

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз можливості зниження витрат електричної енергії мартенівським цехом ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Новокшонов О. М.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Єрофєєва А.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) 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

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

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

Новокшонову Олексію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Аналіз можливості зниження витрат електричної енергії мартенівським цехом ПАТ «Запоріжсталь»  
керівник роботи Єрофеева А.А., д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затвержені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Потужність основного обладнання та режими роботи; середній тариф за 1 кВт·год. електроенергії –2,85 грн/кВт·год.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз можливостей підвищення енергоефективності мартенівського цеху комбінату ПАТ «Запоріжсталь» 2) Аналіз споживання енергоресурсів обладнанням цеху 3) Пропозиції щодо зниження втрат електроенергії у мартенівському цеху 4) Оцінка ефективності заходів з підвищення енергоефективності мартенівського цеху
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) аналіз електроспоживання мартенівського цеху 2) карта енергопотоків 3) схема однолінійна 4) план цеху 5) потужність основного обладнання з урахуванням коефіцієнту одночасності роботи механізмів цеху 6) втрати потужностей

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістерський) 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

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

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

Новокшонову Олексію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Аналіз можливості зниження витрат електричної енергії мартенівським цехом ПАТ «Запоріжсталь»  
керівник роботи Єрофєєва А.А., д.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затвержені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Потужність основного обладнання та режими роботи; середній тариф за 1 кВт·год. електроенергії – 2,85 грн/кВт·год.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз можливостей підвищення енергоефективності мартенівського цеху комбінату ПАТ «Запоріжсталь» 2) Аналіз споживання енергоресурсів обладнанням цеху 3) Пропозиції щодо зниження втрат електроенергії у мартенівському цеху 4) Оцінка ефективності заходів з підвищення енергоефективності мартенівського цеху
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) аналіз електроспоживання мартенівського цеху 2) карта енергопотоків 3) схема однолінійна 4) план цеху 5) потужність основного обладнання з урахуванням коефіцієнту одночасності роботи механізмів цеху 6) втрати потужностей

## АНОТАЦІЯ

Новокшонов О. М. Аналіз можливості зниження витрат електричної енергії мартенівським цехом ПАТ «Запоріжсталь».

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник А.А. Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

Порівняльний аналіз показав, що ковальський цех споживає найбільше електроенергії. Виявлено, що споживачі КТП-230, 231-232, 213 і ТП-62 втратили потужність. Дослідження щодо споживання активної потужності електродвигунів проводяться. Запропоновано встановити резонансний фільтр ФСГ-3 для зниження 5-ї та 7-ї гармонік. Термін окупності фільтра становить два з половиною роки. Досліджено графіки навантаження та втрат для насосів оборотного циклу та РКМ-1000. Схема автоматики роботи насосної РКМ-1000 та насосної оборотного циклу дозволить економити 11,8% електроенергії щорічно.

Ключові слова: СИСТЕМА ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВЕНТИЛЯТОРНІ УСТАНОВКИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

## ABSTRACT

Novokshonov O. M. Analysis of the possibility of reducing the consumption of electric energy by the open-hearth shop of PJSC "Zaporizhstal".

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor A.A. Erofeeva. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and

Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

Comparative analysis showed that the blacksmith shop consumes the most electricity. It was found that consumers of KTP-230, 231-232, 213 and TP-62 lost power. Studies on the active power consumption of electric motors are being carried out. It is proposed to install a resonant filter FSG-3 to reduce the 5th and 7th harmonics. The payback period of the filter is two and a half years. Load and loss graphs for reversible cycle pumps and RKM-1000 are studied. The automation scheme of the RKM-1000 pumping station and the reversible cycle pumping station will save 11.8% of electricity annually.

Keywords: INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEM, ELECTRICITY CONSUMPTION, FAN UNITS, MATHEMATICAL MODEL, ENERGY EFFICIENCY

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз можливостей підвищення енергоефективності мартенівського цеху комбінату ПАТ «Запоріжсталь» .....	8
1.1 Опис об'єкта дослідження .....	8
1.2 Технологія виробництва цеху.....	13
1.3 Аналіз енергоспоживання мартенівського цеху.....	17
1.4 Можливі заходи підвищення ефективності електроспоживання цеху .....	22
1.5 Обґрунтування доцільності застосування компенсації реактивної потужності.....	37
1.6 Заміна двигунів димососів мартенівських печей на енергоефективні.....	40
1.7 Заходи з підвищення ефективності електроспоживання, що передбачаються.....	43
2 Розрахунки заходів з підвищення енергоефективності мартенівського цеху ПАТ «Запоріжсталь» .....	43
2.1 Розрахунки заходів щодо зниження витрати електричної енергії.....	43
2.1.1 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок модернізації системи подачі води високого тиску .....	43
2.1.2 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації.....	47
2.1.3 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок заміни електродвигуна димососу.....	49
3. Пропозиції щодо зниження втрат електроенергії в мартенівському цеху.....	56
3.1 Дослідження споживання активної потужності .....	56
3.2 Автоматизація РКМ-1000 .....	63

3.3 Заходи щодо зниження споживання активної потужності електродвигунами головного приводу РКМ-1000 RV-602/8-6b потужністю 630кВт.....	72
3.4 Техніко-економічне обґрунтування заходів зі зменшення втрат електричної енергії .....	75
4 Оцінка ефективності заходів підвищення енергоефективності мартенівського цеху.....	81
4.1 Модернізації системи подачі води високого тиску .....	81
4.2 Заміна димососів мартенівських печей .....	89
4.3 Застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації.....	92
4.4 Загальний комплексний проект .....	95
Висновки .....	99
Перелік посилань .....	101

## ВСТУП

Однією з визначальних умов зниження витрат на промислових підприємствах і підвищення економічної ефективності виробництва в цілому є раціональне використання енергетичних ресурсів. Разом з тим, енергозберігаючий шлях розвитку вітчизняної економіки можливий тільки при формуванні та подальшій реалізації програм енергозбереження на окремих підприємствах, для чого необхідне створення відповідної методологічної та методичної бази. Відкладання реалізації енергозберігаючих заходів завдає значних економічних збитків підприємствам і негативно відбивається на загальній екологічній та соціально-економічній ситуації.

Ефективність використання енергоресурсів є одним з найважливіших показників ефективності підприємства в цілому, а для металургійних підприємств, з характерною для них великою енергоємністю, - ще й однією з підстав для виживання.

У прокатних цехах металургійних підприємств повного циклу споживання первинних енергоресурсів може досягати 20% від загальних їх витрат по підприємству, електроенергії - дещо менше (приклад розподілу електроенергії по виробництвам для заводу з повним циклом сортового напрямки: доменне - 4%; коксохімічне - 9%; прокатне - 16%; сталеплавильне - 5%; енергетика - 47%; механіка та інш. - 6%).

Кінцевим підсумком діяльності в галузі енергозбереження є зменшення енерговитрат, тобто витрат на придбання енергоресурсів, а при змінюються обсягах виробництва - зменшення частки енерговитрат у сумарних витратах на виробництво продукції. Цей результат може бути досягнутий різними методами, і існують відомі класифікації методів енергозбереження по їх витратності, технічній оснащеності та складності, термінів окупності, наукоємності та інші.



ПАТ «Запоріжсталь» за обсягом виробництва входить в четвірку найбільших підприємств України. Комбінат є виробником високоякісної металопродукції - чавуну, сталі, листового прокату з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей, гнутого профілю, жерсті, будівельних матеріалів і товарів народного споживання. Комбінат є одним з основних постачальників листового прокату і гнутих профілів для українського машинобудування, жерсті для харчової промисловості.

ПАТ "Запоріжсталь" щомісячно демонструє стабільну динаміку скорочення споживання природного газу та покупних енергоресурсів, слідуючи технологічної стратегії групи "Метінвест", яка передбачає модернізацію виробництва та реалізацію енергозберігаючих заходів.

# 1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАРТЕНІВСЬКОГО ЦЕХУ КОМБІНАТУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

## 1.1 Опис об'єкта дослідження

Відкрите акціонерне товариство металургійний комбінат «Запоріжсталь» - це одне з найбільших металургійних підприємств України і по праву вважається «перлиною чорної металургії».

ПАТ «Запоріжсталь» є заводом з повним металургійним циклом і створений на базі електроенергії Дніпровський гідроелектростанції імені Леніна, Донецького вугілля та Криворізької залізної руди.

Будівництво комбінату було розпочато в 1930 році і мало на меті - забезпечити потреби бурхливо розвивається промисловості листовим металом.

16 листопада 1933 був виданий перший чавун, в 1935 році вступила в дію перша мартенівська піч, в 1937 році почав діяти перший радянський обжимний стан «слябінг». У наступні роки були побудовані і введені в експлуатацію цеху, з виробництва гарячекатаного і холоднокатаного листового прокату, але день 16 листопада, коли було виплавлено перший чавун, увійшов в історію, як день заснування комбінату.

В даний час ПАТ «Запоріжсталь» має 7 основних цехів: агломераційний, доменний, мартенівський, обжимний, цех гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) і холодного прокату (ЦХП - 1 і ЦХП - 3).

Крім основних цехів ПАТ «Запоріжсталь» має комплекс ремонтних цехів на чолі зі службою головного механіка, комплекс енергетичних цехів на чолі з керуванням головного енергетика, центральну заводську лабораторію, інженерний корпус, цех підготовки виробництва (ЦПП), управління капітального будівництва, цех випуску товарів народного споживання, цеху автомобільного та залізничного транспорту (вантажних і пасажирських перевезень), цеху металоконструкцій.

Агломераційний цех є початком металургійного виробництва комбінату, що випускається офлюсований агломерат для доменного виробництва. Виробнича потужність цеху становить 4 млн. 200 тис. т. агломерату на рік, цех має комплекс машин і агрегатів по підготовки шихти, спіканню її, сортуванні агломерату та відправці в доменний цех. У своєму складі цех має шість агломераційних машин, площею спікання 62,5 м<sup>2</sup> кожна.

Основним продуктом доменного цеху є випуск переробного та ливарного чавуну. Виробнича потужність цеху становить 2 млн. 300 тис. т. чавуну на рік.

Виплавка чавуну здійснюється в п'яти доменних печах корисним об'ємом 1513, 1525 м<sup>3</sup>, за винятком першої доменної печі, що має корисний об'ємом 960 м<sup>3</sup>.

На доменних печах виплавляється переробний чавун марок П1 і П2, ливарний чавун марок Л1 - Л5 і ливарний чавун рафінований магнієм марок ЛП +1 ... ЛП +6. Переробний чавун є сировиною для виплавки сталі в мартенівському цеху. Однак деяка частина передільного чавуну розливається на розливних машинах (їх чотири) і у вигляді чушок, масою 15,18,45 кг відправляється до споживачів. Ливарний чавун відправляється в ливарний цех, для відливання виливниць, піддонів та ін.

Відмінною особливістю запорізького чавуну є низький вміст сірки і фосфору, завдяки чому він користується попитом на світовому ринку.

Мартенівський цех комбінату в своєму складі має 9 мартенівських печей ємністю 280 ... 500 т із загальною продуктивною потужністю 3 млн. 300 тис. тон на рік. Сталь виробляється скрапрудним процесом.

Мартенівські печі працюють на природному газі, для інтенсифікації виплавки сталі на всіх печах використовується кисень, сталь продувається аргоном. Сталь виплавляється маловуглецева, конструкційна і легована, розливається в злитки масою до 20 т.

Прокатне виробництво на комбінаті представлено обтискним цехом, цехом гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) і цехами холодного прокату ЦХП-1 та ЦХП-3.

Прокатне виробництво має тринадцять прокатних станів, смуги обробних агрегатів для поздовжньої і поперечної різання металу, три профілезгинальних агрегату.

Виробнича потужність прокатного виробництва комбінату становить 3 млн. Прокату в рік і 600 тис.т. холоднокатаних профілів.

У обтискному цеху є стан «Слябінг1150» який прокатує злитки масою 20 тонн з вуглецевої сталі, легованої і нержавіючої сталі на сляби товщиною 100-200 мм., шириною 1000,1500 мм. і довжиною 1800...4700 мм.

Відмінною особливістю прокатки на обтискному стані є те, що злитки після їх прокатки ріжуть на мірні довжини та після різання цього «транзитом» направляють в цех гарячої прокатки тонкого листа.

Таким чином ведуть прокатку слябів в межах 80% від загальної кількості продуктивності стану. А 10-20% сляби надходять на склад або обробку. 10% нержавіюча сталь з заводу «Дніпроспецсталь» і частина слябів які мають температуру нижче допустимої при прокатці відправляють в методичні печі ЦГПТЛ, необхідної для прокатки.

Цех гарячої прокатки тонкого листа має індивідуальний стан гарячої прокатки тонкого листа «1680» і комплекс машин і агрегатів, зв'язаних між собою. Річна виробнича потужність цеху становить 3 млн.т. Готовою продукцією цеху є гарячекатаний лист довгою до 5850 мм., товщина від 2 до 7 мм.

У травні 1929 року уряд країни приймає рішення про будівництво в Запоріжжі великого промислового комплексу чорної і кольорової металургії. Головним стає споруда Дніпровського промислового комбінату, куди спочатку входив завод листових сталей - сучасний ПАТ «Запоріжсталь».

Будівництво «Запоріжсталі» стартує в січні 1931 року. Проект нового цеху розроблений всесоюзним інститутом «Гіпромез».

У жовтні 1932 року на проммайданчик майбутнього МК «Запоріжсталі» подає електроенергію тільки що побудована ДніпроГЕС, найбільша на той момент гідроелектростанція країни.

16 листопада 1933 - день народження ПАТ «Запоріжсталь». На підприємстві задута перша домна - вона є на той час наймогутнішою в Україні, її обсяг - 960 кубометрів.

Новий завод стає найбільшим у Європі металургійним підприємством, з проектною потужністю в 1,2 млн т чавуну і 1,4 млн т сталі.

У 1934 році на ПАТ «Запоріжсталь» входить в роботу ДП № 2, а в 1938 році - ДП № 3, в той час найбільша в світі, її об'єм 1300 кубометрів.

У 1935 року на ПАТ «Запоріжсталь» вступає в дію перша мартенівська піч. Слідом за нею в експлуатацію вводяться ще відразу дві мартенівських печі - також вперше у світовій металургії.

У 1937 році на підприємстві входить в експлуатацію перший вітчизняний слябінг. Він стає першим не тільки в країні, але і в Європі, і всього третім за рахунком у світі.

У 1938 році на ПАТ «Запоріжсталь» входить в роботу перший у Європі безперервний стан гарячої прокатки тонколистової сталі. За своєю потужністю та пропускної здатності новий цех не має аналогів у Європі.

У 1939 року входить в роботу цех холодної прокатки № 1.

До 1940 року ПАТ «Запоріжсталь» випускає 70 відсотків сталевого листа у країні. З цього моменту сільськогосподарське машинобудування і автомобілебудування країни отримало тонкий листовий прокат вітчизняного виробництва.

Виробничі потужності «Запоріжсталь» складають:

- агломераційний цех (6 агломашин),
- доменний цех (4 доменні печі),
- мартенівський цех (7 мартенівських печей і 1 двохванний сталеплавильний агрегат),
- цех підготовки складів,
- ливарний цех,
- обжимний цех,
- цех гарячої прокатки тонкого листа,

- цех холодної прокатки № 1,
- цех холодної прокатки № 3.

У агломераційному цеху комбінату виробляється основний залізорудний агломерат. Практично всі процеси виробництва агломерату автоматизовані.

Доменне виробництво щорічно виплавляє близько 3,5 млн. т чавуну / рік. Відмінною особливістю чавуну виробництва ПАТ «Запоріжсталь» є низький вміст у ньому сірки і фосфору.

Виробництво мартенівського цеху становить близько 4,0 млн. т сталі / рік. Мартенівські печі використовують природний газ. Сталь продувається киснем і аргоном. Виплавляється сталь розливається в злитки масою до 18,6 т, які використовуються для виробництва листового прокату.

Ливарне виробництво є базою для одержання литих заготовок запчастин і змінного металургійного устаткування для цехів комбінату і сторонніх споживачів, до складу якого входить спеціалізоване відділення з виробництва виливниць. Проектна потужність відділення виливниць - 360 тис. т / рік.

Цех гарячої прокатки тонкого листа виробляє гарячекатаний прокат в листах і рулонах товщиною від 2,0 до 8,0 мм. Цех гарячої прокатки тонкого листа оснащений агрегатами для забезпечення постачання прокату в листах і рулонах. Безперервний тонколистовий стан " 1680 " максимальної виробничою потужністю 3,7 млн т. на рік призначений для виробництва гарячекатаних смуг товщиною 2,0-8,0 мм, шириною 860-1500 мм, масою рулону до 16 т. На трьох профілегибочні агрегатах виробляється більше 500 типорозмірів холодногнутих профілів з вуглецевих і низьколегованих марок сталі товщиною від 1,0 до 8,0 мм і з шириною розгортки профілю до 1440 мм.

Цех холодної прокатки № 1 виробляє холоднокатаний плоский прокат товщиною від 0,5 до 2,0 мм, шириною від 850 до 1500 мм в листах завдовжки до 4000 мм і в рулонах масою до 16 т, а також холоднокатану стрічку товщиною від 0,2 до 2,0 мм.

У ЦХП № 1 на безперервному стані «1680», двох реверсивних станах «1680» і «1200» і двох безперервних вузькосмугових станах, стані «1700» і двох

безперервних вузькосмугових станах «450» і «650» виробляється холоднокатаний прокат з вуглецевої і низьколегованої сталі. Цех оснащений засобами для дресирування, поперечного різання і подовжнього розпуску, що забезпечують поставку холоднокатаного прокату товщиною від 0,2 до 2,0 мм, шириною від 10 до 1500 мм і довжиною листа до 3950 мм, а також рулонів масою до 15 т.

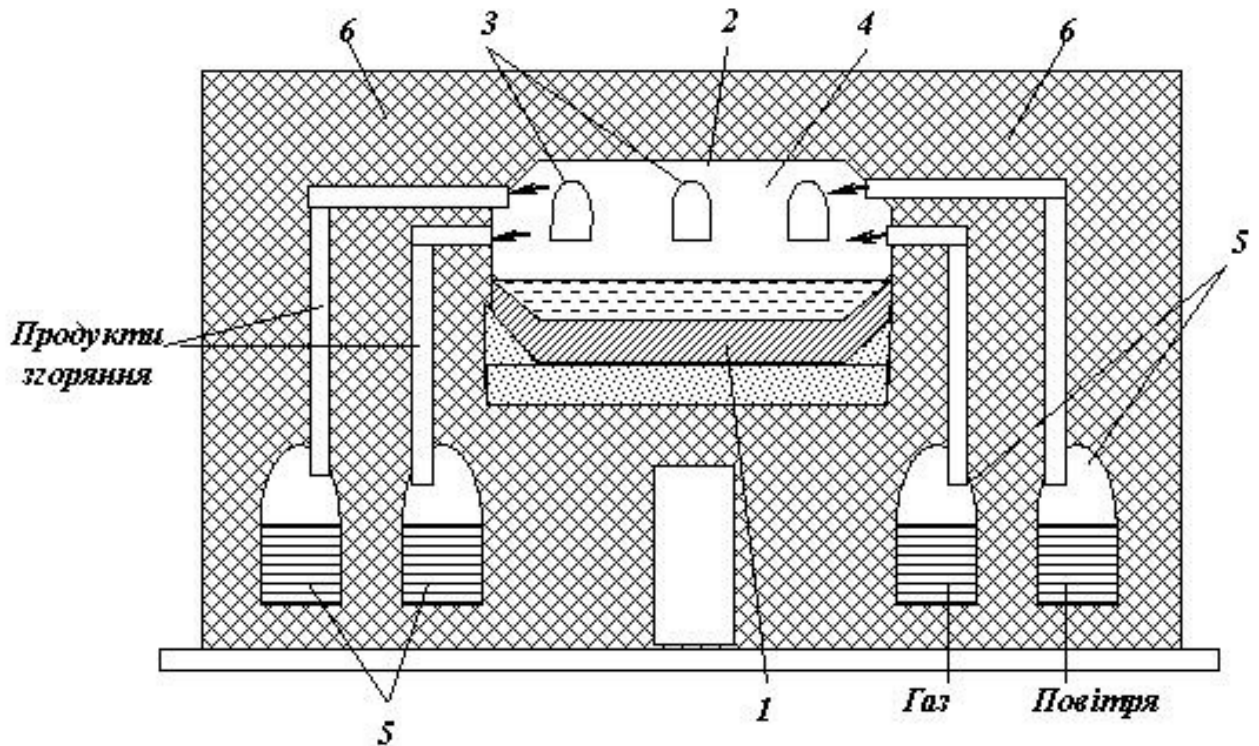
## 1.2 Технологія виробництва цеху

Технологічний процес (ТП) - сукупність всіх дій робочої сили та знарядь праці, в результаті чого змінюються форма, властивості або стан предмета праці.

Мартенівський спосіб з'явився в результаті необхідності переробки великої кількості металобрухту, масова переробка якого в конверторах неможлива (через недостатність тепла в ньому). Ця проблема була вирішена шляхом створення полуменевої (мартенівської) печі. В середині 20 століття понад 80 % всієї виплавленої сталі одержували мартенівським способом. В подальшому, з розвитком киснево-конвертерного процесу, роль мартенівського виробництва у виробництві сталі значно впала. Розповсюдженість способу пояснювалася його універсальністю:

- плавку можна вести як на твердій, так і на рідкій шихті з будь-якими співвідношеннями металобрухту і чавуну;
- спосіб характеризується невисокими вимогами до якості сировини;
- процес плавки добре регулюється;
- вихід готової сталі високий;
- процес дозволяє виготовити сталь майже всього сортаменту.

Мартенівська піч (рисунок 1.1 ) являє собою споруду з вогнетривкої цегли, яка стягнута рядом металічних балок, що утворюють зовнішній каркас.



