізний верстат, який використовується для виготовлення виробів за допомогою токарного та винторізного інструменту, має значний потенціал для оптимізації енергоспоживання через встановлення ЧРП. Припустимо, що токарно-винторізний верстат працює на постійній потужності 15 кВт без ЧРП, і середнє навантаження становить 70 % від повної потужності. Це призводить до споживання 10,5 кВт під час роботи [21].

Встановлення частотно-регулюючих приводів на верстатах у ремонтно-механічному цеху АрселорМіттал Кривий Ріг є ефективним рішенням для підвищення енергоефективності. Це не лише дозволить значно зменшити споживання електроенергії та витрати на експлуатацію обладнання, але й покращить умови праці для працівників та знизить екологічне навантаження на довкілля. Впровадження ЧРП є важливим кроком до сталого розвитку підприємства.

Розглянемо детальніше використання ЧРП на різних верстатах.

Токарно-фрезерний верстат поєднує в собі функції токарного та фрезерного верстата, що робить його універсальним інструментом для багатьох операцій обробки. Завдяки встановленню ЧРП, можна забезпечити точне регулювання швидкості обертання шпинделів токарного та фрезерного інструментів. Це дозволяє знизити витрати енергії при обробці різних матеріалів. Також плавне регулювання швидкості зменшує механічні



навантаження на інструмент та його знос, а точне налаштування швидкості дозволяє досягти високої якості обробки.

Точильно-шліфувальний станок застосовується для точіння та шліфування різних інструментів та деталей. Встановлення ЧРП на такому верстаті дозволяє регулювати швидкість шліфування або точіння залежно від вимог до якості обробки та типу матеріалу. Підтримка необхідної швидкості дозволяє досягнути оптимальний результат при мінімальних витратах електроенергії.

Консольно-фрезерний станок використовується для фрезерування різних деталей і заготовок. Використання ЧРП дозволяє регулювати швидкість обертання фрез та подачі інструменту. Регулювання швидкості допомагає знизити витрати на електроенергію.

Проводячи аналіз верстатного парку РМЦ можна відзначити верстати, на які доцільно встановлювати ЧРП (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Верстати РМЦ, які доцільно обладнати ЧРП

Верстат	Потужність	Мінімальна частота обертання	Максимальна частота обертання	Напруга	Частота мережі	Тип двигуна
1	2	3	4	5	6	7
Токарно-венторічний станок ТВС 1615	1,625 КВт	26	492	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок TUR 50	3 КВт	35	1800	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1000	7,5 КВт	14	2240	330 В	50 Гц	Асинхронний

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4 КВт	11	2240	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4 КВт	11	2240	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок 1Н65	22 КВт	5	500	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок 16К20	11 КВт	12	2000	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок 163	13 КВт	10	1250	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок 163	13 КВт	10	1250	330 В	50 Гц	Асинхронний
Токарно-фрезерний станок 163	13 КВт	10	1250	330 В	50 Гц	Асинхронний
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7 КВт	100	1775	330 В	50 Гц	Асинхронний

## Продовження таблиці 3.4

Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7 КВт	100	1775	330 В	50 Гц	Асинхронний
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7 КВт	100	1775	330 В	50 Гц	Асинхронний
Точильно-шліфувальний станок 3Л631	0,75 КВт	300	2840	330 В	50 Гц	Асинхронний
Консольно-фрезерний станок 6Т82Г	10,87 КВт	31	1600	330 В	50 Гц	Асинхронний

Визначимо річне споживання електроенергії верстатами і результати розрахунків заносимо до таблиці 3.5.

Отже, встановлення частотно-регульованих приводів на верстатах у ремонтно-механічному цеху дозволяє значно підвищити енергоефективність та знизити витрати на електроенергію. Це рішення також сприяє підвищенню продуктивності, якості обробки та зниженню зносу обладнання. Впровадження ЧРП є важливим кроком на шляху до сталого розвитку підприємства.