1 – под, 2 – склепіння, 3 – завантажувальні вікна, 4- робочий простір, 5 – регенератори, 6 – головки

Рисунок 1.1 – Схема мартенівської печі

Робочий простір печі обмежений зверху склепінням, знизу – подом, спереду і ззаду – стінками, з боків – головками. Головки служать для подачі палива і повітря в робочий простір печі, а також для відводу продуктів згоряння з печі. Піч має вигляд овалованої чаші, в ньому відбувається процес плавки. Передня стінка має ряд завалочних вікон для завантаження шихтових матеріалів, а задня стінка – льотку для випуску металу.

Основні матеріали шихти для мартенівської плавки такі: чавун, скрап, металобрухт, розкиснювачі, легуючі добавки, залізна руда, вапняк і ін.

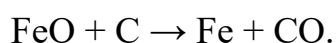
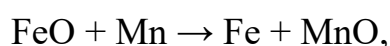
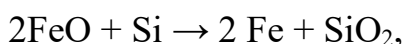
Підготовка шихти включає операції дроблення і різання негабаритного металобрухту і пакування дрібного; дроблення вапняку до 50-150 мм; сортування чушкового чавуну за марками, класами і категоріями. Крім чавуну в шихті використовують обрізки металу, брак лиття, металобрухт. Підготовлену шихту з доданням розкиснювачів і легуючих добавок завантажують в піч. Після прогріву шихти (твердої її частини) в піч заливають чавун і починається процес



плавки. Однією з основних характеристик мартенівської печі є садка – маса металевої частини шихти, що завантажується в піч.

В основі процесу мартенівської плавки лежать окисні процеси, в результаті яких з металічної шихти одержують рідку сталь заданого складу. На відміну від конверторів у мартенівських печах плавка йде за рахунок тепла полум'я, що утворюється при горінні в робочому просторі печі суміші доменного і коксового газів. Для утворення в печі високих температур (1800 – 1850 °С) і економії палива газ і повітря перед подачею в піч підігрівають теплом продуктів горіння в регенераторах до температури 1200 – 1300 °С. При попаданні в робочий простір печі газ стикається з повітрям і загоряється. Під дією цього тепла шихта нагрівається і плавиться. Водночас з розплавленням металу відбувається окиснення його основних компонентів. Основним окиснювачем є кисень повітря, який засмоктується в робочий простір печі з атмосфери.

Залізошихта при окисненні переходить в оксид заліза (FeO), а домішки в відповідні оксиди – кремнезем (SiO<sub>2</sub>), оксид марганцю (MnO), оксид вуглецю (CO) і ін. Оксид вуглецю (CO) видаляється з димовими газами, а інші переходять в шлак, що накопичується на поверхні металу. Перемішування металу при виділенні бульбашок CO сприяє окисненню домішок. Коли метал покриється шаром шлаку, безпосереднє окиснення домішок киснем повітря стає неможливим і подальше окиснення протікає за рахунок оксиду заліза, що розчинений в металі. У готовій сталі оксид заліза (FeO) — шкідлива домішка, але під час плавки його присутність корисна, тому що він – єдине джерело кисню для вигорання домішок:



Додання в шихту флюсів (вапна або вапняку) сприяє видаленню з металу сірки і фосфору. В ряді випадків для розрідження шлаку вводять боксити і плавиковий шпат. Для інтенсивності плавки

використовують кисень, що не тільки скорочує тривалість плавки, але й витрату палива. Інтенсивність окиснення можна підвищити завантаженням в піч залізної руди. Додання руди ефективно тому, що водночас з очищенням металу від домішок відбувається відновлення заліза з оксидів руди. Залізо, що утворилося, розчинюється в металі і підвищує вихід готової продукції. Сірка і фосфор, що знаходяться в руді, при плавці не видаляються, тому що їх сполуки  $P_2O_5$  і  $FeS$  добре розчиняються в сталі. Для їх видалення в шихту вводять флюс – вапняк, який при нагріванні розкладається :



Вапно ( $CaO$ ), що входить до складу шлаку, хімічно зв'язується з фосфором і переводить його в шлак  $[P_2O_5(CaO)_4]$ . При цьому частково видаляється й сірка.

Шлак, що утворився при плавці, зливають. Під час плавки беруть проби металу для визначення його хімічного складу і доведення цього складу до заданого. Коли метал доведений до заданого складу, в нього вводять розкиснювачі (в основному феросплави) щоб відібрати кисень у закису заліза, що залишився в металі. Після завантаження розкиснювачів сталь випускають з печі.

В мартенівських печах виплавляють в основному вуглецеві конструктивні сталі нормальної і підвищеної якості, а також ряд марок інструментальних і низьколегованих сталей.

Мартенівський спосіб виробництва сталі ліквідований у всіх розвинених країнах світу ще в 1980-1990-х роках, в Китаї – у 2003 році, а Росія тільки планує повністю відмовитись від мартенівського виробництва сталі:

На сьогодні такий спосіб є малоефективним як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Зокрема, собівартість мартенівської сталі (у перерахунку на катану заготовку) на 15% вища за собівартість електросталі та конвертерної сталі (у перерахунку на литу заготовку). При виробництві мартенівської сталі обсяг викидів шкідливих речовин в атмосферу вище на 40%, а парникових газів – у

два рази більше порівняно з електросталеплавильними і конвертерними способами виробництва сталі.

### 1.3 Аналіз енергоспоживання мартенівського цеху

Ефективність використання енергоресурсів є одним з найважливіших показників ефективності підприємства в цілому, а для металургійних підприємств, з характерною для них великою енергоємністю, - ще й однією з підстав для виживання.

У прокатних цехах металургійних підприємств повного циклу споживання первинних енергоресурсів може досягати 20% від загальних їх витрат по підприємству, електроенергії - дещо менше (приклад розподілу електроенергії по виробництвам для заводу з повним циклом сортового напрямки: доменне - 4%; коксохімічне - 9%; прокатне - 16%; сталеплавильне - 5%; енергетика - 47%; механіка та інш. - 6%) [4].

Кінцевим підсумком діяльності в галузі енергозбереження є зменшення енерговитрат, тобто витрат на придбання енергоресурсів, а при змінюються обсягах виробництва - зменшення частки енерговитрат у сумарних витратах на виробництво продукції. Цей результат може бути досягнутий різними методами, і існують відомі класифікації методів енергозбереження по їх витратності, технічній оснащеності та складності, термінів окупності, наукоємності та інші.

ПАТ «Запоріжсталь» за обсягом виробництва входить в четвірку найбільших підприємств України. Комбінат є виробником високоякісної металопродукції - чавуну, сталі, листового прокату з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей, гнутого профілю, жерсті, будівельних матеріалів і товарів народного споживання. Комбінат є одним з

основних постачальників листового прокату і гнутих профілів для українського машинобудування, жерсті для харчової промисловості.

Комбінат "Запоріжсталь" щомісячно демонструє стабільну динаміку скорочення споживання природного газу та покупних енергоресурсів, слідуючи технологічної стратегії групи "Метінвест", яка передбачає модернізацію виробництва та реалізацію енергозберігаючих заходів.

Основними енергетичними ресурсами, що споживаються при виробництві у мартенівському цеху є природний газ, електрична енергія, пара, стиснуте повітря, аргон. До інших енергоресурсів віднесені технічна та питна вода, водень, азот, кисень.

Розглянемо енергоспоживання цеху за даними 2019 року, таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Споживання енергетичних ресурсів цеху

№	Електрообладнання	Потужність, кВт	Час роботи на рік, годин	Споживання електроенергії, кВт·год	Питома витрата електроенергії, кВт·год /т
1	Крани металургійні	10360,9	716,19	828851	2,62
2	Насосна води високого тиску	544,04	720	291600	0,91
3	Освітлення	414	600	230198	0,59
4	Електрообладнання мартенівських печей	2837,3	519,65	177390	0,40

Основними споживачами електричної енергії даних підприємств є електроприймачі, які отримують живлення на напругу 0,4 кВ. До таких електроприймачів відносяться: електродвигуни вентиляторів і насосів, підйомно-транспортне обладнання, внутрішнє і зовнішнє освітлення і

кондиціонери. Електроприймачі 0,4 кВ в свою чергу отримують живлення від понижуючих розподільних підстанцій 6 / 0, 4кВ. Так само електроприймачами, які отримують живлення на напрузі 6 кВ є двигуни земснарядів

Споживання енергетичних графічно наведено на рисунках 1.2 – 1.6.

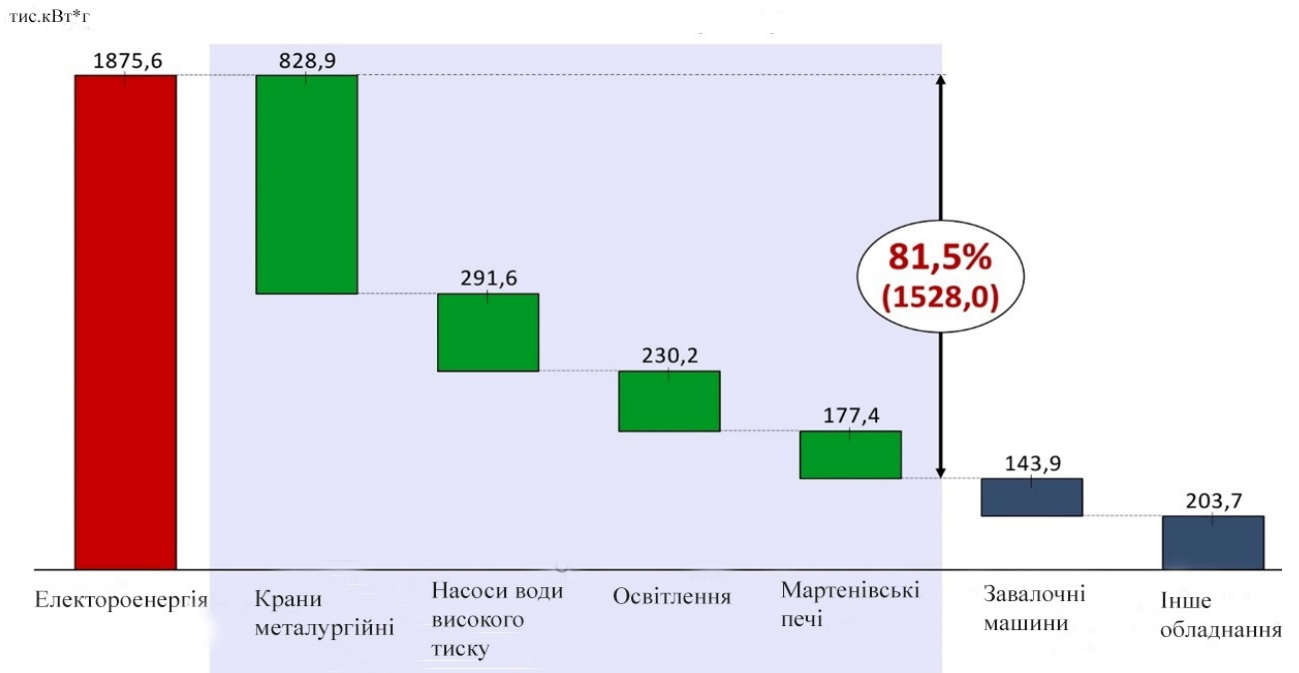


Рисунок 1.2 – Споживання електричної енергії цехом



Рисунок 1.3 – Споживання технічної води цехом



Рисунок 1.4 – Споживання стиснутого повітря



Рисунок 1.5 – Споживання кисню цехом

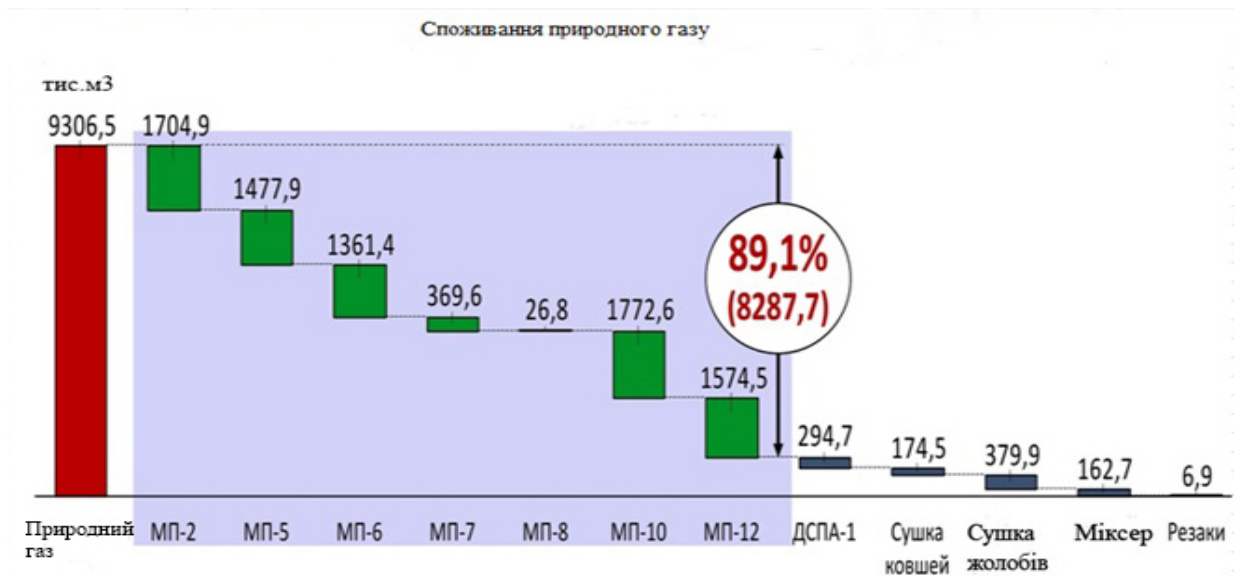


Рисунок 1.6 – Споживання природного газу

На рисунку 1.7 наведено співвідношення споживання електроенергії обладнанням цеху.

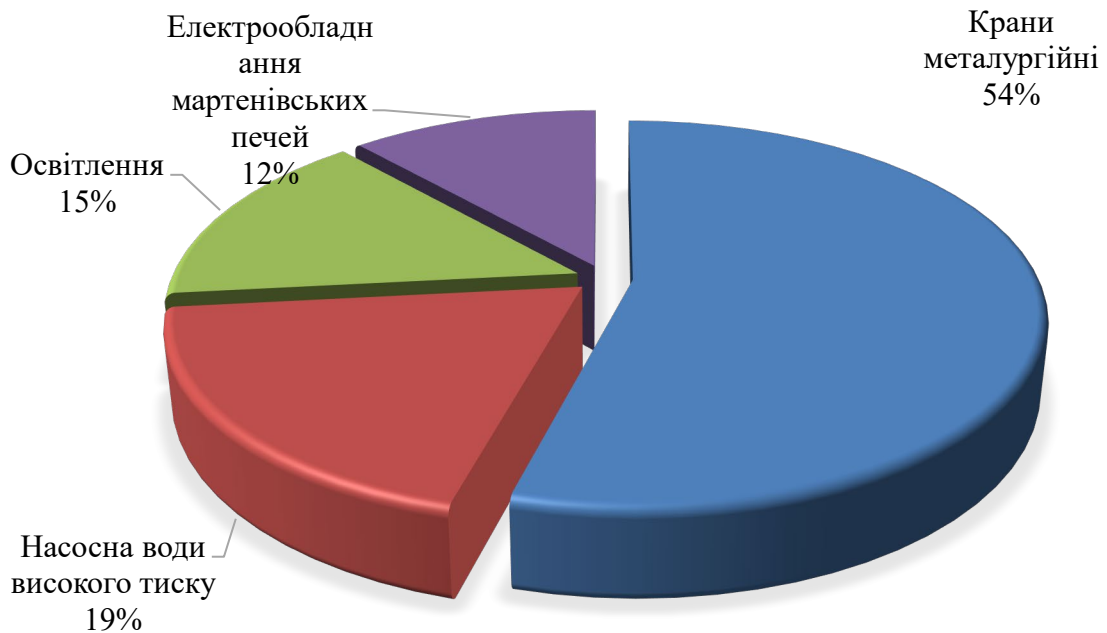


Рисунок 1.7 - Співвідношення споживання електроенергії обладнанням цеху

Електроприймачі цеху відносяться до споживачів зі спокійним графіком навантаження. Підключення устаткування передбачається до трифазної мережі 6кВ і 380/220В, 50Гц. Однофазна навантаження рівномірно розподіляється по фазах. Робота електроприймачів не викликає погіршення параметрів мережі та відповідає ГОСТ 13109-97 "Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення».

Електроприймачі цеху за ступенем забезпечення надійності електропостачання відносяться до споживачів III-ї категорії згідно з ПУЕ-85. З метою забезпечення безаварійного електропостачання та відповідно до «Інструкції про порядок складання акта екологічної, аварійної та технологічної броні електропостачання споживача», затвердженої наказом Міністерства палива та енергетики України 19.01.2004г. № 26, виконано аналіз електроприймачів, який показав відсутність електроприймачів, які необхідно внести до акта екологічної, аварійної або технологічної броні.

## 1.4 Можливі заходи підвищення ефективності електроспоживання цеху

Заміна двигунів насосів високого тиску.

Для будь-якого міста необхідно безперебійне водопостачання, яке використовується як для побутових потреб населення, так і в технологічних процесах. При відсутності сучасної системи автоматизації насосної станції є низькоефективними і ненадійними.

Для сучасних насосних станцій найважливішими показниками ефективності є економічне використання ресурсів (як енергетичних, так і виробничих), надійність і довговічність обладнання, а морально і фізично застаріле обладнання задовольнити такі потреби не може. Тому необхідно модернізувати обладнання на насосних станціях. Автоматизація насосного обладнання дозволяє забезпечити безперебійне водопостачання в повному обсязі. Основні причини впровадження автоматизованої системи керування насосними станціями є:

- необхідність забезпечення постійних параметрів на виході з насоса;
- оптимізація штатного розкладу і вимога забезпечити керування насосною станцією дистанційно (це дозволить зменшити штат оперативного персоналу);
- можливість організації автоматичного включення резерву насосів для забезпечення безперебійного водопостачання;
- необхідність динамічно змінювати вироблення насосів для економії коштів в періоди низьких навантажень;
- запобігання виходу насосів з ладу через відсутність води на вході, і, відповідно, зниження вартості ремонтних робіт (захист від сухого ходу);
- рівномірність розподілу терміну корисної експлуатації насосного обладнання.



Автоматизація насосних станцій ефективно і економічно впливає на виробничий процес, шляхом раціонального використання насосного обладнання.

Більшість автоматизованих насосних систем виготовляються виходячи з технічних вимог, для своєї роботи. Сучасні автоматизовані насосні станції використовують малошумні насоси. Робота автоматизованої насосної станції неможлива без використання статичних перетворювачів частоти, цей пристрій завжди поставляється в комплекті з насосною станцією.

Всі сучасні автоматизовані насосні системи забезпечуються наступними видами автоматики і автоматичного захисту:

- індикація і діагностика несправностей в насосній системі, всі сучасні насосні станції оснащені обчислювальними контролерами або CPU;
- всі сучасні насосні станції можуть підтримувати не тільки заданий користувачем тиск в системі, але так само підтримувати і задані користувачем параметри витрати води;
- завдяки частотним перетворювачам, автоматизовані насосні станції здійснюють постійний контроль напруги живлення і можуть автоматично відновлювати роботу після збою в мережі енергоживлення;
- завдяки наявності частотного перетворювача, система надійно захищена від перевантажень і перепадів напруги;
- при взаємодії CPU і частотних перетворювачів, автоматизована насосна станція розподіляє навантаження між насосами з метою досягнення максимальної ефективності в роботі насосів, параметри навантаження можуть встановлюватися користувачем, а можуть вибиратися автоматично;
- робота автоматизованої насосної станції влаштована таким чином, що станція сама перемикає навантаження з одного насоса на інший, для однакового вироблення робочого ресурсу насосних агрегатів.

В автоматизованих насосних станціях існує два способи регулювання продуктивності системи, каскадний спосіб, і регулювання продуктивності за допомогою частотних перетворювачів.

Впровадження перетворювачів частоти з рекуперацією електричної енергії.

Постійний ріст цін на енергоносії стимулює водоканали і підприємства житлово-комунального комплексу впроваджувати енергозберігаючі технології, до яких відноситься і частотно-регульований електропривод.

Для отримання максимальної економії електроенергії необхідно знати силову перетворювальну техніку і регульований електропривод змінного струму, необхідно враховувати електромагнітну сумісність і параметри мережі живлення, умови експлуатації, характерні і специфічні режими роботи приводного механізму і технологічного процесу в цілому, і вміти оптимально поєднувати все це при налаштуванні системи керування насосними агрегатами.

Серед методів, що забезпечують збільшення ефективності роботи і терміну служби насосного обладнання, все більш поширеним стає використання частотних перетворювачів. Частотно-регульований електропривод насосних агрегатів привернув увагу водоканалів і підприємств ЖКГ, в першу чергу, можливістю виключення «людського» фактору з процесу регулювання тиску в мережах водопостачання і в автоматичному режимі підтримувати його на заданому рівні незалежно від розходу. У порівнянні з усіма відомими механічними способами регулювання потоку рідини, що рухається по трубопроводу, контрольоване збільшення або зниження частоти обертання валу двигуна сприяє:

- економії до 60% електроенергії;
- зниження до 5% витоків рідини;
- більш надійному захисті електроприводу;
- збільшення майже вдвічі довговічності насосного обладнання і трубопроводів.

Економію електроенергії на насосних станціях отримують за рахунок:

- оптимального вибору режиму роботи насоса;
- експлуатації електродвигуна і перетворювача частоти з найбільшим ККД;

– використання оптимальних законів регулювання технологічними процесами.

Такі показники ефективності, що свідчать про економічну обґрунтованість використання частотних перетворювачів, пояснюються наступним чином.