Використання частотно-регульованих приводів з аналоговими датчиками Холла для підвищення енергоефективності верстатів. Верстати РМЦ підприємства оснащені асинхронними двигунами, що дає можливість використовувати частотно-регульовані приводи (ЧРП) для оптимізації їх роботи та підвищення енергоефективності. Встановлення ЧРП дозволяє зменшувати оберти двигунів до мінімальних значень у холостому режимі, що значно знижує споживання електроенергії.

Таблиця 3.5 – Річне споживання електроенергії верстатами

Верстат	Потужність, КВт	Використання на рік, год	Витрати електроенергії на рік, КВт
1	2	3	4
Токарно-винторізний станок ТВС 1615	1,625	4745	7710,625
Токарно-фрезерний станок TUR 50	12	5475	65700
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1000	9,92	2190	21724,8
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4	4015	49786
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4	4380	54312
Токарно-фрезерний станок 1Н65	22	5840	128480
Токарно-фрезерний станок 16К20	11	4380	48180
Токарно-фрезерний станок 163	13	5110	66430
Токарно-фрезерний станок 163	13	4745	61685
Токарно-фрезерний станок 163	13	3650	47450
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	5110	8687

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	4380	7446
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	1460	2482
Точильно-шліфувальний станок 3Л631	0,75	3650	2737,5
Консольно-фрезерний станок 6Т82Г	10,87	6205	67448,35
Всього			640259,3

Для досягнення цієї мети ми використовуємо ЧРП Altivar Machine ATV320 (рис. 3.4) у поєднанні з аналоговими датчиками Холла А3144 ТО-92UA. Ця комбінація забезпечує точне управління швидкістю обертання двигунів в залежності від положення фартука верстата.

Принцип роботи системи. Аналоговий датчик Холла А3144 ТО-92UA використовується для цифрового визначення положення фартука верстата. Якщо фартук знаходиться у неробочому положенні, оберти двигуна автоматично знижуються до мінімальних значень. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання під час простою обладнання.

Основні компоненти системи частотно-регульований привід Altivar Machine ATV320.

Основні характеристики:

- потужність до 15 кВт (залежно від моделі);
- вхідна напруга 200-240 В або 380-480 В;
- вихідна частота 0,1-599 Гц;
- інтерфейси зв'язку Modbus, CANopen, Ethernet/IP.

Аналоговий датчик Холла А3144 ТО-92UA (рис. 3.5). Основні характеристики:

- тип: Уніполярний датчик Холла;
- напруга живлення: 4,5-24 В;
- вихідний сигнал: цифровий;
- діапазон температури:  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 3.4 – ЧРП Altivar Machine ATV320

Схема підключення обладнання показано на рисунку 3.6.