У більшості агрегатів застосовуються досить потужні електродвигуни для більшої продуктивності насоса. Однак на ділі максимальна потужність двигуна необхідна лише в 10-20% від усього часу роботи насоса – в невеликий період пікового навантаження. Весь інший час двигун, що не оснащений перетворювачем частоти, працює з тією ж високою швидкістю обертання валу двигуна, споживаючи при цьому більше на 30-60% електроенергії, ніж потрібно. Застосування ж частотного перетворювача дозволяє уникнути такої перевитрати електроенергії. Регулювання потужності електродвигуна робить можливим управління режимами роботи гідросистеми та оптимізацію витрат води.

При частотному регулюванні вдається уникнути виникнення в трубопроводі надлишкового тиску. Коли ж для зміни тиску використовуються засувки, надлишковий тиск виникає досить часто, що неминуче призводить до прихованих витоків рідини. Збільшення напору рідини при пусках насоса сприяє швидкому зносу трубопровідних мереж. Завдяки частотному перетворювачу забезпечуються плавні пуски і зупинки електроприводу, що виключає виникнення гідроударів і подовжує термін служби трубопроводу. Відсутність прихованих витоків та зменшення ймовірності розливу рідини в результаті пошкодження трубопроводу дозволяє зробити висновок про те, що постачання насосів частотними перетворювачами робить експлуатацію обладнання більш безпечною з погляду екології.

Плавні пуски насоса не тільки усувають гідроудари, але і знижують пускові струми двигуна, оберігаючи тим самим електропривод від перевантажень. Крім того, при плавних пусках електродвигуна вдається

уникнути впливу ударних механічних навантажень на вузли кріплення приводу, з'єднувальні муфти, підшипники, вали.

Ідеальний насос витратить в чотири рази менше енергії на перекачування одного і того ж об'єму рідини, працюючи на половинній швидкості ніж на повній, але час роботи, при цьому, збільшується в двічі.

Враховуючи цю обставину можна припустити, що реальний насос, який працює в повторно-короткочасному режимі, або в режимі дроселювання також може дати економію електроенергії, якщо його продуктивність регулювати за допомогою зміни швидкості. Це припущення підтверджується на практиці і досвід експлуатації реальних насосів, при частотному регулюванні швидкості (продуктивності), свідчить про те, що реальна економія електроенергії становить 25 – 40% в залежності від режиму роботи насосної станції.

Коли мова йде про економію 60%, а інколи і 80%, то мають на увазі, що з впровадженням частотного приводу одночасно міняють і насосне обладнання на сучасне, більш ефективне.

Якщо насос працює постійно і його продуктивність не регулюється, то економія електроенергії можлива тільки за рахунок оптимального вибору насосного обладнання і зменшення гідродинамічних втрат в трубопроводах.

При правильному виборі насоса середня частота обертання електромагнітного поля напруги, що живить регульованого насоса (частота обертання)  $f_{срєдн}$  становить 40 ... 42 Гц. За рахунок роботи за графіками установок середня частота обертання регульованого насоса в сталому режимі може знизитися до 38 Гц. Зниження частоти нижче вказаного рівня викликає помітне зниження ККД системи  $\eta$ , тим самим – збільшення втрат, що призводять до зниження продуктивності установки підвищення тиску (рисунок 1.1).

При частоті обертання 38 Гц (0,76 максимальної продуктивності) очікувана економія для закону регулювання  $U/f = const$  може бути оцінена за такою формулою:

$$\Delta \tilde{W} = \frac{f_{\max} f_{\text{середн}}}{f_{\Sigma \max}}, \quad (1.1)$$

де  $f_{\max}, f_{\text{середн}}$  – відповідно максимальне і середнє значення частоти обертання електромагнітного поля насоса;

$f_{\Sigma \max}$  – сума максимальних частот обертання насосів (для 1 насоса - 50 Гц, для 2-х - 100 і т.д.).

Зниження частоти обертання до значення 38 Гц викличе зниження  $\eta$  системи підвищення тиску на 0,05 ... 0,08 одиниць (рисунок 1.8). З урахуванням зниження  $\eta$  очікувана економія електроенергії при роботі тільки одного насоса складе не більше 23% його енергоспоживання.

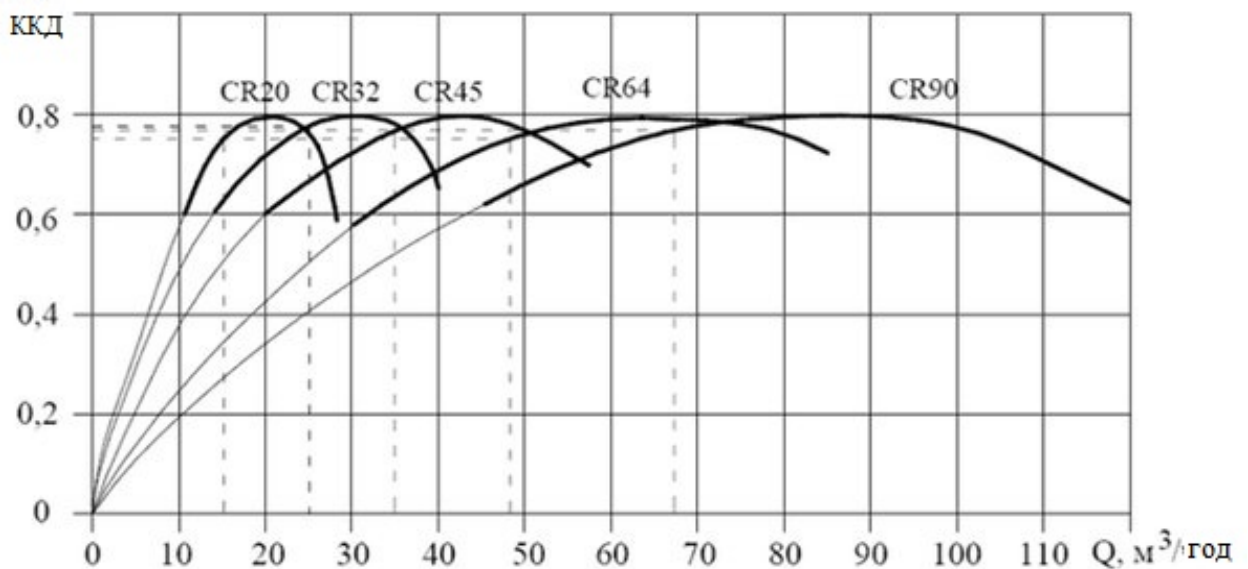


Рисунок 1.8 – Графік зниження ККД насосів при зменшенні величини

Для автоматичного підтримання тиску, розходу, рівня використовують ПІД-регулятори, які змінюють вихідну частоту і напругу перетворювача частоти таким чином, щоб параметр, який регулюється підтримувався з заданою точністю, а на режим роботи насоса «не звертають» увагу.

Побудований графік залежності (рисунок 1.9) питомих витрат електроенергії на перекачування одного кубічного метра води (кВт·год/м³) від швидкості насоса свідчить про те, що найбільшу економію електроенергії отримаємо при роботі насоса в діапазоні частот 35 – 45 Гц.

Для кожного конкретного випадку необхідно експериментальним шляхом визначити оптимальний частотний діапазон, в якому питомі витрати електроенергії на перекачування води будуть найменшими, і по мірі можливості, працювати в цьому діапазоні.

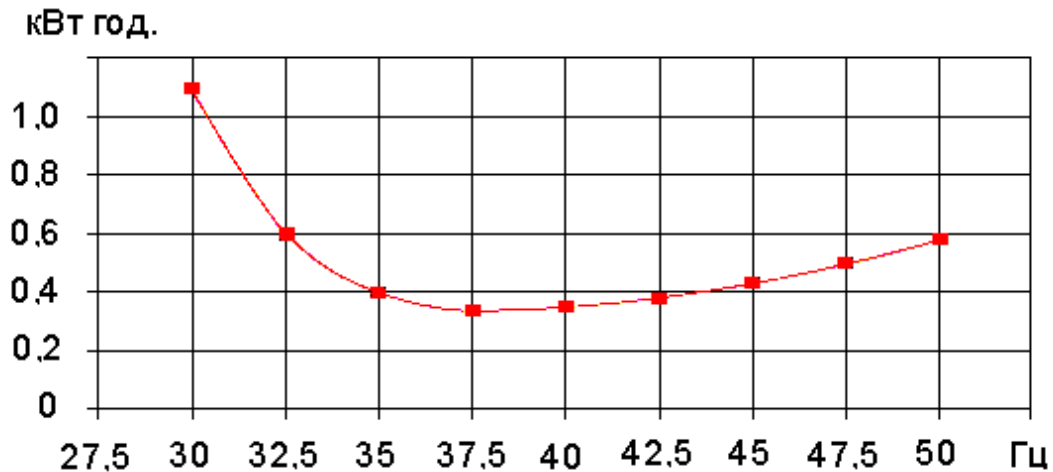


Рисунок 1.9 – Графік залежності питомих витрат електроенергії на перекачування 1 м<sup>3</sup> води

Каскадне включення насосів використовується для оптимізації режимів роботи насосних агрегатів при змінному графіку споживання води з метою отримання максимальної економії електроенергії.

Бажано, щоб всі насоси працювали в оптимальному частотному діапазоні, а для цього вони повинні бути оснащені перетворювачами частоти. Якщо такої можливості нема, то використовуйте режим обходу перетворювача частоти, при якому один перетворювач частоти по черзі працює з одним із насосів, а при необхідності проводить частотний пуск інших насосів.

Проблема частих поломок валів – одна з найактуальніших, пов'язані з ними проблеми в роботі насосів складають до 40% випадків виходу з ладу насосного обладнання. Це стосується і обладнання, призначеного для перекачування в'язких рідин, і насосів, що працюють тільки з водою.

Поломка валу може бути викликана кількома причинами: дефектом матеріалу виготовлення, механізмами в'язкого руйнування (таке відбувається, коли вал насоса заклинює під час роботи) або втомного руйнування (пов'язаного з тривалим терміном служби насоса). Поломка вала насоса також

може статися внаслідок неправильного вибору обладнання або через недотримання правил його монтажу та експлуатації.

Ударні навантаження на вал, що призводять до його поломки, можуть бути двох видів: по-перше, це імпульсні перевантаження, які виникають при пуску і зупинці двигуна, по-друге, навантаження при стаціонарному режимі роботи, коли на вал діє корозійна втома при крученні. В обох цих випадках виключити виникнення навантажень на вал допомагає використання частотних перетворювачів.

У першому випадку це відбувається за рахунок запуску електроприводу з пусковим струмом, обмеженим деяким допустимим значенням. Через це сила впливу на вал насоса також буде не вище номінального значення, тоді як при прямому пуску ця сила перевершує допустиме значення в 2-3 рази. Час пуску або гальмування двигуна з перетворювачем частоти можна регулювати з тим, щоб зберегти момент сили, що діє на вал, в межах номіналу.

Установка перетворювача частоти доцільна не тільки внаслідок істотної економії енерговитрат, а й за рахунок можливості запобігання швидкого зносу деталей і вузлів насоса, попередження аварій та простою обладнання. Причому ефективність від застосування перетворювача частоти зростає в разі його установки на нові насоси при їх введенні в експлуатацію, що виключає ризик поломки вала на етапі пуско-налагоджувальних робіт.

При аналізі ефективності частотно-регульованого електроприводу насосних агрегатів було звернуто увагу на те, що лічильники старого зразку (дисккові) не показують споживання реактивної потужності, що цілком закономірно, тому що коефіцієнт реактивної потужності ( $\cos \varphi$ ) перетворювача частоти більше 0,98.

Лічильники старого зразку (дисккові) вимірюють тільки першу гармоніку, а електронні вимірюють всі гармоніки до 50-тої включно. Наявність вищих гармонічних складових напруги і струму приводить до споживання реактивної потужності.

Вхідний струм перетворювачів частоти суттєво відрізняється від синусоїдального внаслідок чого в мережі живлення генеруються непарні і не кратні 3 гармоніки – 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 і т.д.

На точність вимірювання електричної енергії впливають більш ніж 30 складових, 20 з яких виникають за рахунок вищих гармонічних складових напруги і струму в мережах електропостачання.

Встановлено, що при використанні в сучасних лічильниках трансформаторів струму і напруги класу 0,2 в нормальних умовах похибка вимірювання становить  $\pm 0,5\%$ , а за рахунок вищих гармонік сумарна похибка збільшується до  $\pm 3,5\%$ . При використанні трансформаторів струму і напруги класу 1,0 похибка вимірювання становитиме вже  $\pm 2,2\%$ , а за рахунок вищих гармонік сумарна максимальна похибка лічильників активної і реактивної енергії збільшується до  $\pm 13,3\%$ .

Вищі гармонічні складові не тільки збільшують похибку вимірювання лічильників, а і розігрівають силові трансформатори мережі живлення і конденсатори компенсаторів реактивної потужності.

Якщо не вжити заходів до покращення форми вхідного струму, то максимальна потужність перетворювача частоти не повинна бути більшою 10% від потужності трансформатора живлення.

Для покращення форми вхідного струму використовують силові дроселі на вході перетворювача частоти, або в ланці постійного струму, які суттєво зменшують рівень гармонічних складових.

Якщо потужність перетворювача частоти становить більше 40% потужності трансформатора живлення, то на вході перетворювача частоти необхідно встановити вхідний фільтр гармонік.

Пасивні фільтри гармонік дають можливість отримати практично синусоїдальний вхідний струм перетворювача частоти з коефіцієнтом нелінійних спотворень 10% і 5% відповідно. Перетворювач частоти підключають послідовно з фільтром гармонік.



Багато промислових підприємств, що активно використовують електричні вантажопідйомні крани, стикаються з проблемою невідповідності підйомного обладнання сучасним технічним вимогам. Переважна більшість вантажопідйомних кранів обладнано недорогими і звичними для обслуговування системами керування електроприводом на базі релейно-контакторних панелей, які далекі від досконалості через малий діапазон регулювання швидкості, залежністю швидкості опускання вантажу від його маси, що негативно впливає на ресурс роботи механічної частини крана і вимагає значних витрат для підтримки працездатності. У порівнянні з іншими системами управління, релейно-контакторний електропривод має найбільше енергоспоживання, так як блоки резисторів включаються в ланцюг ротора фазного двигуна при роботі на швидкостях менше номінальних обертів двигуна. Таким чином, на прикладі приводу підйому, до 70% витраченої електроенергії може йти на обігрів повітря, причому не тільки під час спуску, але і при підйомі вантажу.

Сьогодні найбільш ефективним методом модернізації (реконструкції) електрообладнання крана вважається використання частотно-регульованого електроприводу.

Про достоїнства частотного регулювання говорилося вже неодноразово. Такі його переваги, як підвищення надійності і функціональності електроприводу, а також простота обслуговування, загальновідомі.

Існуюча практика використання частотного електроприводу ґрунтується на тому, що електроенергія, що генерується двигуном при опусканні вантажу або при гальмуванні інерційного механізму, передається на блоки гальмівних опорів і перетворюється в теплову. Гальмування з підключенням зовнішнього резистора отримало найбільше поширення в електроприводах з перетворювачами частоти як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

У такого способу гальмування є ряд недоліків. Гальмівний резистор підключається до кожного перетворювача частоти, що збільшує вартість електроприводу і погіршує масогабаритні показники установки. Енергія

гальмування, за винятком втрат в елементах електроприводу, виділяється у вигляді теплової на гальмівному резисторі, що призводить до його значного нагрівання і нераціонального використання електричної енергії.

Альтернативою такому нераціональному використанню енергії є застосування модулів рекуперації, які замінюють резистори в приводах з тривалою роботою в генераторному режимі або мають велику гальмівну потужність, як, наприклад, у підйомних і інерційних механізмів. У цьому випадку енергія гальмування електроприводу повертається в мережу живлення.

До недавнього часу модулі рекуперації не користувалися великою популярністю за існуючих стереотипів про низьку ефективність рекуперації для систем з струмом споживання до 100 А, що здається складності впровадження, високу вартість модуля рекуперації і низької вартості електроенергії.

Сьогодні - з розвитком перетворювальної техніки, з одного боку, і постійно зростаючими тарифами на електроенергію, з іншого боку, - застосування модулів рекуперації стає все більш актуальним.

Schneider Electric пропонує нове рішення в області енергозберігаючих технологій: модулі рекуперації для перетворювачів частоти Altivar 71. Потужність модулів рекуперації представлена в діапазоні 7-200 кВт.

Основні якості (переваги) модулів рекуперації: компактність; простота введення в експлуатацію без необхідності програмування і настройки; можливість підключення до ланки постійного струму декількох перетворювачів частоти; можливість паралельного підключення до 4 модулів рекуперації; завдяки енергозбереженню і з урахуванням вартості виключених зі схеми гальмівних опорів забезпечується окупність протягом 1-2 років.

Економічний ефект від впровадження модуля рекуперації збільшується:

- зі збільшенням потужності електроприводів;
- при різких гальмуваннях інерційних механізмів;
- при опусканні вантажу на велику глибину (ліфти, шахтні підйомники).

При реконструкції крана як правило замінюються:

- електродвигуни на аналогічні по посадковим розмірами, але з короткозамкненим ротором;
- контакторні панелі на частотні з перетворювачами частоти Altivar 71;
- командоапарати на ергономічне крісло "пульт з джойстиком";
- блоки опору на модуль рекуперації.

Впровадження багатотарифних лічильників.

З плином часу актуальність проблем, пов'язаних з обліком енергоресурсів, зростає. На сьогоднішній день через багаторазове подорожчання енергоресурсів їх частка в собівартості продукції для багатьох промислових підприємств різко зросла і становить 20-30%. Фактор високої вартості енергоресурсів обумовив в останні роки кардинальні зміни ставлення до організації енергообліку в промисловості та інших енергоємних галузях.

Вирішення проблем енергообліку на підприємстві вимагає створення автоматизованих систем контролю й обліку енергоресурсів (АСКОЕ).

За призначенням АСКОЕ підприємства підрозділяють на системи комерційного та технічного обліку. Комерційним, або розрахунковим обліком називають облік виробленої і відпущеної споживачу (підприємству) енергії для грошового розрахунку за неї. Відповідно прилади для комерційного обліку називають комерційними або обліковими.

Комерційний облік консервативний, має усталену схему електропостачання, для нього характерна наявність невеликої кількості точок обліку, за якими потрібна установка приладів підвищеної точності, а засоби обліку нижнього та середнього рівнів АСКОЕ повинні вибиратися з державного реєстру вимірювальних засобів. Крім того, система комерційного обліку в обов'язковому порядку пломбується, що обмежує можливості внесення до неї будь-яких оперативних змін з боку персоналу підприємства [4].

Рівень споживання електроенергії Цеху визначається з одного боку енергоємністю встановленого обладнання, а з іншого боку - режимами його експлуатації, які задаються персоналом підприємства безпосередньо на робочих місцях, виходячи з виробничих потреб.

Основними цілями впровадження АСКОЕ цеху є:

- підвищення точності і надійності обліку електроенергії та потужності;
- оперативний контроль роботи об'єктів обліку електроенергії (підвищення надійності експлуатації точок обліку електроенергії);
- визначення балансу електроенергії по підприємству-замовника (точний облік втрат електроенергії);
- міжмашинний обмін інформацією про електроспоживання (підвищення оперативності та достовірності обліку електроенергії).

Основними завданнями впровадження АСКОЕ цеху є:

- підвищення ефективності використання енергоресурсів;
- забезпечення енергозбереження та раціонального використання електроенергії;
- економія грошових коштів підприємства-замовника в оплаті за спожиту електроенергію.

АСКОЕ цеху забезпечує цілодобовий режим роботи вимірювальних елементів системи, сигналізує про наявність або пропажі інформаційного зв'язку між підрівнями при опитуванні лічильників електроенергії та веде журнал опитування, з назви фідера, дати й часу приходу останніх даних з опитуваного лічильника, а також повноту даних по фідерах об'єкта. Опитування всіх лічильників електроенергії входять до складу автоматизованої системи, необхідно проводити не менше одного разу на добу.

АСКОЕ цеху має можливість модернізації, тобто, збільшення кількості точок електроенергії, зокрема для створення технічного обліку споживання електроенергії структурними підрозділами підприємства-замовника, збільшення кількості автоматизованих місць користувача системи, а також зміни конфігурації системи.

Персонал АСКОЕ цеху складається не менше ніж з трьох осіб інженерно-технічного персоналу підприємства-замовника: особа відповідальна за АСКОЕ, інженер з обліку енергоресурсів та інженер-програміст.

Склад функцій що реалізуються автоматизованою системою.

У число основних функцій проектованої автоматизованої системи входять:

- вимірювання, обробка, накопичення, зберігання і відображення багатофункціональними лічильниками електроенергії вимірювальної інформації про спожиту (видану) активну та реактивну енергії та потужності;

- об'єднання вимірювань отриманих з лічильників встановлених на точках розрахункового обліку, в єдині вимірювання за групами обліку електроенергії підприємства-замовника;

- вимірювання енергії та потужності на заданих тимчасових інтервалах і при необхідності за тарифними зонами доби;

- визначення максимальних потужностей за добу і при необхідності за тарифними зонами доби;

- формування і друк звітних документів;

- накопичення, зберігання і відображення даних, що надходять з лічильників, в базу даних АСКОЕ на підприємства-замовника;

- ведення архівів заданої структури;

- захист вимірювальної інформації та метрологічних характеристик системи від несанкціонованого доступу та змін;

- контроль працездатності системи;

- конфігурування системи.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії призначена для автоматичного вимірювання, збору, обробки, зберігання, відображення і документування інформації про надходження, розподіл та споживанні електричної енергії.