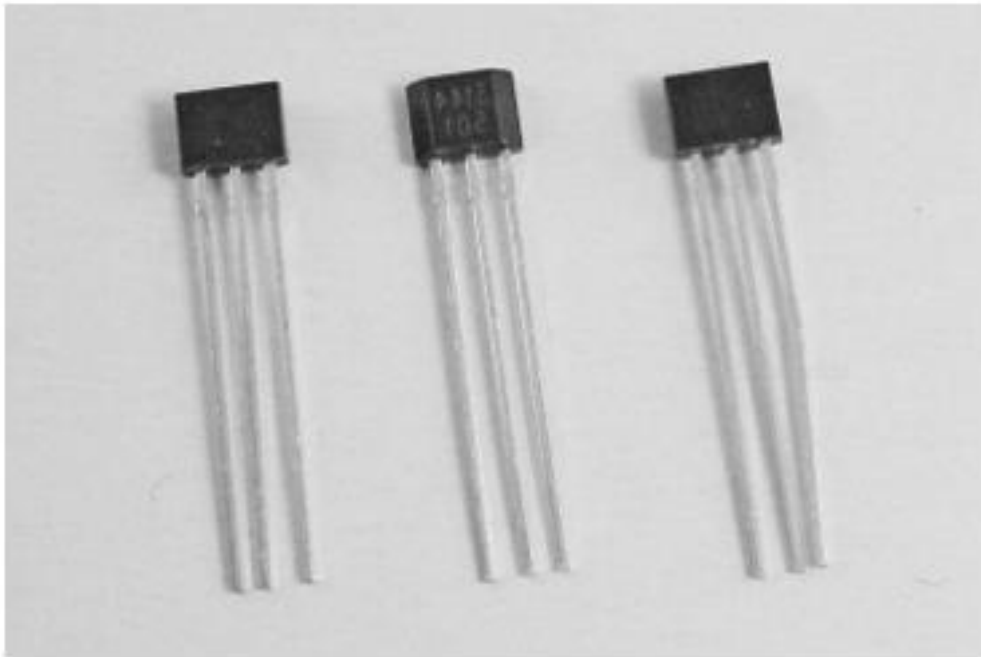


Рисунок 3.5 – Датчик Холла А3144 ТО-92UA

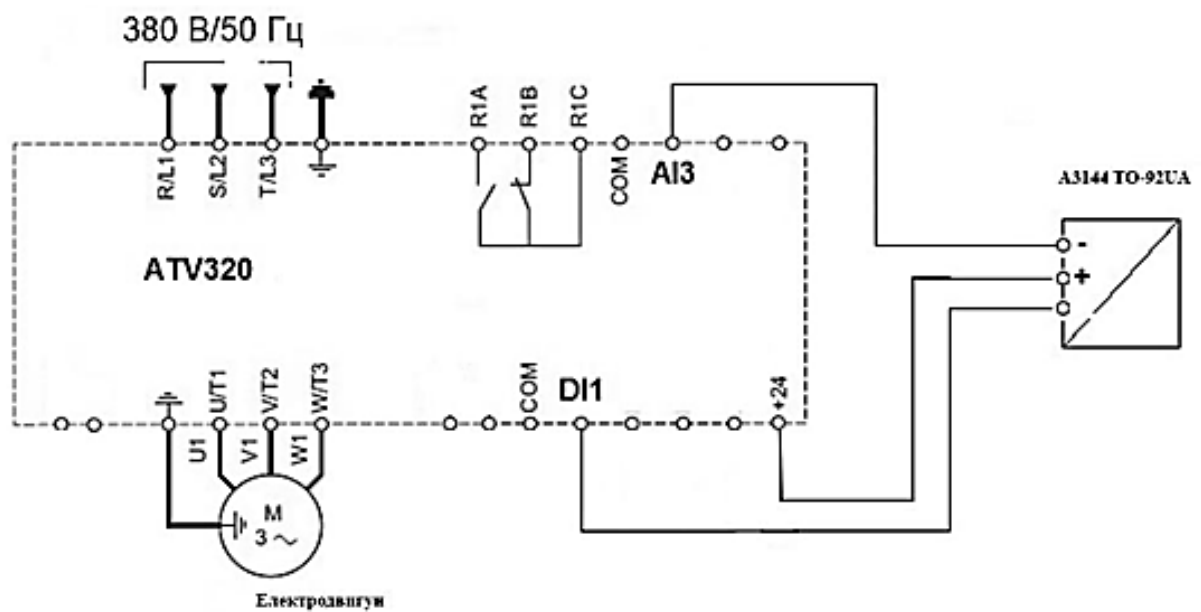


Рисунок 3.6 – Схема підключення обладнання

Особливістю роботи верстатів в ремонтно-механічному цеху є те, що вони працюють у режимі холостого ходу близько 25% від загального часу свого використання. Знижуючи оберти до мінімальних у ці проміжки часу, верстати будуть споживати близько 20% від номінальної потужності, тобто маємо:

$$E = P_n \cdot K_n \cdot K_{xx} \cdot T$$

де  $P_n$  – номінальна потужність верстату;

$K_n$  – коефіцієнт потужності;

$K_{xx}$  - коефіцієнт холостого ходу;

$T$  – час роботи.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Результати розрахунків економії електроенергії за допомогою ЧРП

Верстат	Потужність, КВт	Використання на рік, год	Витрати на рік використовуючі ЧРП під час режиму ХХ
1	2	3	4
Токарно-винторізний станок ТВС 1615	1,6	4745	385,5
Токарно-фрезерний станок TUR 50	12	5475	3285
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1000	9,9	2190	1086,2
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4	4015	2489,3
Токарно-фрезерний станок SUI 40-1500	12,4	4380	2715,6
Токарно-фрезерний станок 1Н65	22	5840	6424



Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4
Токарно-фрезерний станок 16К20	11	4380	2409
Токарно-фрезерний станок 163	13	5110	3321,5
Токарно-фрезерний станок 163	13	4745	3084,3
Токарно-фрезерний станок 163	13	3650	2372,5
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	5110	434,4
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	4380	372,3
Точильно-шліфувальний станок 332-Б	1,7	1460	124,1
Точильно-шліфувальний станок 3Л631	0,75	3650	136,9
Консольно-фрезерний станок 6Т82Г	10,87	6205	3372,4
Всього			32013

Загальна економія енергії складе:

$$\Delta W = 32012,96$$

Розраховуємо економію в грошовому еквіваленті:

$$E = 32012,96 \cdot 1,3282 = 42519,61 \text{ грн}$$

Капітальні витрати складуть:

$$KB = ПЧ_{11} \cdot n + ПЧ_{15} \cdot n + ПЧ_{2,2} \cdot n + Д \cdot n$$

де ПЧ<sub>11</sub> – Перетворювач частоти 11 кВт;

n – кількість приладів;

Д – датчики Хола.

Розраховуємо простий термін окупності:

$$KB = 44702,56 \cdot 5 + 56652,76 \cdot 5 + 15446,73 \cdot 5 + 3,5 \cdot 15 = 522275,83 \text{ грн}$$

Розраховуємо простий термін окупності:

$$T_{\text{пр.ок}} = \frac{522275,83}{42519,61} = 12,28 \text{ років}$$

Удосконалення механічних вузлів верстатів. Заміна підшипників на токарно-фрезерних верстатах є важливою частиною для забезпечення надійної роботи обладнання. Підшипники відіграють критичну роль у забезпеченні плавного руху рухомих частин машини та зниженні рівня тертя. У той же час, з часом підшипники можуть зазнавати зносу або пошкоджень, що негативно впливає на якість обробки та ефективність роботи верстата.

Покращення ефективності роботи верстатів:

- зношені підшипники збільшують тертя, що призводить до підвищення енергоспоживання та зниження ККД верстатів. Погіршення ККД на 5% може суттєво вплинути на загальну продуктивність цеху;
- нові підшипники зменшують тертя, що дозволяє верстатам працювати більш плавно та ефективно;
- пошкоджені підшипники можуть призводити до виникнення непередбачуваних рухів верстата, вібрацій та шуму, що створює

потенційну загрозу для операторів;

- регулярна заміна підшипників запобігає виникненню несправностей, що можуть призвести до травмувань;
- зниження витрат на обслуговування та ремонт. Планове обслуговування та своєчасна заміна підшипників дозволяють уникнути серйозних поломок та дорогих ремонтних робіт. Це допомагає підприємству ефективно управляти витратами та забезпечувати неперервну роботу верстатів.

Для токарно-фрезерних верстатів пропонується замінити підшипники у електродвигунах. На кожен верстат знадобиться по 2 підшипники:

- кількість підшипників на верстат: 2 шт;
- вартість одного підшипника: 925 грн.;
- загальна вартість заміни підшипників на один верстат: 1850 грн.

Приклад верстатів для заміни підшипників.