Призначення автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії - забезпечення високоточного комерційного обліку активної та реактивної електричної енергії у відповідності до вимог енергоринку. Однорівнева АСКОЕ цеху підрозділяється на два підрівня (нижній і верхній), які виконують свої наступні функції. Нижній рівень системи забезпечує збір

даних, їх первинну обробку та зберігання в енергонезалежній пам'яті для подальшої передачі верхнього рівня системи. Передача даних від нижнього рівня здійснюється по підтримуваному нижнім рівнем каналу зв'язку, до якого належить комутований телефонний зв'язок з використанням модему [5].

Функції нижнього підрівня автоматизованої системи:

- автоматичний облік споживання активної електроенергії, споживання та генерації реактивної електроенергії по точках обліку;
- передача даних про електроспоживання з точок обліку електроенергії на верхній підрівень системи.

Верхній рівень системи утворений біля автоматизованих робочих місць, які об'єднані в локальну обчислювальну мережу.

Функції верхнього підрівня автоматизованої системи:

- обробка даних надходять з нижнього підрівня системи та надання отриманої інформації у зручному для аналізу вигляді;
- оперативний автоматичний контроль та облік параметрів електроспоживання по точках і групам розрахункового обліку електроенергії, в цілому по підприємству;
- зберігання в базі даних електроспоживання цеху добових параметрів електроспоживання по активній енергії, реактивної енергії в двох напрямках у цілому по підприємству, по групах обліку, в кожній точці обліку протягом не менше 365 діб;
- зберігання в базі даних електроспоживання 30-хвилинних значень навантаження по активній потужності, реактивної потужності у двох напрямках у цілому по підприємству, по групах обліку, в кожній точці обліку протягом не менше 365 діб;
- формування балансу електроенергії по підприємству, по об'єкту обліку;
- організація інтерфейсу користувача;
- забезпечення видачі даних про електроспоживання підприємства в суміжні автоматизовані системи з використанням різних каналів зв'язку;

- автоматизована передача даних про електроспоживання підприємства у ВАТ «Запоріжжяобленерго»;
- надання звітних форм відображення отриманих даних про електроспоживання підприємства.

### 1.5 Обґрунтування доцільності застосування компенсації реактивної потужності

Більшість споживачів електроенергії становлять електричні машини (двигуни, генератори, трансформатори), в яких протікає реактивний струм, що індукує реактивну е.р.с., яка обумовлює створення фазового зсуву між напругою і струмом. Підключене навантаження не тільки споживає активну енергію (віддає при роботі генератора) з мережі, а також реактивну енергію, що приводить до збільшення повної потужності в середньому на 20-25% по відношенню до активної. При незначному завантаженні електричної машини (холостий хід) зсув фаз між напругою і струмом, як правило, збільшується, а  $\cos\phi$  зменшується в середньому 0,2-0,4. Якщо не використовувати компенсацію реактивної потужності, значно збільшиться споживаний струм при тій ж споживаній потужності.

Як правило, основним засобом компенсації реактивної потужності в електричних мережах промислових підприємств є конденсаторні установки. Це пояснюється їхніми значними перевагами у порівнянні з іншими засобами компенсації, а саме:

- малими, практично постійними в зоні номінальної температури довколишнього середовища, втратами активної енергії, що не перевищують 0,4% чи 0,004 кВт/кВАр КУ (для порівняння: в синхронних компенсаторах це

значення досягає 10% номінальної потужності компенсатора, а в синхронних двигунах, що працюють в режимі перезбудження - 7%);

- відсутністю частин, що обертаються;
- порівняно незначними капітальними вкладеннями;
- можливістю підбору будь-якої необхідної потужності конденсаторів;
- встановлення їх у будь-яких точках мережі;
- відсутністю шуму під час їхньої роботи;
- простота монтажу и експлуатації.

За допомогою КУ можливі наступні види компенсації:

1. Індивідуальна (не є регульованою) - КУ розташовуються безпосередньо у електроприймачів і комутуються одночасно з ними. При індивідуальній компенсації від реактивного навантаження розвантажуються не тільки мережі вищої напруги, а й цехові розподільчі мережі. Вона є найкращою при компенсації окремих електроспоживачів, що працюють у тривалому режимі. Недоліки даного виду КРП - залежність часу підключення КУ від часу підключення електроприймачів і необхідність узгодження ємності КУ з індуктивністю електроприймача, реактивне навантаження якого компенсує КБ, для запобігання виникнення резонансних явищ або застосування спеціальних схем підключення (перемикання з "зірки" на "трикутник", яке передбачає паралельне підключення до обмоток двигуна трьох однофазних конденсаторів).

2. Групова (також не є регульованою). Застосовується при КРП кількох індуктивних навантажень, що приєднані. КУ встановлюються в цехах і приєднуються до розподільних пунктів чи шин 0,38 кВт. Від реактивної потужності розвантажуються трансформатори на підстанції та мережі 0,38 кВ, що живлять. Недоліки - окрема комутація КУ і неповне розвантаження розподільних мереж підприємства від реактивної потужності (не розвантаженими залишаються розподільчі мережі до окремих споживачів).

3. Централізована (як правило, є регульованою). Застосовується в системах з великою кількістю споживачів, що мають великий розкид



коефіцієнту потужності протягом доби, тобто для змінного навантаження. Централізована компенсація може здійснюватись на боці вищої напруги, коли КУ приєднується до шин 6-10 кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або на боці нижчої напруги. Перший варіант забезпечує гарне використання конденсаторів: їх треба менше та вартість одного квар нижче, ніж при інших варіантах. Проте при компенсації за цією схемою від реактивної потужності розвантажуються тільки розташовані вище ланки розподільної мережі. Розподільні мережі 6 – 10 та 0,38 кВ при цьому не розвантажуються, отже втрати енергії в них не зменшуються, і потужності трансформаторів 6 – 10/0,38 кВ не можуть бути зменшені.

При централізованій компенсації на боці нижчої напруги, коли КУ приєднується до шин 0,38 кВ трансформаторної підстанції 6 – 10/0,38, від реактивної потужності розвантажуються не тільки мережі 6 – 10 кВ, що живлять, а й трансформатори на підстанції. Не розвантаженими лишаються лише внутрішньоцехові розподільні мережі напругою 0,38 кВ.

Регулювання потужності КУ може здійснюватись в функції реактивного струму навантаження, але для цього КУ повинна бути обладнана спеціальним автоматичним регулятором, а її повна компенсаційна потужність розділена на ступені, що окремо комутуються. Такі комплектні КУ називаються автоматизованими. Даний тип КУ виконує КРП відповідно до фактичного споживання реактивної потужності

При компенсації реактивної потужності споживаний струм з мережі зменшується в залежності від  $\cos\phi$  на 30-50%. Установки засобів компенсації реактивної потужності забезпечує підтримання близького до 1 значення  $\cos\phi$ , чим спонукають зниження практично до 0 оплати за реактивну енергію, значне збільшення пропускної здатності трансформаторів, кабелів (нарощення споживаної потужності підприємства без реконструкції енергосистеми) за рахунок відсутності втрат активної потужності, які виникають при протіканні

реактивного струму, а також ефективне розвантаження електромереж приводить до економії від 5-15% споживаної активної електроенергії.

### 1.6 Заміна двигунів димососів мартенівських печей на енергоефективні

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза й міді) підвищені номінальні значення ККД й  $\cos\phi$ . Енергозберігаючі двигуни використовуються, наприклад, у США і дають ефект при постійному навантаженні. Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5%) підвищення номінальних ККД й  $\cos\phi$  досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30-35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15%, тобто подорожчання двигуна на 30-40%.

Орієнтовні залежності ККД і  $\cos\phi$  ( від номінальної потужності для звичайних та енергозберігаючих двигунів фірми Гоулд (США) наведені на рисунку 1.10.

Підвищення ККД енергозберігаючих електродвигунів досягається такими змінами в конструкції:

- подовжуються сердечники, що їх збирають із окремих пластин електротехнічної сталі з малими втратами. Такі сердечники зменшують магнітну індукцію, тобто втрати в сталі.

- зменшуються втрати в міді за рахунок максимального використання пазів і використання провідників підвищеного перетину в статорі й роторі.

- додаткові втрати зводяться до мінімуму за рахунок ретельного вибору числа й геометрії зубців і пазів.

- виділяється при роботі менше тепла, що дозволяє зменшити потужність і розміри охолоджувального вентилятора, що призводить до

зменшення вентиляторних втрат, а отже, зменшення загальних втрат потужності.

Порівнювальна оцінка параметрів енергозберігаючих та звичайних двигунів показана на рисунку 1.10

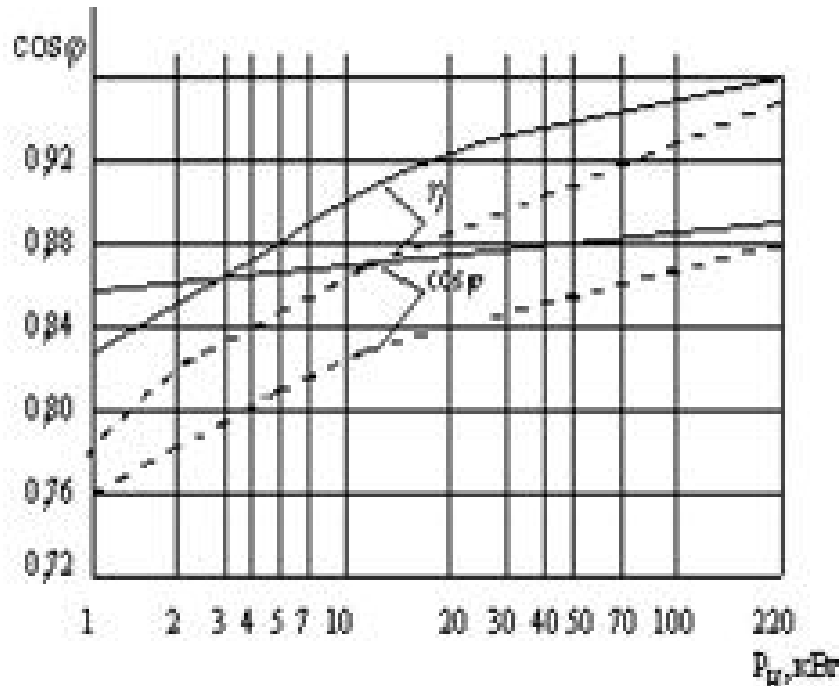


Рисунок 1.10- Орієнтовні залежності ККД і  $\cos \varphi$

Електродвигуни з підвищеним ККД забезпечують зменшення витрат на електроенергію за рахунок скорочення втрат в електродвигуні.

Проведені випробування трьох «енергозберігаючих» електродвигунів показали, що при повнім навантаженні отримана економія склала: 3,3% для електродвигуна 3 кВт, 6% для електродвигуна 7,5 кВт й 4,5% для електродвигуна 22 кВт.

Економія при повнім навантаженні приблизно становить 0,45 кВт, що при вартості енергії 0,06 долара/кВт·год становить 0,027 долара/год. Це еквівалентно 6% експлуатаційних витрат електродвигуна.

Ціна звичайного електродвигуна 7,5 кВт, як наведено у прайс-листах, становить 171 долар США, тоді як вартість електродвигуна з підвищеним ККД - 296 доларів США (надбавка до ціни - 125 доларів США). З наведеної таблиці видно, що період окупності для електродвигуна з підвищеним ККД,

розрахований на основі маргінальних витрат, становить приблизно 5000 годин, що еквівалентно 6,8 місяців роботи електродвигуна при номінальному навантаженні. При менших навантаженнях період окупності буде трохи більше.

Ефективність використання енергозберігаючих двигунів буде тим вища, чим більше завантаження двигуна й чим ближче режим роботи його до постійного навантаження.

Застосування й заміна двигунів на енергозберігаючі повинна оцінюватися з урахуванням всіх додаткових витрат і строків їхньої експлуатації.

1.7 Заходи з підвищення ефективності електроспоживання, що передбачаються

До таких заходів слід віднести:

- застосування енергозберігаючих освітлювальних приладів та їх секційне включення та відключення;
- застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації;
- модернізація димососів мартенівських печей;
- модернізації системи подачі води високого тиску.

## 2 РОЗРАХУНКИ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАРТЕНІВСЬКОГО ЦЕХУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

### 2.2 Розрахунки заходів щодо зниження витрати електричної енергії

2.2.1 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок модернізації системи подачі води високого тиску

Класифікація насосів – це складна і неоднозначна задача. Насоси класифікують за рядом ознак: принципом дії, призначенням, галузевою застосування, величиною подачі і напору, виконанню і т. п.

Класифікація насосів за основними параметрами включає в себе такі показники, як номінальна корисна потужність насоса, номінальна подача і натиск. Таким чином, насоси класифікуються за крупності. Умовний розподіл насосів за продуктивністю наведено в таблиці 2.1.

За напором, що розвивається розрізняють насоси з низьким (до 10 м), середнім (до 70 м) і високим (більше 70 м) напором при відповідних тисках до 0,1 МПа, 0,7 МПа і більше 0,7 МПа.

Таблиця 2.1 – Розподіл насосів за продуктивністю

Показник крупності насоса	Корисна потужність, кВт	Подача, м <sup>3</sup> /с
Мікро	0–0,4	–
Дрібний	0,4–4	–
Малий	4–100	–
Середній	100–400	До 0,5
Крупний	400 і більше	більше 0,5

Пристрій відцентрового насоса показано на рисунку 2.4. Усередині корпусу насоса 1, що має, як правило, спіральну форму, на валу 2 жорстко

закріплено робоче колесо 3. Робоче колесо складається з заднього і переднього дисків, між якими встановлені лопаті 4, відігнуті від радіального напрямку в бік протилежний напрямку обертання робочого колеса. За допомогою патрубків 5 і 6 корпус насоса з'єднаний з всмоктуючим і напірним трубопроводами.

Якщо при наповнених рідиною корпусі і всмоктуючому трубопроводі привести в обертання робоче колесо, то рідина, що знаходиться в каналах робочого колеса (між його лопатями), під дією відцентрової сили буде відкидатися від центру колеса до периферії. У результаті цього в центральній частині колеса створиться розрідження, а на периферії – підвищений тиск. Під дією цього тиску рідина з насоса надходить у напірний трубопровід, одночасно через всмоктуючий трубопровід під дією розрідження рідина надходить у насос. Таким чином, здійснюється безперервна подача рідини відцентровим насосом.

Відцентрові насоси можуть бути не тільки одноступінчастими (з одним робочим колесом), як показано на рисунку 2.1, а й багатоступінчастими (з декількома робочими колесами). При цьому принцип їх дії у всіх випадках залишається одним і тим же – рідина переміщається під дією відцентрової сили, що розвивається обертовим робочим колесом.

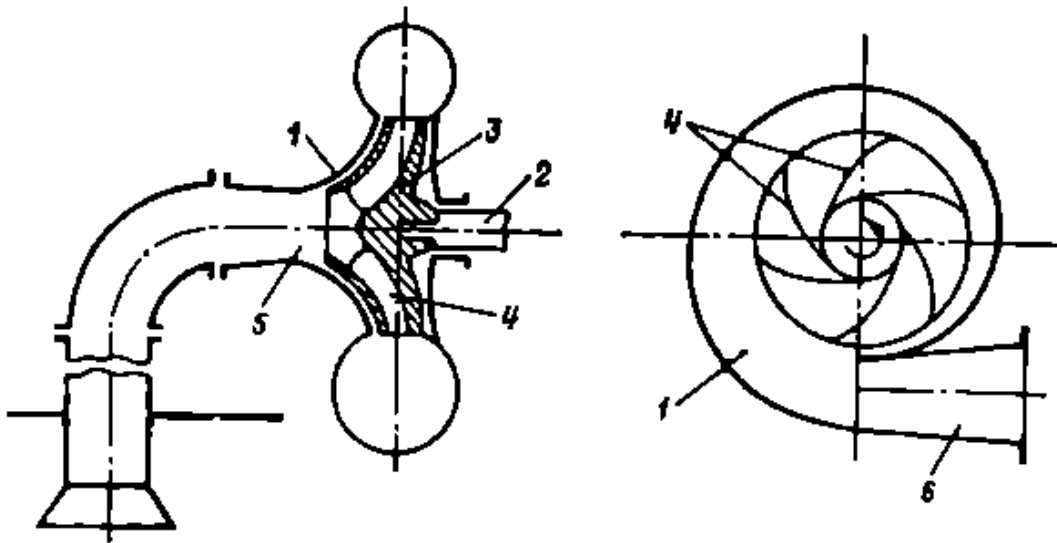


Рисунок. 2.1 – Схема відцентрового насоса

Робоче колесо осьового насоса являє собою втулку, на якій укріплено кілька крилоподібних лопатей. При обертанні колеса навколо осі лопаті впливають на потік таким чином, що створюється підйомна сила, під дією якої рідина переміщується вздовж втулки колеса. Робоче колесо осьового насоса обертається в трубчастій камері, і основна маса потоку в межах колеса рухається в осьовому напрямку. Одночасно перекачується рідина кілька закручується робочим колесом. Для усунення обертального руху в камері на деякій відстані від робочого колеса встановлюють виправний апарат, через який рідина надходить у колінчастий відведення насоса і далі в напірний трубопровід.

Для правильного вибору насоса, потрібно вміти прогнозувати робочі параметри насоса. Складність цього завдання полягає в тому, що робочі параметри насоса залежать не тільки від самого насоса, але і від трубопроводу (трубопровідної мережі), за яким насос переміщує рідину. Оцінити робочі параметри можна тільки при аналізі взаємодії насоса з трубопровідною мережею, що вимагає навичок побудови графічних характеристик насоса, групи насосів і трубопровідної мережі. При аналізі ефективності роботи насоса необхідно вміти оцінювати коефіцієнт корисної дії (ККД) і визначати за його максимального значення оптимальну подачу насоса.

Режим роботи відцентрового насоса залежить від трубопровідної мережі, в якій він працює, при експлуатації насоса і виявленні неполадок необхідно розуміти з яких елементів складається трубопровідна мережу і як користуватися вимірювальними приладами, встановленими в трубопровідній мережі.

Важливим завданням при експлуатації насоса в трубопровідній мережі є регулювання подачі ним рідини. Від подачі відцентрового насоса залежить його ККД, а значить і потужність, що споживається. подача насоса може мінятися при зміні різних параметрів трубопровідної мережі (рисунок 2.2) (тиску в резервуарах, рівня рідини). У зв'язку з цим, необхідно розуміти, як залежить робоча подача насоса від параметрів трубопровідної мережі.

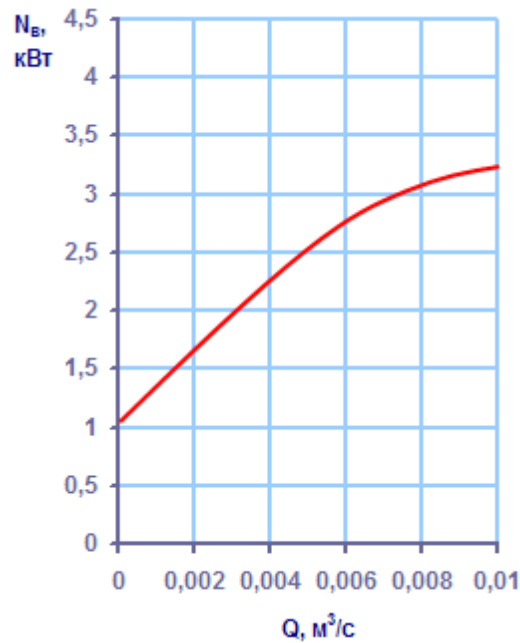


Рисунок 2.2 – Характеристика залежності потужності на валу від подачі відцентрового насоса.

Розрахункові добові витрати води приймаються в основу розрахунку всієї системи подачі та розподілу води (включаючи мережі). Для розрахунку системи важливий також облік нерівномірності витрати води протягом доби. Режим роботи мереж і безпосередньо пов'язаних з ними споруд (насосів II підйому, водоводів і регулюючих ємностей) визначається режимом відбору води з водопровідної мережі об'єктів в окремі періоди доби.

Пропонується модернізувати систему керування включенням і вимиканням насосів високого тиску, що дозволить виключати їх в неробочий період.

На технологію насос корисно працює 700 годин на рік, отже 1720 годин - резерв.

Потужність одного двигуна насосу - 50кВт.

Визначимо економію електричної енергії:

$$E_w = t \cdot P, \quad (2.14)$$

де  $t$  – час, необхідний на перевалку валків в місяць;



$P$  – потужність працюючих двигунів насосів.

Отже,

$$E_w = 50 \cdot 1188 = 59,4 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год.}$$

Тобто, 59,4 тис. кВт·год на рік, або 4,95 тис кВт·год на місяць.

Обираємо для установки регулятор, ціна якого складає 2600 гривень.

2.1.2 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації

Для керування асинхронними двигунами кранових механізмів обираємо частотні перетворювачі фірми Schneider Electric відповідних потужностей. Технічні характеристики перетворювачів зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювачів частоти

№	Кількість, шт.	Тип	Потужність, кВт	Число фаз	Напруга на виході, В	Максимальна вихідна частота, Гц	Вартість, грн.
1	1	ATV212HD550N4	550	3	380	200	868940
2	2	ATV212HD750N4	750	3	380	200	1089340
3	1	ATV61HC1100N4	1100	3	380	500	1956970

Економія електроенергії в установці при використанні в ній регульованого електроприводу з частотним перетворювачем розраховується за

кривими  $W_{ек}^* = f(\lambda, H_{\phi}^*)$ , за якими досить просто, в залежності від значень  $\lambda$  і  $H_{\phi}^*$ , визначається відносна економія електроенергії  $W_{ек}^*$ .

Знаючи відносну економію енергії  $W_{ек}^*$  обчислюється прогнозована економія електроенергії за розрахунковий період.

Визначаємо діапазон зміни подачі потужності за розрахунковий період.

$$\lambda = \frac{Q_m}{Q_{\sigma}}, \quad (3.1)$$

де  $Q_{\sigma}$ ,  $Q_m$  – найбільше і найменше значення за розрахунковий період, кВт.