Токарно-фрезерний верстат 1

Кількість підшипників: 2

Вартість: 1850 грн

Токарно-фрезерний верстат 2

Кількість підшипників: 2

Вартість: 1850 грн

Токарно-фрезерний верстат 3

Кількість підшипників: 2

Вартість: 1850 грн

Висновок

Заміна підшипників на токарно-фрезерних верстатах має велике значення для забезпечення надійності та ефективності обладнання, безпеки працівників та зниження витрат на обслуговування. Планова заміна підшипників дозволяє підвищити ККД верстатів, знизити енергоспоживання та забезпечити безпечні умови праці. Інвестиція у нові підшипники є виправданою, враховуючи покращення роботи обладнання та зменшення ризиків для працівників. Цей

захід сприятиме не лише підвищенню ефективності роботи ремонтно-механічного цеху, але й покращенню загальної економічної ефективності підприємства.

Розрахуємо споживану потужність електродвигунами з електромережі за формулою:

$$P_{\text{ел}} = n \cdot \frac{P_{\text{мех}}}{\eta}$$

де  $P$  – номінальна потужність двигуна, кВт;

$\eta$  – ККД електродвигуна;

$n$  – кількість двигунів.

Отримаємо:

$$P_1 = 1 \cdot \frac{12}{0,84} = 14,28 \text{ кВт}$$

$$P_2 = 1 \cdot \frac{9,92}{0,87} = 11,4 \text{ кВт}$$

$$P_{3,4} = 1 \cdot \frac{12,4}{0,83} = 14,94 \text{ кВт}$$

$$P_5 = 1 \cdot \frac{22}{0,88} = 25 \text{ кВт}$$

$$P_6 = 1 \cdot \frac{11}{0,83} = 13,25 \text{ кВт}$$

$$P_{7,8,9} = 1 \cdot \frac{13}{0,77} = 16,88 \text{ кВт}$$

Розрахуємо споживану потужність після заміни підшипників:

$$P_1' = 1 \cdot \frac{12}{0,89} = 13,48 \text{ кВт}$$

$$P_2' = 1 \cdot \frac{9,92}{0,92} = 10,78 \text{ кВт}$$

$$P_{3,4}' = 1 \cdot \frac{12,4}{0,88} = 14,1 \text{ кВт}$$

$$P_5' = 1 \cdot \frac{22}{0,93} = 23,65 \text{ кВт}$$

$$P_6' = 1 \cdot \frac{11}{0,88} = 12,5 \text{ кВт}$$

$$P_{7,8,9}' = 1 \cdot \frac{13}{0,82} = 15,85 \text{ кВт}$$

Розрахуємо загальні потужності:

$$P = 144,45 \text{ кВт}$$

$$P' = 136,16 \text{ кВт}$$

Визначаємо економію споживаної потужності від запропонованого заходу за формулою:

$$\Delta P = P - P'$$

$$\Delta P = 144,45 - 136,16 = 8,29 \text{ кВт}$$

Розрахуємо річну економію спожитої потужності:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T$$

де  $\Delta P$  – економія спожитої потужності, кВт,

$T_p$  – середнє число годин роботи електродвигунів в рік.

$$\Delta W = 8,29 \cdot 4420 = 36641,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Розрахуємо у грошовому еквіваленті:

$$E = 36641,8 \cdot 1,3282 = 48667,64 \text{ грн}$$

Капітальні витрати:

$$KB = 925 \cdot 2 \cdot 9 = 16650 \text{ грн}$$

Простий термін окупності:

$$T_{\text{пр.ок}} = \frac{16650}{48667,64} = 0,34 \text{ року}$$

Провівши аналіз та розрахунки системи електропостачання ремонтно-механічного цеху, зроблено висновок, що існуюча система повністю відповідає поставленим задачам. Кабельні лінії мають значний запас потужності, але трансформаторна підстанція має додатковий запас лише близько 20 %. Склавши енергетичний баланс цеху, проведено аналіз споживачів електричної енергії та виділено найбільш потужні групи споживачів. Було запропоновано два методи модернізації для найбільшої групи споживачів, тобто верстатів, з метою зменшення енергоспоживання.