Відповідно денному графіку споживання:

$$\lambda = \frac{827,15}{1946,45} = 0,43.$$

Визначаємо крутизну характеристики.

$$H_{\phi}^* = \frac{H_{\phi}}{H_{\sigma}}, \quad (3.2)$$

де  $H_{\phi}$  – навантаження двигуна;

$H_{\sigma}$  – потужність, що відповідає найбільшому навантаженню  $Q_{\sigma}$ .

$$H_{\phi}^* = \frac{15}{30} = 0,5.$$

По графіку (рисунок 2.3) визначаємо значення відносної економії енергії.

$$W_{ек}^* = 0,278.$$

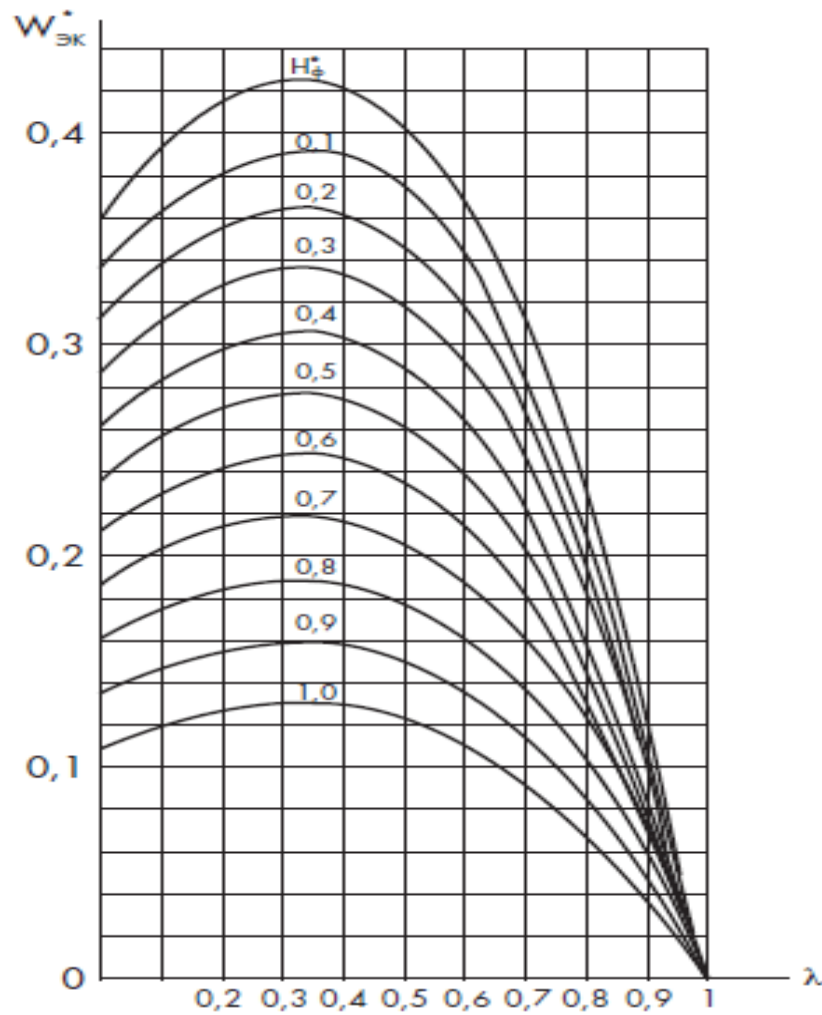


Рисунок 2.3 – Розрахункові криві для кранових агрегатів

Визначаємо приблизну економію електроенергії за рахунок впровадження частотних перетворювачів.

$$W_{ек} = W_{рiч} \cdot \left[ W_{ек}^* \cdot (1 + \xi - \eta_{np}) \right], \quad (3.3)$$

де  $W_{рiч}$  – річне споживання електроенергії, тис. кВт·год;

$\eta_{np}$  – номінальний ККД частотного перетворювача,  $\eta_{np} \approx 0,98$ ;

$\xi$  – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати в електродвигуни,  $\xi = 0,02 \dots 0,03$ .

$$\Delta W_{ек} = 720 \cdot [0,278 - (1 + 0,03 - 0,98)] = 1640,16 \text{ тис. кВт·год}$$

За рахунок рекуперації можна зекономити ще 40% від споживаної енергії за рік, тобто від встановленої потужності 2400 кВт та часу роботи 716 годин на рік.

$$\Delta W_{ек} = 2400 \cdot 716 \cdot 0,4 = 687,4 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год}$$

2.1.3 Розрахунок зниження витрати електричної енергії за рахунок заміни електродвигуна димососу

У мартенівському цеху наявні агрегати завищеної потужності. Необхідна заміна двигунів димососів на двигуни необхідної потужності [28].

Статична потужність електроприводу димососу при максимальній продуктивності може бути розрахована за формулою:

$$P_{ст} = \frac{T_{\max} \cdot V_{\max} \cdot \eta}{102}, \quad (2.16)$$

де  $T_{\max}$  - максимальна продуктивність,

$V_{\max}$  - максимальна швидкість,

$\eta$  - ККД редуктора.

Звідси,

$$P_{ст} = \frac{3100 \cdot 20 \cdot 0,9}{102} = 547 \text{ кВт}.$$

У розрахунку на один двигун це становить 547кВт.

Враховуючи дію динамічної потужності коефіцієнтом запасу який для дводвигунної системи прийнятий рівним 1,1, маємо:

$$P = K_d \cdot P_{ст}. \quad (2.17)$$

Отже,

$$P = 1,1 \cdot 547 = 602 \text{ кВт}$$

На мартенівській печі №2 встановлено 2 двигуна П2ПМ-500-141-4У3 по 315 кВт згідно каталогу на електричні машини.

Двигун 315 кВт працює із завантаженням в 50%, отже його споживана потужність в заданих умовах 160 кВт·год, ККД двигуна дорівнює 0,95.

При заміні даного двигуна на менш потужний 160 кВт він буде завантажений на 100% від номіналу. ККД його так само 0,95.

Втрати потужності електродвигуна 315 кВт на нагрів, втрати в сталі, втрати від намагнічування складають:

$$\Delta P = \frac{P}{\eta} - P, \quad (2.18)$$

де  $P$  – потужність двигуна,

$\eta$  - ККД двигуна.

$$\Delta P_1 = \frac{315}{0,95} - 315 = 16,57 \text{ кВт}.$$

Втрати потужності електродвигуна 160 кВт на нагрів, втрати в сталі, втрати від намагнічування складають:

$$\Delta P_2 = \frac{160}{0,95} - 160 = 8,42 \text{ кВт}.$$

Різниця втрат становить:

$$\Delta p = \Delta P_1 - \Delta P_2, \quad (2.19)$$

де  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  - втрати потужності електродвигуна на нагрів, втрати в сталі, втрати від намагнічування для двигуна 315 та 160 кВт відповідно.

$$\Delta p = 16,57 - 8,42 = 8,14 \text{ кВт.}$$

Економія електроенергії складе 8,14 кВт·год, але, при цьому, двигун з меншою потужністю буде завантажений за номіналом.

Річна економія електроенергії складе:

$$E_w = \Delta p \cdot t, \quad (2.20)$$

де  $\Delta p$  - різниця втрат,

$t$  – час роботи двигунів за рік.

Отже, річна економія складатиме:

$$E_w = 8,42 \cdot 8300 = 69886 \text{ кВт.}$$

Для заміни вибираємо двигун AIP355S6 (AIP 355 S6) 160 кВт. Ціна якого дорівнює 126791 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 160 кВт, а частота обертів - 1000 об/хв. Висота осі обертання (габарит) електродвигуна AIP355 S6 - 355 мм, діаметр валу - 75 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 150°C.

Основні характеристики електродвигуна АІР 355S6 160 кВт:

- виробник - Сібелектромотор;
- країна виробник – Україна;
- тип двигуна – Асинхронний;
- потужність 160,0 (кВт);
- коефіцієнт потужності 0,88;
- частота обертання 1000 (об/хв);
- режими роботи – тривалий;
- система охолодження двигуна – повітряна;
- спосіб монтажу - на лапах;
- ККД не менше 95%;
- габаритні розміри: довжина 1560 (мм), висота 1010 (мм), діаметр 800(мм), діаметр валу 75 (мм).

### 3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МАРТЕНІВСЬКОМУ ЦЕХУ

#### 3.1 Дослідження споживання активної потужності

В ході дослідження споживання активної потужності було зроблено вибір на найбільший споживач електричної енергії у ковальському цеху, це головний привод РКМ-1000. Для отримання повної інформації про роботу радіально кувальної машини РКМ-1000 було проведено дослідження графіків роботи електродвигунів головного приводу.

На рисунку 3.1 показана осцилограма споживання активної потужності електродвигунами головного приводу РКМ-1000 у вересні 2019 році .

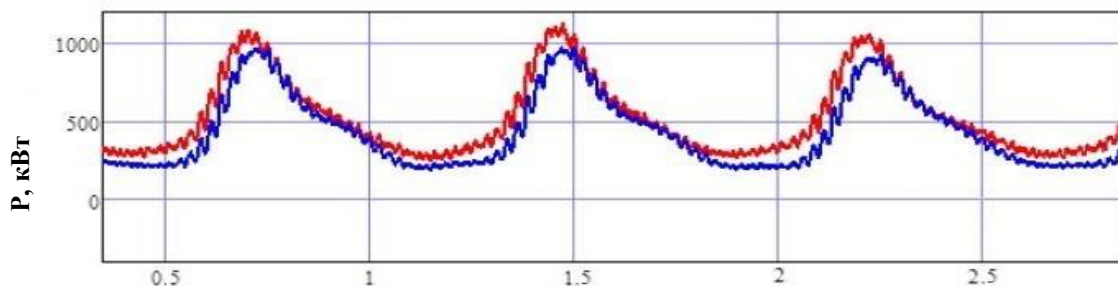


Рисунок 2.18 – Час роботи  $t, c$  ваємої активної потужності електродвигунами головного приводу РКМ-1000.

Виміряні данні показали наявність вищих гармонік від роботи машини. Було виявлено що коефіцієнти гармонічних складових  $Ku_5 = 5\%$  та  $Ku_7 = 4,2\%$ , що перевищують встановлені ГОСТ[6]  $4\%$  та  $3\%$  відповідно. Це призводить до щорічних збитків від скорочення строку служби ізоляції електродвигунів. Виміри було зроблено аналізатором якості електричної енергії (прилад типу Elspec G4500).

Проблема нелінійності напруги обумовлена наявністю нелінійних імпедансів та перемикаючих елементів у системі. Поточні хвилі таких



елементів не є суто синусоїдальними і вони містять компоненти вищих гармонік. Зварювальні пристрої, дугові печі, напівпровідникові перетворювачі (випрямлячі, інвертори) є типовими джерелами вищих гармонік.

Робота цих пристроїв супроводжується низкою негативних наслідків: додаткові втрати потужності та додаткове нагрівання в каналах, трансформаторах, роторних машинах, конденсаторних батареях, що призводить до прискореного старіння ізоляції електричних машин, приладів та кабелів, тобто зменшення надійності та терміну служби приладів та обладнання. Крім того, погіршується точність електричних вимірювань (наприклад, лічильників електроенергії), виникають перебої в роботі автоматики, мікропроцесорних систем управління та релейного захисту. У безпосередній близькості від таких споживачів практично неможливо використовувати телекомунікаційні лінії та пристрої передачі інформації.

Вплив гармонік на електричні пристрої. Загальні положення. Ступінь, до якої можна допустити гармоніки, визначається сприйнятливістю навантаження (або джерела живлення) до них. Найменш чутливий тип обладнання - це той, в якому основний елемент нагрівний, як у духовці або в печі. У цьому випадку енергія гармонік зазвичай використовується і, отже, цілком допустима. Найбільш сприйнятливим видом обладнання є те, чий дизайн або конституція передбачає (майже) досконалий синусоїдальний фундаментальний ввід. Це обладнання часто відноситься до категорій обладнання для зв'язку або обробки даних. Тип навантаження, який звичайно падає між цими двома крайнощами сприйнятливості, є навантаження двигуна. Більшість моторних навантажень відносно терпимі до гармонік. Навіть у випадку найменш чутливого обладнання гармоніки можуть бути шкідливими.

Наприклад, у випадку печі, електродвигуна вони можуть викликати діелектричне термічне або вольтаїчне навантаження, що спричиняє передчасне старіння електричної ізоляції.

Двигуни та генератори. Основним ефектом гармонічних напруг та струмів в обертальній машині (індукційна і синхронна) є збільшення обігріву через втрати в сталі і міді на частотах гармонік. Таким чином, гармонічні компоненти впливають на ефективність машини, а також можуть впливати на розвинений крутний момент. Гармонічні струми в двигуні можуть викликати вищу звукоізоляцію в порівнянні з синусоїдальним збудженням. Гармоніки також створюють результуючий розподіл потоку в повітряному проміжку, що може спричинити або посилити явища, які називаються зусиллями (відмова плавно розпочинати) або повзання (дуже високі ковзання) в асинхронних двигунах[7]. Гармонічні пари, такі як п'ята та сьома гармоніки, мають потенціал для створення механічних коливань у комбінації турбогенераторів або в системі електроприводу. Механічні коливання призводять до коливань, викликаних взаємодією гармонічних струмів і основного частотного магнітного поля, збуджують механічну резонансну частоту. Наприклад, п'ята та сьома гармоніки можуть поєднуватись і утворити торсійний подразник на генераторі ротора на шостій частоті гармоніки. Якщо частота механічного резонансу близька до частоти електричного подразника, можуть бути створені механічні силові напруги.

Трансформатори. За винятком того, що гармоніки, що стосуються трансформаторів, можуть призвести до збільшення звукового шуму, вплив на ці компоненти зазвичай стає таким, що виникають при паразитичному нагріванні. Ефект гармонік на трансформатори має подвійний характер: струмові гармоніки зумовлюють збільшення втрат в міді та втрати напружених потоків, а гармоніки напруги викликають збільшення втрат в сталі. Загальний ефект - збільшення обігріву трансформатора, порівняно з чисто синусоїдальною (фундаментальною) роботою[7].

Силові кабелі. Кабелі, задіяні в системному резонансі можуть піддаватися напрузі стресу та короні, що може призвести до несправності ізоляції. Кабелі, які піддаються "звичайному" рівню гармонічного струму, схильні до нагрівання.

Потік несинусоїдального струму в провіднику призведе до додаткового нагрівання і більше, ніж очікується, для середньоквадратичного значення хвильової форми. Це пов'язано з двома явищами, відомими як "шкірний ефект" та "ефект близькості", обидва змінюються залежно від частоти, а також від розміру та інтервалу провідників. В результаті цих двох ефектів, ефективна опір змінного струму,  $R_{AC}$ , піднімається вище постійного опору,  $R_{DC}$ , особливо для більших провідників. Коли сигнал струму, багатий високочастотними гармоніками, протікає в кабелі, еквівалентний  $R_{AC}$  для кабелю піднімається ще вище, посилюючи втрату  $I^2 R_{AC}$ [7].

Основною проблемою, пов'язаною з використанням конденсаторів в енергетичній системі, є можливість системного резонансу. Цей ефект накладає напругу та струми, які значно вищі, ніж це було б без резонансу. Реактивна потужність конденсаторного банку зменшується з частотою, і тому банк виступає як раковина для вищих струмів гармоніки. Цей ефект збільшує нагрівання та діелектричні стреси. Часте перемикання нелінійних магнітних компонентів (наприклад, сталюого сердечника), таких як трансформатори та реактори, може призвести до гармонічних струмів, які додадуть до навантаження конденсаторів[8]. Результатом підвищеного нагрівання та напруги, викликаного гармонікою, є скорочення часу роботи конденсатора.

Електронне обладнання. силове електронне обладнання вразливе до неправильної роботи, викликаного гармонічним спотворенням. Це обладнання часто залежить від точного визначення нульових перетинів напруги або інших аспектів форми хвилі напруги. Гармонічне спотворення може спричинити зміну перетину нуля напруги або точку, в якій одна фаза напруги стає більше, ніж інша фаза напруги. Це обидва критичні моменти для багатьох типів елементів керування електронною схемою, а також може спричинити неправильне використання цих змін[7]. Інші види електронного обладнання можуть впливати на передачу гармонік через джерело живлення обладнання або шляхом магнітного з'єднання гармонік у компоненти

обладнання. Комп'ютери та супутні пристрої, такі як програмовані контролери, часто потребують джерел змінного струму, які мають не більше 5% гармонічного коефіцієнта викривлення напруги, причому найбільша одинична гармоніка становить не більше 3% фундаментальної напруги. Вищий рівень гармонік призводить до нестабільностей, іноді гострих, несправностей обладнання, які в деяких випадках можуть мати серйозні наслідки. Інструменти можуть бути схожими на аналіз, надаючи помилкові дані або інакше виконуючи непередбачувані дії. Можливо, найбільш серйозними з них є нелінійні функції в медичних інструментах. Отже, багато медичних інструментів забезпечуються лінійно зумовленою потужністю. Менш драматичні ефекти інтерференції гармонік іноді можуть спостерігатися в радіо- та телевізійному устаткуванні.

Вимірювання. На вимірювання та вимірювальні прилади впливають гармонічні компоненти, особливо якщо існують резонансні умови, що приводять до високих гармонічних напруг і струмів на ланцюгах. Індукційні дискові пристрої, такі як ватові лічильники, зазвичай бачать лише основний струм; однак фазовий дисбаланс, спричинений гармонічними спотвореннями, може спричинити помилкове функціонування цих пристроїв[9-13]. Дослідження показали, що можливі позитивні та негативні помилки при наявності гармонічних спотворень залежно від типу вимірювального приладу та пов'язаних гармонік. Загалом коефіцієнт спотворення повинен бути суттєвим ( $> 20\%$ ), перш ніж виявляться значні похибки. Прилади-трансформатори 60 Гц, які використовуються як для вимірювання, так і ретрансляції, не впливають на звичайні рівні гармонік.

Щоб встановити справжній вплив та рівень вищих гармонік, необхідно провести їх електричні вимірювання [7-9]. Для цього необхідно використовувати спеціальні вимірювальні прилади, які чутливі до спектру вищих гармонік. Ці вимірювання проводяться як за допомогою безпосереднього апаратного аналізу самого процесу, здійснюючи це шляхом використання сучасних приладів-аналізаторів або ж проводити обробку

попередньо зробленого запису процесу. Найчастіше для таких вимірів використовують шлейфові осцилографи та пристрої магнітного запису. Слід зазначити, що для систем електропостачання, в яких велика доля споживаної потужності [10-11] припадає на нелінійні споживачі, що працюють постійно, доцільно використовувати не звичайні прилади контролю параметрів електричної мережі, які розраховані для зчитування значень струмів та напруг частотою 50 Гц, а прилади, чутливі до більш широкого спектру частот. Ця рекомендація пов'язана з тим, що звичайні прилади не здатні уловлювати струми вищих гармонік, а через це будуть показувати значення менші, ніж ті, які насправді діють в мережі.

Для усунення 5-ї та 7-ї гармоніки було запропоновано підключення до мережі розподільчого пристрою РП-6кВ радіально кувальної машини РКМ-1000 на кожний електродвигун потужністю 630 кВт фільтр ФСГ-3 налаштований на 5-у та 7-у гармоніки. При цьому 7-а гармоніка зменшиться до 5% від попереднього значення.

На рисунку 3.2 показан зовнішній вигляд фільтру ФСГ-3.



Рисунок 3.2 – зовнішній вигляд фільтру ФСГ-3

Пристрій ФСГ-3 представляє собою набір резонансних контурів. Вони значно зменшують виникаючі під дією нелінійного навантаження

несинусоїдальні спотворення. Важливим фактором ефективності пристрою є його здатність генерувати реактивну потужність на основній частоті.

Пристрої в шафовому виконанні більш компактні, оснащені за замовчуванням ступенем захисту IP21. Вони складаються з осередків введення, конденсаторних осередків, реакторних осередків. Осередки введення обладнані вступним апаратом і апаратурою РЗіА. Кількість конденсаторних осередків варіюється в залежності від модифікації фільтра. Реакторні осередки призначені для розміщення реакторів фільтрових, оснащених металевими сердечниками.

На рисунку 3.3 зображена схема підключення фільтра ФСГ-3 у розподільчому пристрою РП-6кВ.