Також модернізовано систему освітлення головного залу та технічних і виробничих приміщень. Лампи ДРЛ та люмінесцентні лампи запропоновано замінити на сучасні світлодіодні, які відповідають потребам і нормам.

ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2020) є національним стандартом, що базується на міжнародному стандарті ISO 50001:2018 "Системи менеджменту енергії. Вимоги з застосування". Цей стандарт встановлює вимоги до системи менеджменту енергії (СМЕ) та надає організаціям інструменти для ефективного

використання та поліпшення енергоефективності. Основна мета ДСТУ ISO 50001:2020 полягає в тому, щоб допомогти організаціям встановити, впровадити, підтримувати та поліпшувати СМЕ. Це допомагає організаціям ефективно керувати енергетичними ресурсами, знижувати витрати на енергію, зменшувати вплив на довкілля та підвищувати конкурентоспроможність .

Впровадження стандарту ISO 50001:2020 в організацію може бути виконано в кілька етапів. Нижче наведено загальну послідовність кроків, які можна виконати для успішного впровадження стандарту:

- 1) Створення команди, яка буде відповідальна за впровадження стандарту ISO 50001:2020. Ця команда повинна включати представників різних відділів організації і мати відповідні ресурси для виконання завдань.
- 2) Оцінка поточного стану включає огляд поточного стану управління енергією в організації. Це включає виявлення основних енергопотреб та витрат, ідентифікацію слабких місць і можливостей для поліпшення.
- 3) Розробка енергетичної політики визначає та задокументовує енергетичну політику організації, яка відображає зобов'язання щодо поліпшення енергоефективності та відповідність законодавчим вимогам.
- 4) Визначення енергетичних цілей і завдань встановлює конкретні, вимірювані та досяжні цілі і завдання для покращення енергетичних показників.
- 5) Розробка плану дій, який створює детальний план дій для досягнення встановлених цілей і завдань. План повинен включати конкретні заходи, відповідальних осіб, ресурси та терміни.
- 6) Впровадження заходів має на меті запланувати заходи для поліпшення енергоефективності. Це може включати технічні заходи, зміни в процесах, навчання персоналу та підвищення обізнаності про енергетичну ефективність.

- 7) Моніторинг та вимірювання має на меті запровадження системи моніторингу та вимірювання енергетичних показників для оцінки ефективності впроваджених заходів і досягнення цілей.
- 8) Аналіз та коригування для регулярного аналізу результатів моніторингу, виявляйте відхилення та вживайте коригувальних заходів для забезпечення постійного поліпшення системи менеджменту енергії.
- 9) Аудит та перегляд. Проводяться внутрішні аудити для оцінки відповідності системи менеджменту енергії вимогам стандарту ISO 50001:2020 та оцінюйте результати на рівні керівництва для забезпечення її ефективності та актуальності.
- 10) Сертифікація. Після впровадження всіх необхідних заходів та досягнення встановлених цілей, можна залучати акредитований орган для проведення сертифікаційного аудиту і отримання сертифіката відповідності ISO 50001:2020.

Тобто впровадження стандарту ISO 50001:2020 допомагає організаціям ефективніше управляти енергетичними ресурсами, знижувати витрати на енергію, зменшувати негативний вплив на довкілля та підвищувати конкурентоспроможність.