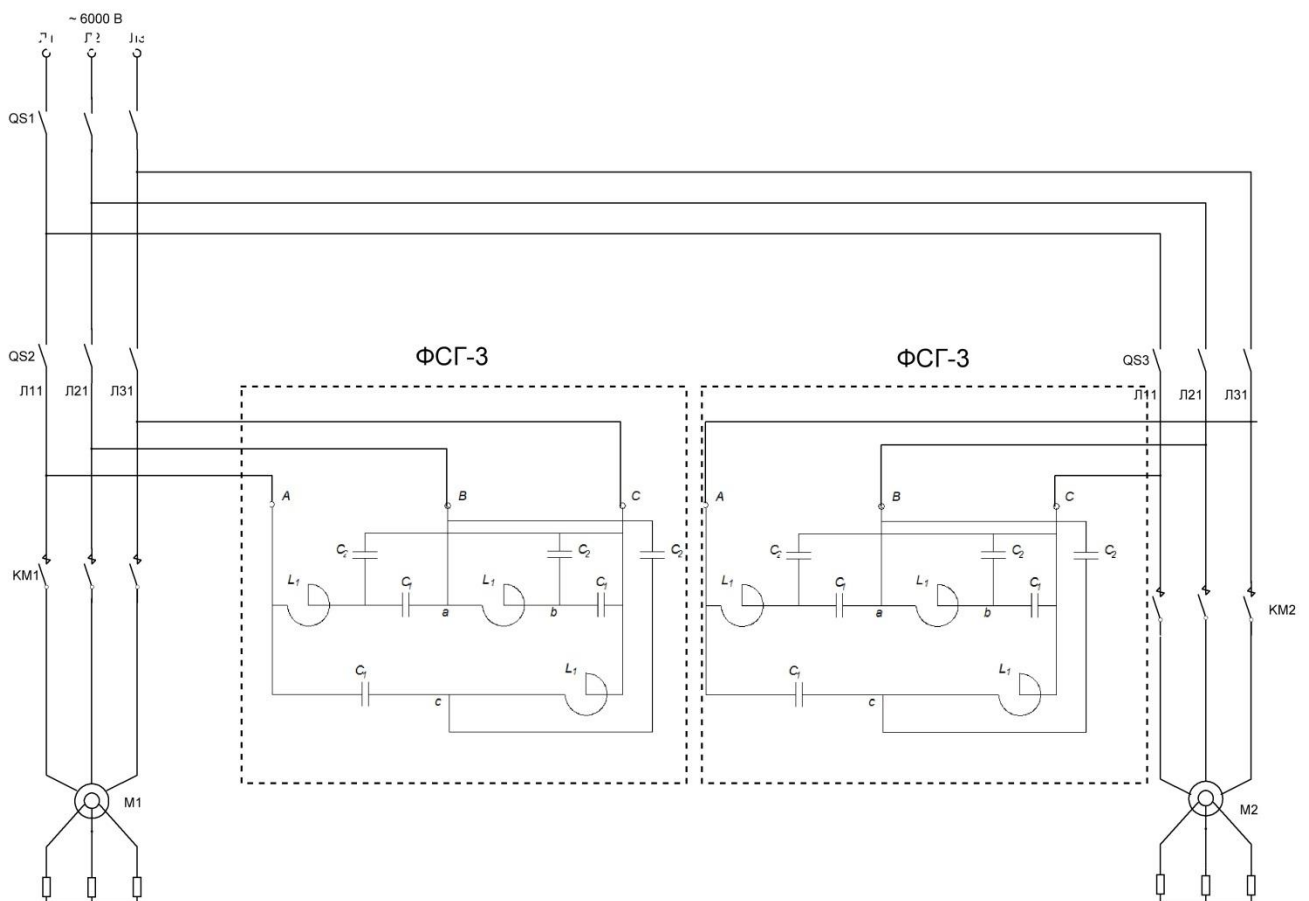


Рисунок 3.4 – зображена схема підключення фільтра ФСГ-3 у розподільчому пристрою РП-62

На рисунку 3.4 видно як підключені фільтри до силових колів схеми.

На рисунку 3.5 зображено графік роботи електродвигунів після встановлення фільтрів зниження гармонік.

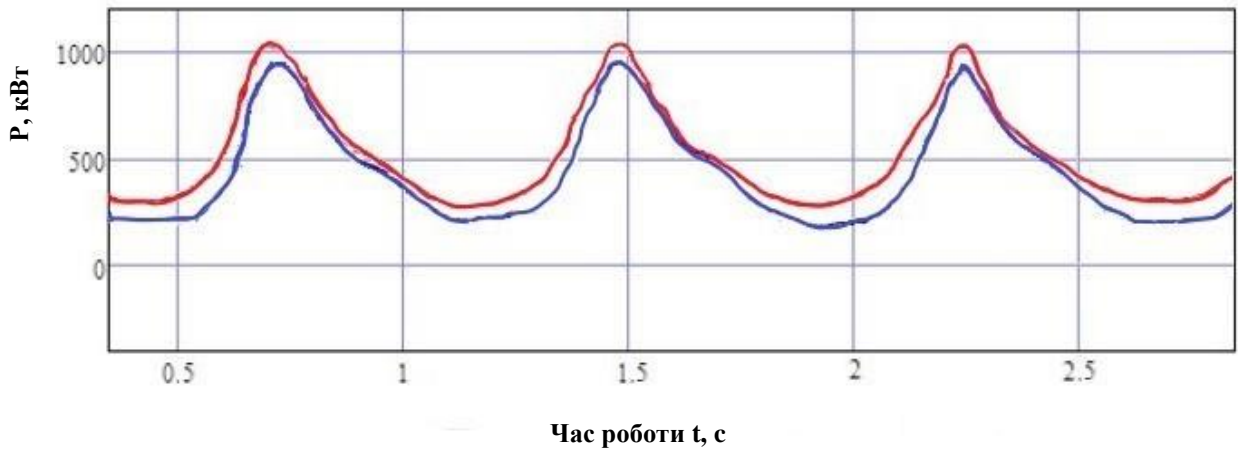


Рисунок 3.5 – графік роботи електродвигунів після встановлення фільтрів зниження гармонік

На рисунку 3.5 видно як зменшилися гармоніки на обох графіках.

### 3.2 Автоматизація РКМ-1000

В ході дослідження графіків роботи обладнання ковальського цеху були виявлено резерви економії. Це праця насосної РКМ-1000 та насосна оборотного циклу. На даний момент оборотний цикл забезпечує охолодження механізмів лише агрегат РКМ-1000. Інше обладнання переведено на інше джерело забезпечення. Це технічна вода енергосилового цеху. Відсутність автоматики роботи насосних дає втрати електроенергії в той час коли їх робота непотрібна. Було створено графік роботи РКМ-1000 та обладнання яке з ним працює. В таблиці 3.1 наведено потужність обладнання від КТП-230 з урахуванням коефіцієнту одночасності роботи механізмів.

Таблиця 3.1 – Потужність обладнання від КТП-230 з урахуванням коефіцієнту одночасності роботи механізмів

Найменування	Потужність,кВт
РКМ-1000	490
Верстат ГД-146	130,9
Дутєві вентилятори	27,6
Кільцеві пічі	42,5
Насосна РКМ-1000	28,4
Оборотний цикл	80

Визначемо потужність обладнання  $P_n$ .

Коли працює РКМ-1000 то працюють верстат ГД-146, дутєві вентилятори, кільцеві пічі, насосна РКМ-1000, оборотний цикл.

Сумарна потужність обладнання під час роботи машини РКМ-1000

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6, \quad (3.1)$$

де  $P_1$  – потужність обладнання РКМ-1000, кВт;

$P_2$  – потужність обладнання верстату ГД-146, кВт;

$P_3$  – потужність обладнання дутєвих вентиляторів, кВт;

$P_4$  – потужність обладнання кільцевих печей, кВт;

$P_5$  – потужність обладнання насосної РКМ-1000, кВт;

$P_6$  – потужність обладнання оборотного циклу, кВт.

$$\Sigma P = 490 + 130,9 + 27,6 + 42,5 + 28,4 + 80 = 799,4 \approx 800 \text{ кВт.}$$



Коли РКМ-1000 не працює повинні в роботі залишатися тільки дут'єві вентилятори, які приблизно споживають 28 кВт, але коли працюють насосні то потужність вже приблизно 136 кВт. Привищення в 5 разів.

Сумарна потужність обладнання під час коли машина РКМ-1000 не працює

$$\Sigma P = P_3 + P_5 + P_6, \quad (3.2)$$

$$\Sigma P = 27,6 + 28,4 + 80 = 136 \text{ кВт.}$$

Коли РКМ-1000 не працює довгий проміжок часу то навантаження на КТП-230 витрачається тільки на освітлення приміщень, приблизно 10кВт.

Запропоновано впровадирте схему автоматики роботи насосних РКМ-1000 та оборотного циклу.

На рисунках 3.6-3.8 зображена схама автоматики роботи насосних РКМ-1000 та оборотного циклу.

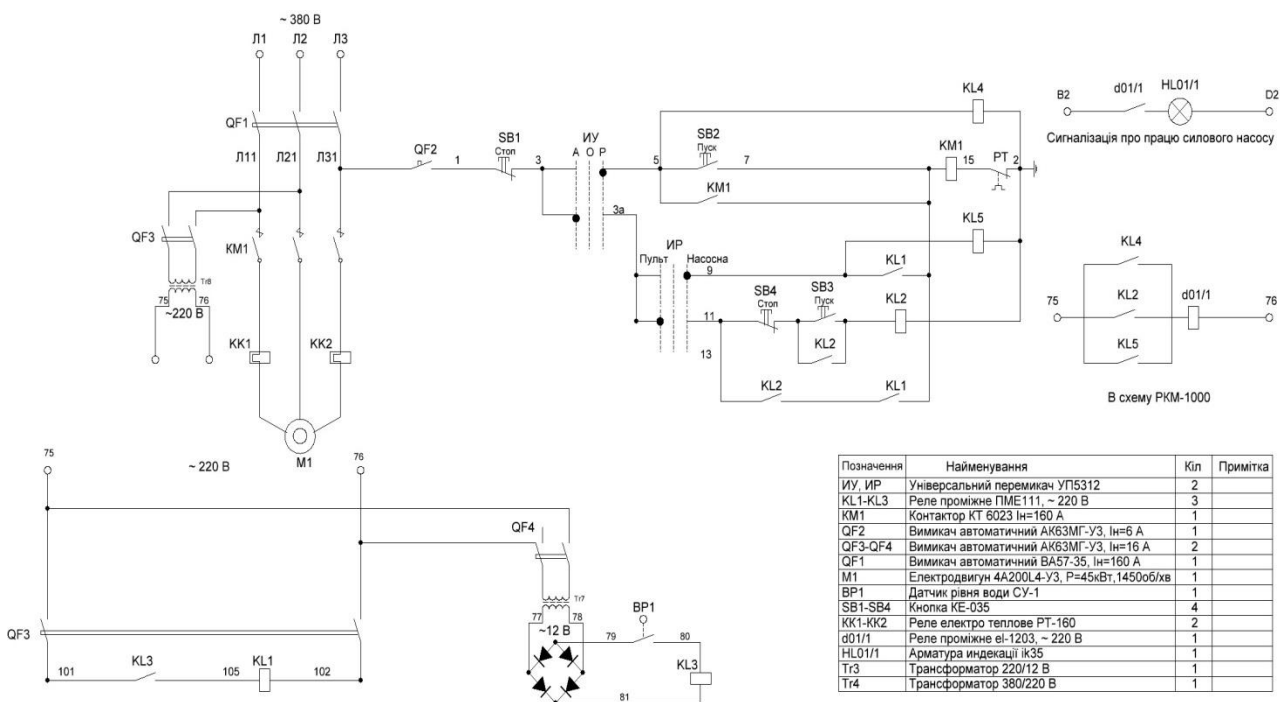


Рисунок 3.6 – Схема насосної РКМ-1000

В схему добавлені проміжні реле KL-2, KL4, KL-5, d01/1, кнопки SB3, SB4 та перемикач IP.

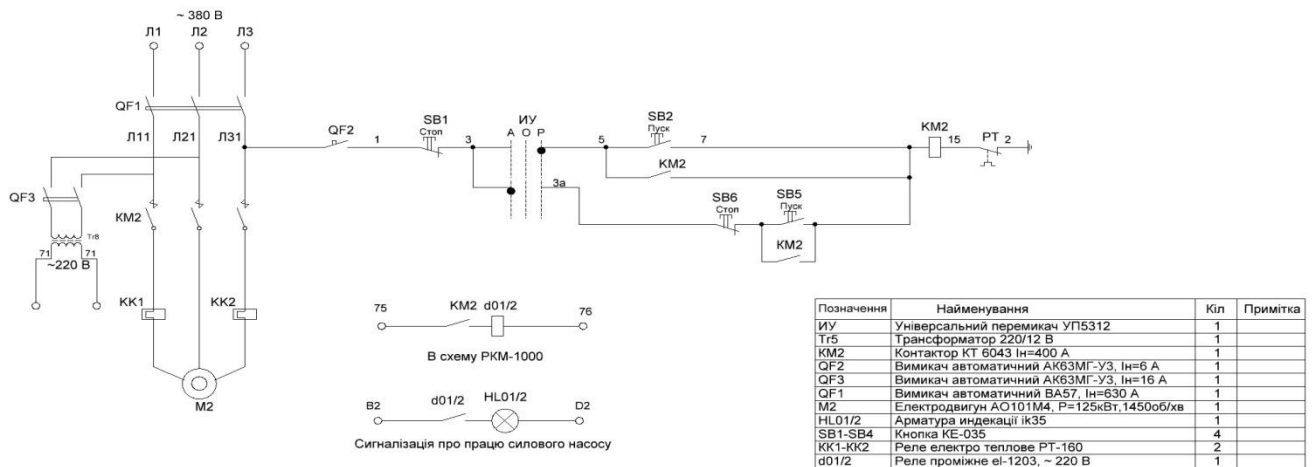


Рисунок 3.7 – Схема насосної оборотного циклу

В схему добавлені проміжні реле d01/2, кнопки SB5, SB6.

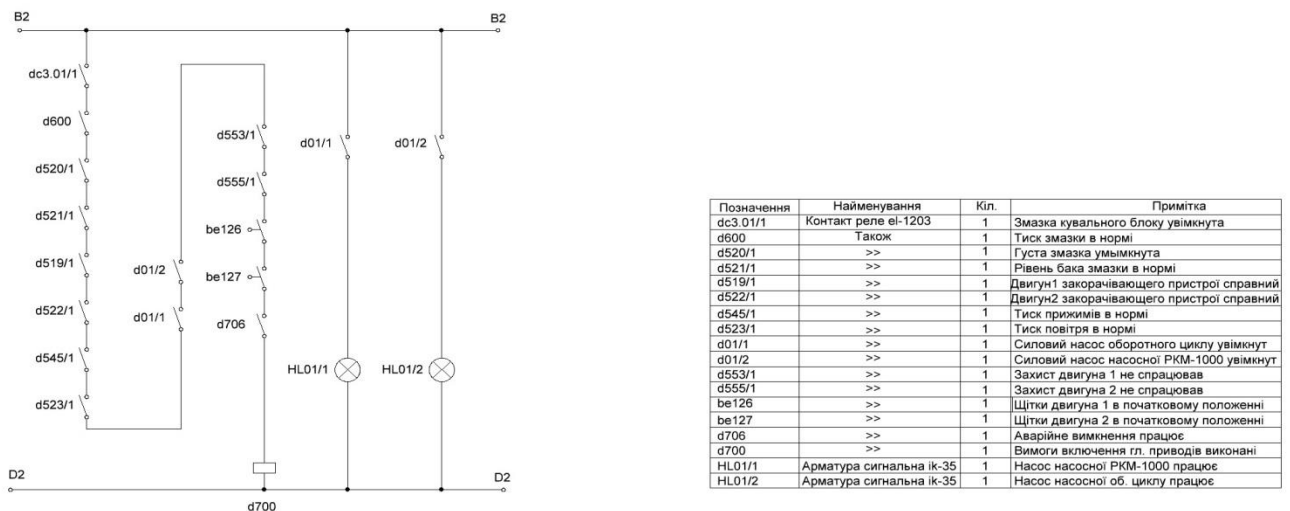


Рисунок 3.8 – Схема автоматики РКМ-1000

В схему добавлені контакти реле реле d01/1, d01/2, та сигнальні лампи кнопки HL1, HL2.

Схема роботи насосної РКМ-1000. Насосна РКМ-1000 потрібна для повернення води пройдену через систему охолодження масла чотирьох баків масла гідравліки (загальним обсягом 16 тон), та систему охолодження електро двигунів головного приводу РКМ-1000 потужністю 630 кВт кожен, з кісону, в басейн оборотного циклу. Насосна має три силових насоси з

електродвигунами типу 4A200L4 потужністю 45кВт. Один насос постійно в роботі, інші два в резерві. Насос працює у двох режимах: робочому та автоматичному. У робочому режимі перекачування води виконується робітником на посту управління. У автоматичному режимі перекачування виконується при спрацюванні датчика відмітки верхнього рівня та припиняється при спрацюванні датчика нижнього рівня.

Вибір режиму здійснюється перемикачем режимів, яких 3. Перший режим – «нульовий режим». Другий режим – «робочий режим». Третій режим – «автоматичний режим».

Схема роботи насосної оборотного циклу. Насосна оборотного циклу потрібна для перекачування води зі свого басейну в систему охолодження масла чотирьох баків масла гідравліки (загальним обсягом 16 тон), та систему охолодження електродвигунів головного приводу РКМ-1000 потужністю 630 кВт кожен, в кісон насосної РКМ-1000. Потім вода повертається знову в басейн оборотного циклу. Насосна має два силових насоси з електродвигунами типу АО101М4 потужністю 125 кВт. Один насос постійно в роботі, інший в резерві. Насос працює в одному режимі – робочому. У робочому режимі перекачування води виконується робітником на посту управління.

Схема автоматики насосної РКМ-1000 та оборотного циклу.

Виконуєм вмикання силових автоматичних вимикачів QF1 силових ланцюгів та QF2, QF3 оперотивного схеми насосних. Для насосної РКМ-1000 вмикаєм автоматичний вимикач QF4 апаратури КВПіА (контрольно-вимірювальної апаратури і автоматики). В насосній РКМ-1000 перемикач ИУ вмикається в положення «автоматично», перемикач ИР в положення «Пульт». В насосній оборотного циклу перемикач ИР в положення «Пульт». Виконані дії до насосних є підготовка управління роботи від РКМ-1000. На пульту машини для запуску автоматики потрібно увімкнути кнопки SB3 та SB5, які своїми нормально розімкнутими контактами увімкнуть проміжні реле KL2 та KM2 а вони в свою чергу увімкнуть реле d01/1 та d01/2. Сигналізація на пульту,

лампи HL01/1 та HL01/2 на РКМ-1000 сповіщає що автоматика працює. В аварійному випадку коди автоматика відключеться система захисту РКМ-1000 як і у інших окремих випадках сигналізуватиме спрацювання відключення автоматики та дасть можливість закінчити ковку до усунення неполадки.

Середня потужність за добу електроспоживачів КТП-230

$$\Sigma P_{cp} = \Sigma P \cdot t_{np} / t_{\partial}, \quad (3.3)$$

де  $t_{np}$  – кількість годин праці РКМ-1000 за добу, год.;  $t_{np} = 19,5$  год;

$t_{\partial}$  – кількість годин за добу, год.;  $t_{\partial} = 24$  год.

$$\Sigma P_{cp} = 800 \cdot 19,5 / 24 = 676 \text{ кВт.}$$

В таблиці 3.2 зображено інші розрахунки для споживачів КТП-230.

Таблиці 3.2 – Середня потужність споживачів КТП-230 при роботі РКМ-1000

День місяця	Кількість годин праці РКМ-1000 за добу	Середня потужність споживачів КТП-230, кВт	
		До впровадження автоматики	Після впровадження автоматики
1	2	3	4
1	19,5	676	655
2	19,5	676	655
3	19,5	676	655
4	19,5	676	655
5	19,5	676	655

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
6	19,5	676	655
7	6,5	316	655
8	19,5	676	237
9	19,5	676	655
10	19,5	676	655
11	10	413	655
12	19,5	676	350
13	15,5	565	655
14	16,5	593	527
15	19,5	676	559
16	0	108	655
17	0	108	10
18	0	108	10
19	0	108	10
20	0	108	10
21	0	108	10
22	0	108	10
23	0	108	10
24	19,5	676	10
25	19,5	676	655
26	6,5	316	655
27	19,5	676	237
28	19,5	676	655

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
29	0	136	655
30	0	136	28

Втрати електроенергії за добу електроспоживачів КТП-230

$$\Delta W_{\delta} = K_{\text{од}} \cdot \Delta P \cdot t_{\text{пр}}, \quad (3.4)$$

$$\Delta W_{\delta} = 0,7 \cdot 26,61 \cdot 19,5 = 841 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

В таблиці 3.3 зображено інші розрахунки для споживачів КТП-230.

Таблиці 3.3 – Середні втрати електроенергії за добу споживачами КТП-230 при роботі РКМ-1000

День місяця	Кількість годин праці РКМ-1000 за добу	Втрати потужності за добу споживачів КТП-230, кВт · год	
		До впровадження автоматики	Після впровадження автоматики
1	2	3	4
1	19,5	841	814
2	19,5	841	814
3	19,5	841	814
4	19,5	841	814
5	19,5	841	814
6	19,5	841	814
7	6,5	428	324

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
8	19,5	841	814
9	19,5	841	814
10	19,5	841	814
11	10	539	456
12	19,5	841	814
13	15,5	714	664
14	16,5	746	701
15	19,5	841	814
16	0	142	48
17	0	142	48
18	0	142	48
19	0	142	48
20	0	142	48
21	0	142	48
22	0	142	48
23	0	142	48
24	19,5	841	814
25	19,5	841	814
26	6,5	428	324
27	19,5	841	814
28	19,5	841	814
29	0	221	79
30	0	221	79

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
Всього	347,5	17 048	15 221

На рисунку 3.9 зображено середнє споживання підстанції КТП-230 в продовж місяця до та після впровадження автоматики на насосній РКМ-1000 та оборотного циклу.

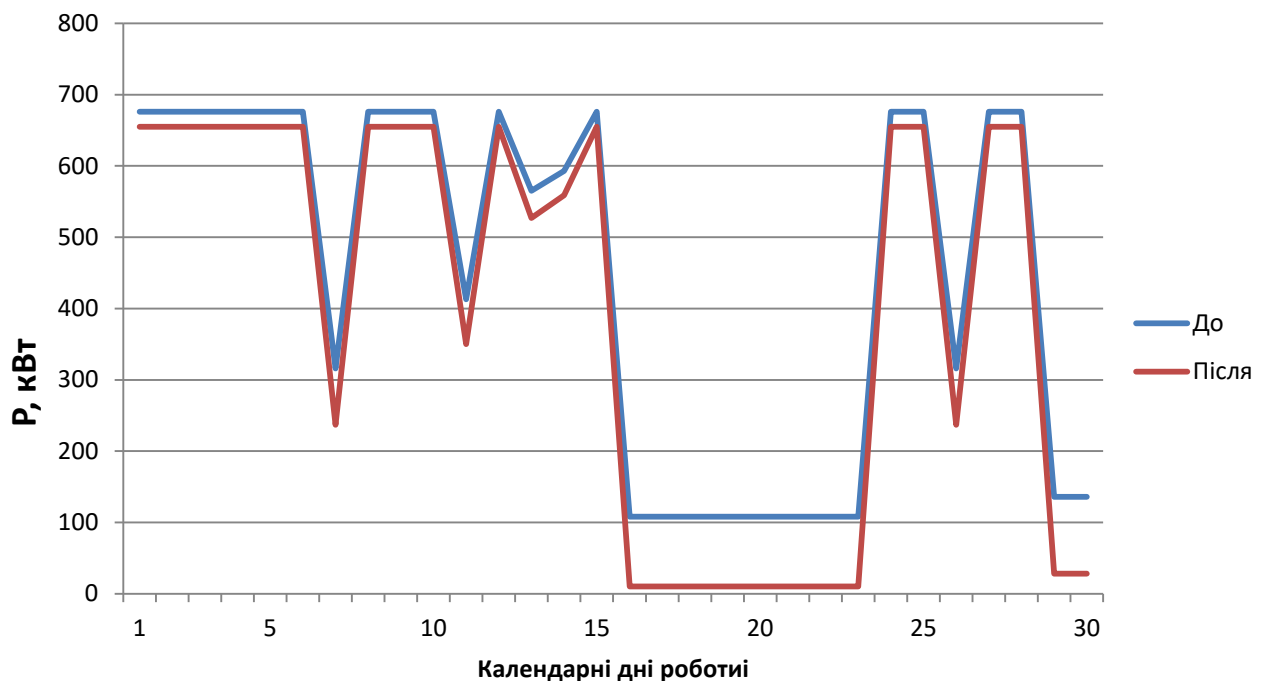


Рисунок 3.9 – Середнє споживання підстанції КТП-230 в продовж місяця до та після впровадження автоматики на насосній РКМ-1000 та оборотного циклу

З рисунку 3.9 видно що найменше навантаження підстанції КТП-230 коли більш простоїв обладнання.

На рисунку 3.10 зображено середні втрати електричної енергії підстанції КТП-230 в продовж місяця до та після впровадження автоматики на насосній РКМ-1000 та оборотного циклу.



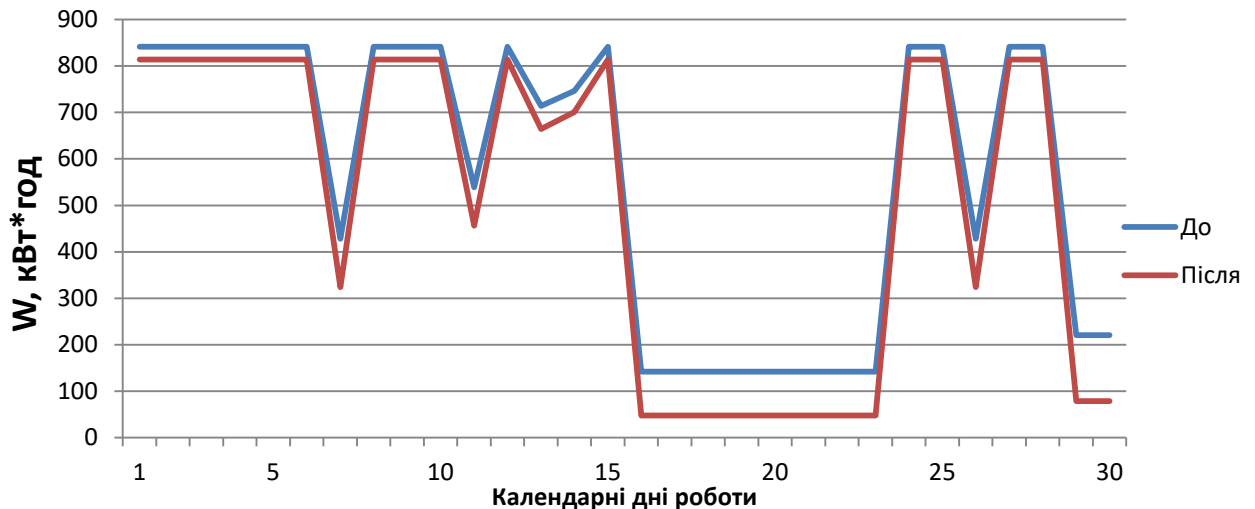


Рисунок 3.10 – середні втрати електричної енергії підстанції КТП-230 в продовж місяця до та після впровадження автоматики на насосній РКМ-1000 та оборотного циклу

3.3 Заходи щодо зниження споживання активної потужності електродвигунами головного приводу РКМ-1000 RV-602/8-6б потужністю 630кВт

Як було сказано у розділі 2.7 агрегат РКМ-1000 має 4 електродвигуни потужністю 630 кВт, два яких знаходяться в роботі а інші два в резерві. З таблиц 2,19-2,24 видно що найгірші характеристики роботи мають електродвигуни з ремонтними номерами А05-73(1985 року), А05-74 (1985 року), А05-231 (1992 року). Кожен двигун мав велику кількість ремонтів і за роки праці втратив свої початкові характеристики. Найкращім електродвигуном є А05-289 (2007 року), який мало перебував в роботі, тому залишився з первинними характеристиками.

Було запропоновано купити електродвигун RV-602/8-6b потужністю 630кВт. який коштує 5 600 000 грн до працюючого А05-289. Характеристики обох двигунів показані у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Робота двигунів РКМ-1000 на холостому ході А05-289 та новий

Найменування	Позначення	Од. виміру	Головний привід №1		Головний привід №2	
			Значення	%	Значення	%
Діюче значення струму	I	А	28,3	35,8	28,3	35,8
Максимальне значення струму	I <sub>max</sub>	А	30,1	38,1	30,1	38,1
Середнє значення активної потужності, споживаної з мережі	P <sub>cp</sub>	кВт	291,2	46,2	291,2	46,2
Повна потужність	S	кВА	312,3	----	312,3	----
Реактивна потужність	Q	кВАр	118	----	118	----
Коефіцієнт потужності	cosφ	о.е	0,93	----	0,93	----

З розділу 2.7 видно що найкращій варіант роботи електродвигунів головного приводу РКМ-1000 це варіант №1. Інші варіанти мають більшу потужність.

Середня потужність обох електродвигунів

$$\Sigma P_{cp(вар 1)} = P_{cp1} + P_{cp2}, \quad (3.5)$$

$$\Sigma P_{cp(вар 1)} = 403,4 + 302,7 = 706,1 \text{ кВт.}$$

Середня потужність електродвигуна А05-289 та нового

$$\Sigma P_{cp(вар нов)} = 291,2 + 291,2 = 582,4 \text{ кВт.}$$

Різниця навантажень між найкращим варіантом розташування двигунів та новим

$$\Delta P_{cp} = P_{cp(вар 1)} - P_{cp(вар нов)}, \quad (3.6)$$

$$\Delta P_{cp} = 706,1 - 582,4 = 123,7 \text{ кВт.}$$

Новий варіант має меншу сумарну потужність на 123,7 кВт.

3.4 Техніко-економічне обґрунтування заходів зі зменшення втрат електричної енергії

Розрахунок щорічних збитків від скорочення служби ізоляції електродвигунів головного привода РКМ-1000 визначається за формулою [14]

$$З = (250 \cdot T \cdot \Delta P_{ном} + 4K) \sum_{5,7} \frac{U_v^2}{V \sqrt{V}} \cdot \beta, \quad (3.7)$$

де  $T$  – кількість годин праці на рік, тис.год;  $T=6,574$  тис.год;

$\Delta P$  – втрати потужності електродвигуна, кВт;

$K$  – вартість електродвигуна, тис.грн.

$U_\nu$  – діюче значення напруги  $\nu$  напруги гармоніки, кВ;

$U_5$  – напруга 5-ї гармоніки[6], кВ;  $U_5=0,3$ кВ;

$U_7$  – напруга 7-ї гармоніки[6], кВ;  $U_7=0,252$ кВ;

$\beta$  – частка у.о до ціни за 1 кВт · год, грн.

Втрати потужності електродвигуна

$$\Delta P = P - ( P \cdot \eta ), \quad (3.8)$$

де  $\eta$  – ккд електродвигуна, в.о;  $\eta=0,94$ ;

$P$  – потужність електродвигуна, кВт;  $P=630$  кВт.

$$\Delta P = 630 - ( 630 \cdot 0,94 ) = 33,39 \text{ кВт.}$$

частка у.о до ціни за 1 кВт · год

$$\beta = \frac{1\$}{T_w}, \quad (3.9)$$

$$\beta = \frac{24,5}{2,45} = 10 \text{ грн.}$$

$$Z = ( 250 \cdot 6,574 \cdot 33,39 + 4 \cdot 5600 ) \cdot \left( \frac{0,3^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{0,252^2}{7 \cdot \sqrt{7}} \right) \cdot 10 = 20\,570 \text{ грн/рік.}$$

Щорічні збитки від скорочення служби ізоляції одного електродвигуна 20 570 грн/рік.

В розрахунку 3 буде дорівнювати річній економії експлуатаційних витрат -  $E_p$ .

Ціна одного фільтру типу ФСГ-3 складає 51 400 грн.

Капітальні витрати на закупку обладнання

$$K=2 \cdot C_{об}, \quad (3.10)$$

де  $C_{об}$  – ціна закупки обладнання, грн.

$$K=2 \cdot 51\,400 = 102\,800 \text{ грн.}$$

Срок окупності капітальних витрат

$$T_{ок} = K/E_p, \quad (3.11)$$

де  $E_p$  – Річна економія експлуатаційних витрат, грн.

$$T_{ок} = 102\,800 / (2 \cdot 20\,570) = 2,5 \text{ років.}$$

Місячні втрати електричної енергії до впровадження автоматики РКМ-1000 розглянуті в розділі 3.2 визначаються

$$\Delta W_{м(до)} = \Delta W_{\delta 1} + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_{30}, \quad (3.12)$$

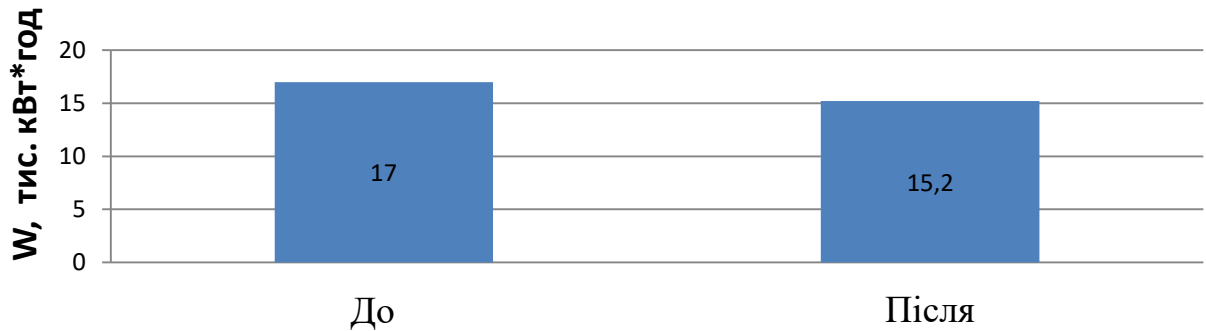
$$\Delta W_{м(до)} = 841 + 841 + \dots + 221 = 17\,048 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Місячні втрати електричної енергії після впровадження автоматики РКМ-1000 розглянуті в розділі 3.2 визначаються

$$\Delta W_{m(\text{після})} = \Delta W_{\partial 1} + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_{30}, \quad (3.13)$$

$$\Delta W_{m(\text{після})} = 814 + 814 + \dots + 79 = 15\,221 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

На рисунку 3.11 зображено втрати електричної енергії до після впровадження автоматики РКМ-1000



Рисунку 3.11 – втрати електричної енергії до після впровадження автоматики РКМ-1000

Річні втрати електричної енергії до впровадження автоматики РКМ-1000

$$\Delta W_{p(\text{до})} = 12 \cdot \Delta W_{m(\text{до})}, \quad (3.14)$$

$$\Delta W_{p(\text{до})} = 12 \cdot 17\,048 = 501\,202 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річні втрати електричної енергії після впровадження автоматики РКМ-1000

$$\Delta W_{p(\text{після})} = 12 \cdot \Delta W_{m(\text{до})}, \quad (3.15)$$

$$\Delta W_{p(\text{після})} = 12 \cdot 15\,221 = 447\,498 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна економія електричної енергії після впровадження автоматики РКМ-1000

$$\Delta W_{p(\text{екон})} = \Delta W_{p(\text{до})} - \Delta W_{p(\text{після})}, \quad (3.16)$$

$$\Delta W_{p(\text{екон})} = 501\,202 - 447\,498 = 53\,714 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна економія у відсотках

$$\Delta W_{p(\text{екон})}(\%) = ((\Delta W_{p(\text{до})} - \Delta W_{p(\text{після})}) - 1) \cdot 100, \quad (3.17)$$

$$\Delta W_{p(\text{екон})}(\%) = ((501\,202 - 447\,498) - 1) \cdot 100 = 11,8\%$$

Втрати електричної енергії зменшаться на 11,8%.

Після встановлення нового електродвигуна на головний привод РКМ-1000 як зазначалося у розділі 3.3 і розрахувавши зменшення середньої потужності на 123,7 кВт економія електроенергії за рік складає

$$W = \Delta P_{cp} \cdot T_p, \quad (3.18)$$

$$W = 123,7 \cdot 6574 = 813\,204 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість електроенергії за рік,

$$C_{el} = W \cdot T_w, \quad (3.19)$$

$$C_{ел} = 813\,204 \cdot 2,45 = 1\,992\,349 \text{ грн.}$$

Знаючи вартість електродвигуна у 5 600 000 грн отримуємо термін окупності нового двигуна

$$T_{ок} = 5\,600\,000 / 1\,992\,349 = 2,8 \text{ роки.}$$

Термін окупності нового електродвигуна 2,8 роки.



#### 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАРТЕНІВСЬКОГО ЦЕХУ

Питання енергозбереження та енергоефективності з кожним роком стають все більш актуальними. При цьому напрямок викликає інтерес не тільки у держави та власників бізнесу, а також у представників простих домогосподарств.

Цьому служать ряд причин: - дефіцит і постійне зменшення природних ресурсів; - питання енергетичної безпеки України; - висока енергоємність української економіки; - поступове збільшення споживання; - щорічне зростання цін на імпортовані Україною енергоресурси (газ, нафта).

Висока енергоємність галузей економіки пояснюється низкою факторів, серед яких найвпливовішими є:

- 1) значна частка витрат паливно-енергетичних ресурсів у загальній структурі собівартості продукції;
- 2) високий ступінь фізичного зносу основних фондів, у тому числі виробничого обладнання (65-70 %);
- 3) дефіцит інформації про програми і технології енергозбереження;
- 4) порівняно невеликий досвід фінансування таких проектів і, як результат, неактивна їх реалізація.

Представники великих виробничо-промислових компаній України вже сьогодні приділяють велику увагу показникам енергоспоживання, енергозбереження та підвищення енергоефективності виробництва.

В результаті аудиту було виявлено великий потенціал енергозбереження, і стало зрозумілим, що інвестиції в енергоефективність приведуть в майбутньому до скорочення щорічних витрат.

Під час проведення аудиту, були визначені основні споживачі природного газу на електроенергії, розміри їх споживання. Ними є ковпакові печі та прокатні стани відповідно.

Вирішено розглядати такі проекти підвищення енергоефективності цеху: застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації; модернізація димососів мартенівських печей; модернізації системи подачі води високого тиску.

Розглянуті проекти енергозбереження є незалежними, тобто їх реалізація може відбуватися як спільно, так і окремо. Наведемо результати розрахунку економії енергоресурсів за рік від впровадження заходів у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Економія енергоресурсів за рік від впровадження заходів

Заходи	Одиниці вимірювання	Економія
1. Застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації	тис.кВт·год/рік	2327
2. Модернізація димососів мартенівських печей	тис.кВт·год/рік	86 400
3. Модернізації системи подачі води високого тиску	тис.кВт·год/рік	59,4

Наведемо методику оцінки ефективності заходів [29].

Економічний ефект заходів визначається за рахунок зменшення споживання електроенергії.

Розраховуємо економічний ефект:

$$E = E_{w,Q} \cdot \text{тариф}, \quad (4.1)$$

де  $E_w$  або  $E_Q$  – економія електроенергії;

$\text{тариф}$  – тариф на електроенергію 1,86 грн./кВт·год

Визначаємо період простої окупності проекту – це найбільш простий метод оцінки проекту, при котрому розраховується період часу, протягом якого, вигоди від проекту будуть рівними витратам на проект, років:

$$T = \frac{K}{E}, \quad (4.2)$$

де  $K$  – капітальні витрати, тис.грн;

$E$  – економічний ефект, тис.грн.

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) – це сумарна сьогоднішня вартість чистих грошових потоків або різниця між дисконтованими сумарними доходами та сумарними дисконтованими витратами. Для розрахунку NPV проекту необхідно визначити ставку дисконту, використати її для дисконтування потоків витрат та вигод і підсумувати вигоди і витрати. В економічному аналізі ставка дисконту являє собою закладену вартість капіталу, тобто прибуток, який міг би бути одержаний при інвестуванні найприбутковіших альтернативних проектів. Якщо ЧТВ позитивна, то проект можна рекомендувати для фінансування. Якщо ЧТВ дорівнює нулю, то надходжень від проекту вистачить лише для відновлення вкладеного капіталу. Якщо ЧТВ менше нуля – проект не приймається.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1 + \alpha)^t}, \quad (4.3)$$

де  $B_t - C_t$  – чистий грошовий потік;

$\alpha$  - ставка дисконту. Для проектів енергоефективності приймається рівною 10%;

$t$  – життєвий цикл проекту, років.

Метод розрахунку чистої теперішньої вартості полягає у порівнянні величини початкових інвестицій з загальною сумою дисконтованих чистих грошових надходжень, які генеруються ними протягом прогнозованого строку.

Визначення NPV від реалізації проекту проведемо в таблицях за формулами:

Балансовий прибуток:

$$БП = E_{ПЕР} - E_{\epsilon} - A_{м}, \quad (4.4)$$

де  $E_{\epsilon}$  – експлуатаційні витрати, тис.грн.;

$A_{м}$  – амортизаційні витрати, тис.грн.

Амортизація:

$$A_{м} = K/t, \quad (4.5)$$

де  $K$  – капітальні витрати, тис.грн.

Чистий прибуток:

$$ЧП = БП - ПнП, \quad (4.6)$$

де  $ПнП$  – податок на прибуток, тис.грн.,

$$ПнП = БП \cdot P, \quad (4.7)$$

де  $P$  – ставка податку.

Ставка податок складає 18% від балансового прибутку ЧГП (суми чистого прибутку та амортизації обладнання).

Дисконтований грошовий потік (ДГП) знаходимо за формулою:

$$ДГП = ЧГП \cdot K_{д} \quad (4.8)$$

Кумулятивний грошовий потік (КГП) знаходимо як суму  $КГП$  попереднього року та  $ДГП$  даного року. За допомогою розрахованих даних знаходимо значення NPV.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) – це рівень ставки дисконтування, при якому NPV проекту за його життєвий цикл дорівнює нулю. ВНР проекту дорівнює ставці дисконту, при якій сумарні дисконтовані вигоди дорівнюють сумарним дисконтованим витратам, тобто ВНР є ставкою дисконту, при якій NPV проекту дорівнює нулю. Для розрахунку за даною формулою необхідно підібрати таку ставку дисконтування, щоб NPV при цій ставці була від’ємна.

$$IRR = \alpha_1 + \frac{NPV_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}{(NPV_1 - NPV_2)} \quad (4.9)$$

де  $\alpha_1$  – ставка дисконту, при якій ЧТВ позитивна;

$\alpha_2$  – ставка дисконту, при якій ЧТВ – від’ємна;

$NPV_1$  – величина позитивної ЧТВ при ставці дисконту  $\alpha_1$ ;

$NPV_2$  – величина від’ємної ЧТВ при ставці дисконту  $\alpha_2$ .

Індекс доходності або ануїтет NPV визначається за формулою:

$$PI = \frac{NPV + K}{K} \quad (4.10)$$

Дисконтований термін окупності (РВР) визначається графічно, знаходиться як перетин лінії кумулятивного дисконтованого грошового потоку з віссю X, але проводити за даним показником оцінку не будемо. Надалі проводимо розрахунки ефективності заходів за даною методикою.

#### 4.1. Модернізації системи подачі води високого тиску

Проводиться встановлення регулятора для відключення насосів під час простою.

Капітальні витрати на встановлення регулятора.

В таблиці 4.2 зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу. Розрахунки базуються на тому, що прийнято до встановлення вимикач ВА3002/3Б.

Таблиця 4.2 - Вартість капітальних вкладень для заходу

№	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн.
1	Регулятор EASYPRO	2,6
2	Монтажні роботи	0,520
	Вартість всього	3,12

Визначаємо економічний ефект проекту  $E$  за формулою (4.1):

$$E = 59\,400 \cdot 1,36 = 80\,784 \text{ тис. грн./рік.}$$

Визначаємо термін окупності проекту  $T_{ок}$  за формулою (4.2):

$$T_{ок} = \frac{3,12}{80,784} = 0,04 \text{ років.}$$

Визначаємо та заносимо в таблиці 3.3 результати розрахунків потоку чистих грошових надходжень від проекту.

Потік чистих грошових надходжень від проекту ЧГН=66,36 тис. грн.

Визначаємо та заносимо в таблиці 3.4 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту NPV.