## ВИСНОВКИ

Під час виконання представленої роботи за основу дослідження був взятий ремонтно-механічний цех ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Дане підприємство займає провідні позиції серед найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України і є частиною міжнародної корпорації АрселорМіттал, яка є світовим лідером з виробництва сталі та одним з найбільших іноземних інвесторів в нашій країні. Підприємство спеціалізується на виробництві довгомірного прокату, зокрема арматури і катанки із звичайних і низьколегованих марок сталі, виробляє агломерат, концентрат, кокс, чавун, сталь, сортовий і фасонний прокат. Діяльність підприємства охоплює повний виробничий цикл від видобутку залізної руди до виготовлення готової металопродукції. Не дивлячись на впровадження підприємством багатьох інновацій згідно проведеного аналізу РМЦ є достатньо старим та не відповідає сучасним нормам та вимогам.

У роботі запропоновано заходи по зниженню рівня споживання електричної енергії. РМЦ використовує багато верстатів, тому основну увагу було зосереджено на заощадженні електричної енергії.

У роботі запропоновано дообладнати верстати частотно-регульованим електроприводом, провести модернізацію системи освітлення, застосувати активні пристрої компенсації реактивної потужності. При проведенні відповідних розрахунків враховувались вимоги нормативних документів в енергетиці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IEEE Std 519-1992 // IEEE Recommend practices and Requirements for harmonic control in electrical power system.
2. Системи електропостачання: довідкові дані (таблиці) до викон. практик. занять, контр. і самоств. робіт, курсового проекту з дисципліни для студ. напрямів підготов. 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» та 6.05060 «Теплоенергетика» за спеціальністю «Енергетичний менеджмент» / Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут» ; уклад. : В.А. Попов, В.В. Ткаченко, О.С. Ярмолюк. – К. : Вид-во НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.
3. Кабель силовий з ПВХ ізоляцією для напруги до 6 кВ: [посилання]: <http://surl.li/bbzagz>
4. Кабель ВВГ 4х240: [посилання]: <http://surl.li/rhwlql>
5. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. 2022 – 63 с.
6. Волошко А.В. Устранение влияния нестабильности частоты сети на на точность определения показателей качества электрической энергии / А.В. Волошко, О.В. Коцарь // Техническая электродинамика. - 1994. - № 4. - С. 73 - 77. 19.
7. Шершень О. І. Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення / О. І. Шершень, А.В. Волошко // «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2018
8. Правила улаштування електроустановок: вид.3-є, перероб. І доп. Офіц. Вид. Київ : Міненерговугілля України, 2018. 736 с.
9. Попович, Н. Г. Электромеханические системы автоматизации и задача энергосбережения [Текст] / Н. Г. Попович, Н. В. Печник // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць: Тематичний випуск 113. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 297–300.
10. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та

напруженості трудового процесу: наказ від 08.04.2014.м. N 248. Вид. офіц. Київ: Держнагляддохоронпраці, 2014. 85 с

11. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Вид. офіц. Київ: Держнагляддохоронпраці, 1999. 35 с

12. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2011. 6с

13. Потапенко, Е. М. Определение скорости и постоянной времени ротора асинхронного двигателя с помощью адаптивного наблюдателя [Текст] / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко, А. В. Соломаха // Матеріали 12-ої міжнародної конференції з автоматичного управління —Автоматика—2005, 30 травня – 3 червня 2005 р. – Харків: НТУ —ХПШ, 2005. – Т. 2. – С. 123,124.

14. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.

15. НАПБ А.01001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 45 с.

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

17. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: наказ від 26.01.2005. Вид. офіц. Київ: Держнагляддохоронпраці, 2005. 15с

18. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Вид. офіц. Київ: Держнагляддохоронпраці, 1999. 15 с.

19. ДСТУ ISO 13688:2001. Одяг захисний. Загальні вимоги. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2002. 6 с

20. Бондаренко, В. І. Основи електричного привода [Текст] / В. І. Бондаренко. Навчальний посібник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 314 с.

21. Blaschke, F. Das Prinzip der Feldorientierung die Grundlage fur die TRANSVECTOR – Regelung von Asynchronmaschinen [Текст] / F. Blaschke // SiemensZeitschrift.–1971.– 45.– P.757.