Таблиця 4.3 – Розрахунок потоку чистих грошових надходжень від проекту встановлення регулятора

№	Показники, тис. грн.	Рік життєвого циклу	
		0	1-5
1	2	3	4
1	Капітальні витрати	3,12	-
2	Збільшення обсягу реалізації	-	-
3	Економія ПЕР	-	80,784
4	Інші надходження	-	-
5	Експлуатаційні витрати	-	-
6	Інші витрати	-	-
7	Амортизація	-	0,624
8	Балансовий прибуток	-	80,16
9	Податок на прибуток	-	14,43
10	Чистий прибуток	-	65,73
11	Потік чистих грошових надходжень	-3,12	66,36

Таблиця 4.4 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку від проекту встановлення вимикача

Рік	Грошовий потік, тис. грн.	$K_d$ $\alpha=10\%$	Дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Кумулятивний дисконтований грошовий потік, тис. грн.
1	2	3	4	5
0	-3,12	1	-3,12	-3,12
1	66,35	1,1	60,32	57,2
2	66,35	1,21	54,84	112,04
3	66,35	1,33	49,89	161,93
4	66,35	1,46	45,45	207,38
5	66,35	1,61	41,21	248,59

Чиста теперішня вартість проекту  $NPV=248,59$  тис. грн.

Визначаємо внутрішню норму рентабельності проекту  $IRR, \%$ .

Для цього обчислюємо та заносимо в таблицю 4.5 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту при ставці дисконту 3000%:

Таблиця 4.5 – Дисконтовані грошові потоки проекту встановлення вимикача при ставці дисконту 3000%

Роки	Чистий грошовий потік, тис. грн.	Чисті дисконтовані грошові потоки, тис. грн.	
		$\alpha = 10\%$	$\alpha = 3000\%$
1	2	3	4
0	-3,12	-3,12	-3,12
1	66,3552	60,32291	2,1404903
2	66,3552	54,83901	0,0690481
3	66,3552	49,89113	0,0022274
4	66,3552	45,44877	$7,18 \cdot 10^{-5}$
5	66,3552	41,21441	$2,31 \cdot 10^{-6}$
Всього	-	248,59	-1

Величина внутрішньої норми рентабельності проекту визначається за формулою (3.9):

$$IRR = 10 + \frac{248,59 \cdot (3000 - 10)}{248,59 - (-1)} = 2898,38 \%$$

Визначаємо індекс доходності проекту PI за формулою (3.10):

$$PI = \frac{248,59 + 3,12}{3,12} = 80,68.$$

Проаналізуємо доцільність впровадження проекту:

- 1) термін окупності  $T_{ок} = 0,04 < 5$ ;
- 2) значення чистої теперішньої вартості  $NPV = 248,59 > 0$ ;
- 3) величина внутрішньої норми рентабельності  $IRR = 2898,38 > 0$ ;



4) величина індексу доходності  $PI=80,68>1$ .

Отже проект ефективний та його доцільно впроваджувати.

#### 4.2 Заміна димососів мартенівських печей

Проводиться заміна електричних двигунів на двигуни меншої потужності, оскільки наявні завищеної потужності.

Капітальні витрати на встановлення двигунів.

В таблиці 4.6 зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу. Розрахунки базуються на тому, що прийнято до встановлення два двигуни АІР355S6 (АІР 355 S6) 160 кВт.

Таблиця 4.6 - Вартість капітальних вкладень для заходу

№	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн.
1	Двигун АІР355S6 - 160 кВт, 2 шт.	253,582
2	Монтажні роботи	25,36
3	Вартість всього	278,94

Визначаємо економічний ефект проекту  $E$  за формулою (4.1):

$$E = 69\,886 \cdot 1,36 = 95,044 \text{ тис. грн./рік.}$$

Визначаємо термін окупності проекту  $T_{ок}$  за формулою (4.2):

$$T_{ок} = \frac{278,94}{95,044} = 2,93 \text{ років.}$$

Визначаємо та заносимо в таблицю 4.7 результати розрахунків потоку чистих грошових надходжень від проекту.

Таблиця 4.7 – Розрахунок потоку чистих грошових надходжень від проекту заміни двигунів

№	Показники, тис. грн.	Рік життєвого циклу	
		0	1-5
1	2	3	4
1	Капітальні витрати	278,94	-
2	Збільшення обсягу реалізації	-	-
3	Економія ПЕР	-	95,044
4	Інші надходження	-	-
5	Експлуатаційні витрати	-	-
6	Інші витрати	-	-
7	Амортизація	-	55,788
8	Балансовий прибуток	-	39,256
9	Податок на прибуток	-	7,066
10	Чистий прибуток	-	32,18
11	Потік чистих грошових надходжень	-278,94	87,97

Потік чистих грошових надходжень від проекту  $ЧГН=87,97$  тис. грн.

Визначаємо та заносимо в таблицю 4.8 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту  $NPV$ .

Чиста теперішня вартість проекту  $NPV=54,8$  тис. грн.

Визначаємо внутрішню норму рентабельності проекту  $IRR$ , %.

Для цього обчислюємо та заносимо в таблицю 3.9 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту при ставці дисконту 20%:

Таблиця 4.8 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку від проекту заміни двигунів

Рік	Грошовий потік, тис. грн.	$K_d$ $\alpha=10\%$	Дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Кумулятивний дисконтований грошовий потік, тис. грн.
1	2	3	4	5
0	-278,94	1	-278,94	-278,94
1	87,97792	1,1	79,97992727	-198,96
2	87,97792	1,21	72,70902479	-126,251
3	87,97792	1,33	66,14881203	-60,1022
4	87,97792	1,46	60,25884932	0,156613
5	87,97792	1,61	54,64467081	54,80128

Таблиця 4.9 – Дисконтовані грошові потоки проекту заміни двигунів при ставці дисконту 20%

Роки	Чистий грошовий потік, тис. грн.	Чисті дисконтовані грошові потоки, тис. грн.	
		$\alpha = 10\%$	$\alpha = 20\%$
1	2	3	4
0	-278,94	-278,94	-278,94
1	87,97792	79,97993	73,314933
2	87,97792	72,70902	61,095778
3	87,97792	66,14881	50,913148
4	87,97792	60,25885	42,427623
5	87,97792	54,64467	35,356353
Всього	-	54,8	-16

Величина внутрішньої норми рентабельності проекту визначається за формулою (4.9):

$$IRR = 10 + \frac{54,8 \cdot (20 - 10)}{54,8 - (-10)} = 18,45\%.$$

Визначаємо індекс доходності проекту PI за формулою (4.10):

$$PI = \frac{54,8 + 278,94}{278,94} = 1,19.$$

Проаналізуємо доцільність впровадження проекту:

- 1) термін окупності  $T_{ок} = 2,93 < 5$ ;
- 2) чистої теперішньої вартості  $NPV = 54,8 > 0$ ;
- 3) величина внутрішньої норми рентабельності  $IRR = 18,45 > 0$ ;
- 4) величина індексу доходності  $PI = 1,19 > 1$ .

Отже проект ефективний та його доцільно впроваджувати.

#### 4.3 Застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації

Для керування асинхронними двигунами кранових механізмів обираємо частотні перетворювачі фірми Schneider Electric сумарною вартістю 3,91 млн. грн.

Капітальні витрати на їх встановлення.

В таблиці 3.10 зведені дані про вартість капітальних вкладень для заходу. Розрахунки базуються на тому, що прийнято до встановлення перетворювачі типу ATV212HD.

Таблиця 4.10 - Вартість капітальних вкладень для заходу

№	Найменування	Капітальні вкладення, тис. грн.
1	Частотні перетворювачі	3910
2	Монтажні роботи	200,11
	Вартість всього	4110,11

Визначаємо та заносимо в таблицю 4.11 результати розрахунків потоку чистих грошових надходжень від проекту.

Таблиця 4.11 – Розрахунок потоку чистих грошових надходжень від проекту встановлення реле часу

№	Показники, тис. грн.	Рік життєвого циклу	
		0	1-5
1	2	3	4
1	Капітальні витрати	4110,11	-
2	Збільшення обсягу реалізації	-	-
3	Економія ПЕР	-	3165
4	Інші надходження	-	-
5	Експлуатаційні витрати	-	-
6	Інші витрати	-	-
7	Амортизація	-	12,534
8	Балансовий прибуток	-	1019,78
9	Податок на прибуток	-	109,76
10	Чистий прибуток	-	90,02
11	Потік чистих грошових надходжень	-12,67	92,56

Потік чистих грошових надходжень від проекту ЧГН=920,56 тис. грн.

Визначаємо та заносимо в таблицю 4.12 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту NPV.

Таблиця 4.12 – Розрахунок дисконтованого грошового потоку від проекту встановлення перетворювачів

Рік	Грошовий потік, тис. грн.	$K_d$ $\alpha=10\%$	Дисконтований грошовий потік, тис. грн.	Кумулятивний дисконтований грошовий потік, тис. грн.
1	2	3	4	5
0	-12,67	1	-12,67	-12,67
1	92,56	1,1	84,14	71,47
2	92,56	1,21	76,49	147,97
3	92,56	1,33	69,59	217,56
4	92,56	1,46	63,39	280,96
5	92,56	1,61	57,49	338,45

Чиста теперішня вартість проекту  $NPV=3380,45$  тис. грн.

Визначаємо внутрішню норму рентабельності проекту  $IRR, \%$ .

Для цього обчислюємо та заносимо в таблицю 4.13 результати розрахунків чистої теперішньої вартості проекту при ставці дисконту 3000%:

Таблиця 4.13 – Дисконтовані грошові потоки проекту встановлення перетворювачів при ставці дисконту 3000%

Роки	Чистий грошовий потік, тис. грн.	Чисті дисконтовані грошові потоки, тис. грн.	
		$\alpha = 10\%$	$\alpha = 3000\%$
1	2	3	4
0	-12,67	-12,67	-12,67
1	92,55852	84,14411	2,9857587
2	92,55852	76,49464	0,0963148
3	92,55852	69,59287	0,0031069

## Продовження таблиці 4.13

1	2	3	4
4	92,55852	63,39625	0,0001002
5	92,55852	57,48976	-12,67
Всього	-	338,45	-10

Величина внутрішньої норми рентабельності проекту визначається за формулою (4.9):

$$IRR = 10 + \frac{338,45 \cdot (3000 - 10)}{338,45 - (-10)} = 2826,77\%.$$

Визначаємо індекс доходності проекту  $PI$  за формулою (3.10):

$$PI = \frac{338,45 + 12,67}{12,67} = 27,71.$$

Проаналізуємо доцільність впровадження проекту:

- 1) термін окупності  $T_{ок} = 0,1 < 5$ ;
- 2) значення чистої теперішньої вартості  $NPV = 338,45 > 0$ ;
- 3) величина внутрішньої норми рентабельності  $IRR = 2826,77 > 0$ ;
- 4) величина індексу доходності  $PI = 27,71 > 1$ .

Отже, проект ефективний та його доцільно впроваджувати.

#### 4.4 Загальний комплексний проект

Для збільшення грошових надходжень від енергозберігаючих проектів обираємо варіант впровадження трьох розглянутих проектів як загального комплексного проекту.

Визначаємо сумарний економічний ефект загального комплексного проекту.

$$E_{\text{сум}} = E_1 + E_2 + E_3, \quad (4.11)$$

де  $E_1, E_2, E_3$  – економічний ефект від впровадження першого, другого, третього проектів, тис. грн./рік.

$$E_{\text{сум}} = 80,784 + 95,044 + 3165 = 3340,87 \text{ тис. грн./рік}$$

Визначаємо сумарні капітальні витрати комплексного проекту:

$$K_{\text{сум}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5, \quad (4.12)$$

де  $K_1, K_2, K_3$  – капітальні витрати на впровадження першого, другого та третього проектів, тис. грн.

$$K_{\text{сум}} = 3,12 + 278,94 + 4110,11 = 4392 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо термін окупності проекту за формулою (4.2):

$$T_{\text{ок}} = \frac{4392}{3340,87} = 1,31 \text{ років.}$$

Визначаємо та заносимо в таблицю 3.14 результати розрахунків від комплексного проекту. Проаналізуємо отримані показники ефективності всіх проектів. Строки окупності знаходяться в межах доцільності впровадження енергозберігаючих проектів. Всі проекти мають великий ступінь ефективності, їх чиста теперішня вартість має велике додатне значення та внутрішня норма рентабельності складає великий відсоток



Таблиця 4.14 – Техніко-економічні показники дипломної роботи

№	Заходи зі зменшення споживання е/е	Вартість устаткування, тис. грн.	Економія електроенергії, тис. грн.	Термін окупності, років
1	1. Застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації	4110,11	3165	1,3
2	2. Модернізація димососів мартенівських печей	278,94	95,044	2,93
3	3. Модернізації системи подачі води високого тиску	3,12	80,784	0,04
	Всього	4392,0	3340,87	1,31

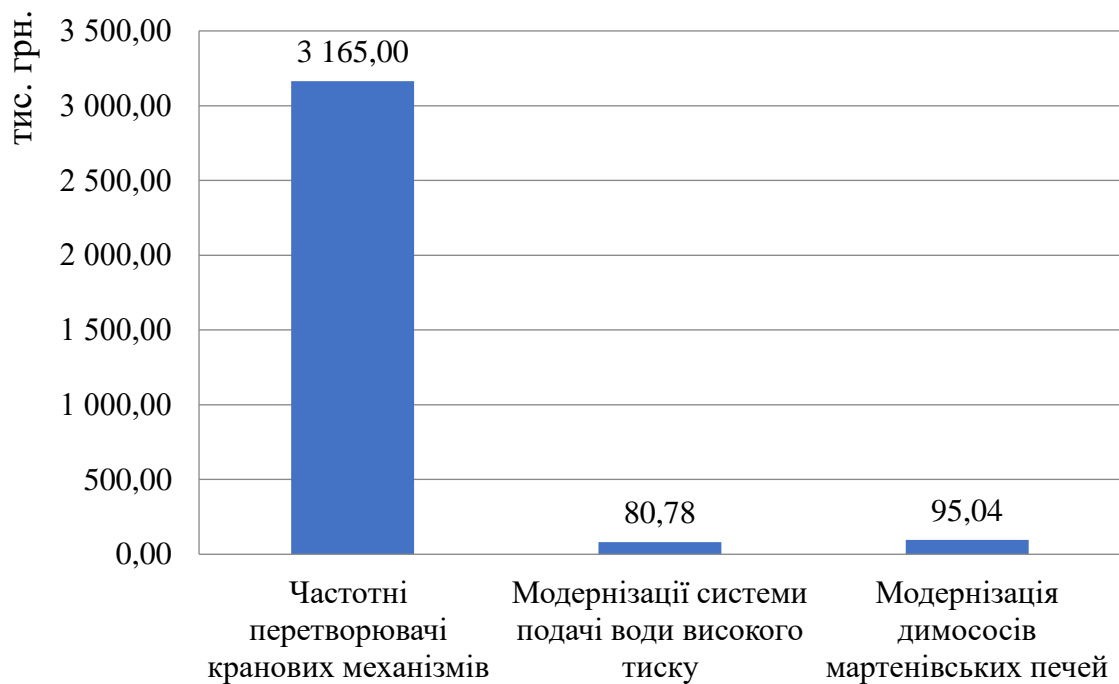


Рисунок 4.1 - Техніко-економічні показники проектів

Для отримання більших грошових надходжень доцільно впровадити загальний комплексний енергозберігаючий проект, який враховуватиме одночасне впровадження всіх трьох проектів. Такий загальний комплексний проект має гарні значення показників ефективності.

## ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз енергоспоживання цеху і визначено перспективні напрямки щодо зниження енерговитрат на енергоресурси і електричну енергію зокрема. Впровадження енергозберігаючих технологій дасть змогу цеху досягти наступних результатів:

1. Зменшити витрати на споживану підприємством електричну енергію за рахунок зменшення її втрат в системі електропостачання.
2. Одержати сумарний прибуток від зменшення втрат електричної енергії
3. Зменшити витрати на споживану підприємством електричну енергію.
4. Підвищити надійність і якість енергопостачання підприємства.

Зроблено порівняльний аналіз та виявлено найбільші споживачі електричної енергії, якими є РКМ-1000 та РКМ-340.

Визначено втрати потужності споживачів на КТП-230, 231-232, 213, ТП-62. Виявлено, найбільші витрати потужності мають РКМ-1000 (26 кВт) та РКМ-340 (14 кВт).

Проведено дослідження по споживанню активної потужності електродвигунів. Виявлено, вищі гармоніки коефіцієнт граничних складових  $Ku_5=5\%$  та  $Ku_7=4,2\%$ , що перевищують допустимі ГОСТ 13109-97  $Ku_5=4\%$  та  $Ku_7=3\%$ .

Запроваджено для зниження 5-ї та 7-ї гармонік встановити резонансний фільтр типу ФСГ-3 у розподільчому пристрої РП-6кВ на двигуни головного приводу потужністю 630кВт. Термін окупності фільтра становить 2,5 роки.

Досліджено графіки навантаження та втрат при роботі насосної РКМ-1000 та насосної оборотного циклу. Виявлено, резерви економії на режимах роботи цих насосних.

Розроблено схему автоматики роботи насосної РКМ-1000 та насосної оборотного циклу. Це дасть можливість зменшити втрати електричної енергії з 500 тис.кВт · год/рік до 448 тис.кВт · год/рік, що є економію у 11,8%.

Заміна електродвигуна RV 502/8-6b потужністю 630 кВт на головний привод РКМ-1000 дає зменшення споживання активної потужності на 123,7 кВт електричної енергії. Термін окупності 2,8 роки.

Щодо зменшення витрати електричної енергії у роботі розглянуто - застосування енергозберігаючих освітлювальних приладів та їх секційне включення та відключення; застосування частотних перетворювачів кранових механізмів з пристроями рекуперації; модернізація димососів мартенівських печей; модернізації системи подачі води високого тиску У цеху має місце встановлення агрегатів невиправданої потужності, зокрема, на димососах мартенівських печей встановлені двигуни завищеної потужності. Запропоновано замінити двигуни димососів двигунами виправданої потужності. Впровадження наведених заходів економії електроенергії дає змогу зекономити близько 86 тис. кВт·год/рік.

Для збільшення грошових надходжень від енергозберігаючих проектів обирано варіант впровадження трьох розглянутих проектів як загального комплексного проекту. Техніко-економічні розрахунки показали, що капітальні вкладення на впровадження всіх запропонованих заходів становить близько 4,39 млн. грн. За рахунок цього заходу можна досягти зниження споживання електричної енергії на суму 3,341 млн. грн. Термін окупності впровадження сукупності проектів – 1,31 року, що є, безперечно, економічно доцільним.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чилікін, М.Г. Загальний курс електроприводу [Текст]: підручник / М.Г. Чилікін, А.С. Сандлер– 6-те вид., переробл. і доповн. - М.: Енергоіздат, 1981.- 576с.
2. Фотієв, М.М. Електропривод та електрообладнання металургійних цехів [Текст]: підручник / М.М. Фотієв – Москва: Видавництво «Металургія», 1990.- 352с.
3. Копилов, І.П. Електричні машини [Текст]: підручник/ І.П. Копилов – Москва: Видавництво «Енергоатоміздат», 1986.-360 с.
4. Загірняк, М. В. Електричні машини [Текст]: підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невалін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Знання, 2009. – 399 с. – ISBN 978-966-336-644-6.
5. Закладний, О.М. Енергозбереження засобами промислового електроприводу [Текст] / О.М. Закладний, А.В. Проховнік, О.І. Соловей. – К. : Кондор, 2005. – 408. – ISBN 966-7665-23-2.
6. Волинський, Б.С. Електротехніка [Текст]/ Б.А. Волинський,. Е.Н. Зейн, В.Е. Шетрніков.-М.: Енергоатоміздат, 1987.-528 с.
7. Тихомиров, А. К. Теплопостачання району міста [Текст]: Навчальний посібник / А. К.Тихомиров. – Хабаровськ : Видавництво «Тихоокеан», 2006. – 135 с. ISBN 5 –7389 – 0515 – 6.
8. Качан Ю.Г. Основи енергозбереження [Текст]: Конспект лекцій/ Ю.Г. Качан.- Запоріжжя: ЗДІА, перевид. 2005.-184 с.
9. Методи зниження втрат в тепломережі [Електронний ресурс] Енергосовет.– Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php?idd=156> – Заголовок з екран.
10. Методи зниження втрат в тепломережі [Електронний ресурс] Енергосовет.– Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php?idd=156> – Заголовок з екран.

11. Регулювання обертання синхронних двигунів [Електронний ресурс] Електричні машини.– Режим доступа : \WWW/ URL: [http://www.induction.ru/library/book\\_002/glava6/6-15.html](http://www.induction.ru/library/book_002/glava6/6-15.html)– Заголовок з екран.

12. Частотне регулювання насоса – переваги і недоліки [Електронний ресурс] ОптимЕлектро.– Режим доступа : \WWW/ URL: [http://optimele.ru/articles/poleznye\\_sovety/chastotnoe\\_regulirovanie\\_nasosa\\_preimus\\_hchestva\\_i\\_nedostatki/](http://optimele.ru/articles/poleznye_sovety/chastotnoe_regulirovanie_nasosa_preimus_hchestva_i_nedostatki/)– Заголовок з екран.

13. Каталог продукції Siemens [Електронний ресурс] Siemens.– Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.siemens-ru.com/taxonomy/term>– Заголовок з екран.

14. Частотні перетворювачі ТОВ «Лідер» [Електронний ресурс] Лідер.– Режим доступа : \WWW/ URL: <http://lider-privod.ru/production/chastotnye-preobrazovateli/> – Заголовок з екран.

15. Частотні перетворювачі Delta Electronics [Електронний ресурс] Delta Electronics.– Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.delta-electronics.info/VFD> – Заголовок з екран.

16. Лагутін Г.І. Вищі гармоніки в системах електропостачання / Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 2(30) ISSN 1997-9568.

17. С. Ю. Шевченко. В. В. Волохін, І. М. Дяговченко, «Актуальність урахування впливу показників якості напруги при обліку електричної енергії».

18. Лагутін Г.І. Вищі гармоніки в системах електропостачання / Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 2(30) ISSN 1997-9568.