

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Прогнозування втрат електричної енергії в  
розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1419 д  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

М.О. Івченко

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Левченко С.А.

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

Рецензент Дригинич І.В.

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



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ електротехніки та енергоефективності  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) рівень  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

д.т.н., доц. \_\_\_\_\_ В.Л. Коваленко

« 16 » \_\_\_\_\_ 12 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Івченко Микита Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи \_\_\_\_\_ Прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

керівник роботи \_\_\_\_\_ Левченко Сергій Андрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від «14» вересня 2020 року № 1305-с

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 01 грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи Річне споживання електроенергії ПАТ «Запоріжсталь» 1090,518 гВт·год.; тариф на електроенергію із ПДВ – 3,12 грн/кВт·год; час роботи технологічного обладнання на рік – 5435 годин; річний об'єм виготовленої продукції.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». 2) Аналіз методів прогнозування втрат електричної енергії. 3) Прогнозування втрат електричної енергії та визначення його достовірності в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». 4) Охорона праці та техногенна безпека.

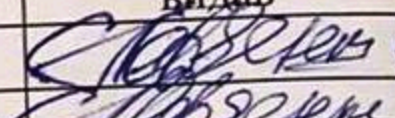
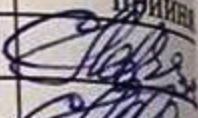


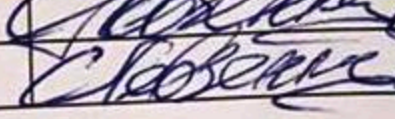
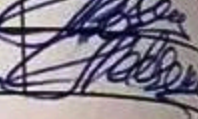
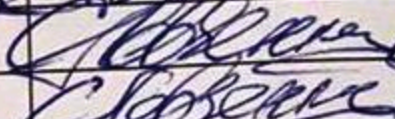
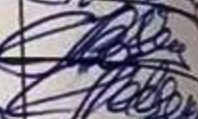
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Тема: Прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». 2) Річне споживання електричної енергії ПАТ «Запоріжсталь» 3) Структурна схема знижувальної підстанції М-1 ПАТ «Запоріжсталь». 4) Річне споживання електричної енергії обладнанням ЦХП-1 «Запоріжсталь».



ПАТ «Запоріжсталь». 5) Річні втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». 6) Графік лінійної регресії. 7) Спрогнозовані втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». 8) Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Левченко С.А. к.т.н., доцент		
Розділ 4	Левченко С.А. к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01.09.2020 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»	29.09.2020	
2	Аналіз методів прогнозування втрат електричної енергії	28.10.2020	
3	Прогнозування втрат електричної енергії та визначення його достовірності в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»	18.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2020	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

М.О. Івченко  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
(підпис)

С.А. Левченко  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
(підпис)

С.В Башлій  
(ініціали та прізвище)



## АНОТАЦІЯ

Івченко М.О. Прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Левченко С.А. Запорізька державна інженерна академія. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки та енергоефективності, 2020.

Розраховано прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Перевірена достовірність прогнозу, та розраховані спрогнозовані втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Практична цінність результатів дослідження полягає у розрахуванні спрогнозованих втрат електричної енергії, що спрямовані на удосконалення роботи енергопостачальних підприємств.

Ключові слова: ВИТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, РЕГРЕСІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МЕТОД,

## ABSTRACT

Ivchenko M.O. Forecasting of electricity losses in the 0.4 kV distribution network of CRS-1 of PJSC "Zaporizhstal".

Graduate work for higher education master's degree in the specialty 141- Power engineering, electrical engineering and electromechanics, scientific supervisor Levchenko S.A. Zaporizhzhya State Engineering Academy. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies. Electrical Engineering and Energy Efficiency Department, 2020.

The forecasting of electricity losses in the distribution network of 0.4 kV CRS-1 of PJSC "Zaporizhstal" is calculated. The reliability of the forecast was checked, and the forecasted losses of electric energy in the distribution network of 0.4 kV CRS-1 of PJSC "Zaporizhstal" were calculated.

The practical value of the results of the study is to calculate the projected losses of electricity, aimed at improving the operation of energy supply companies.

Key words: ELECTRICITY CONSUMPTION, ELECTRICITY LOSS, REGRESSION, FORECASTING, METHOD.

## АННОТАЦИЯ

Ивченко Н.А. Прогнозирование потерь электрической энергии в распределительной сети 0,4 кВ ЦХП-1 ПАО «Запорожсталь».

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 141-Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, научный руководитель Левченко С. А. Запорожская государственная инженерная академия. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий. Кафедра электротехники и энергоэффективности, 2020.

Рассчитано прогнозирования потерь электрической энергии в розподильнии сети 0,4 кВ ЦХП-1 ПАО «Запорожсталь». Проверенная достоверность прогноза, и рассчитаны спрогнозированы потери електричної енергії в распределительной сети 0,4 кВ ЦХП-1 ПАО «Запорожсталь»

Практическая ценность исследования заключается в расчете прогнозируемых потерь электрической энергии, направленные на совершенствование работы энергоснабжающих предприятий.

Ключевые слова: РАСХОДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, РЕГРЕССИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, МЕТОД,

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
<b>1 АНАЛІЗ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....</b>	<b>10</b>
1.1 Загальна характеристика підприємства.....	10
1.2 Цех холодної прокатки.....	16
1.3 Обсяги виробництва холоднокатаної продукції.....	18
1.4 Аналіз витрат електричної енергії обладнанням ЦХП-1.....	22
1.5 Характеристика підстанції М-1.....	25
1.6 Аналіз витрат енергії обладнанням ЦХП-1.....	27
1.7 Аналіз витрат енергії обладнанням в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1.....	30
1.8 Втрати електроенергії в ЦХП-1.....	33
<b>2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>36</b>
2.1 Передумови прогнозування.....	36
2.2 Метод прогновної екстраполяції.....	36
2.3 Метод аналізу часових рядів.....	37
2.4 Метод інваріантів.....	38
2.5 Метод побудови сценаріїв.....	38
2.6 Метод експоненціального згладжування.....	39
2.7 Метод імовірнісного моделювання.....	40
2.8 Метод адаптивного згладжування.....	41
2.9 Методи кореляційного та регресійного аналізу.....	47
2.10 Експертні методи прогнозування.....	47
2.11 Теорія прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 на виробництво продукції ЦХП-1.	50
<b>3 ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ДОСТОВІРНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНІЙ</b>	

МЕРЕЖІ 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	59
3.1 Прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 на виробництво продукції ЦХП-1.....	59
3.2 Визначення дійсності прогнозування .....	62
3.3 Розрахунок прогнозу втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».....	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	67
4.1 Вимоги техніки безпеки до улаштування електрообладнання	67
4.2 Вимоги техніки безпеки до експлуатації електрообладнання..	68
4.3 Заходи з пожежної безпеки.....	71
4.4 Санітарно-гігієнічні заходи.....	74
4.5 Естетика виробництва.....	76
Висновки.....	78
Перелік посилань.....	79

## ВСТУП

За об'ємом виробництва сталі ПАТ "Запоріжсталь" входить до четвірки найбільших підприємств України. А за виробництвом тонколистового, в тому числі холоднокатаного прокату, ділить перше та друге місця. Комбінат володіє унікальним обладнанням по виробництву великогабаритних холоднокатаних листів із спеціальних сталей, а також шліфованих та полірованих смуг і листів із нержавіючих сталей. Останні роки комбінат стабільно нарощує об'єми виробництва, скорочує енергоємність продукції, проводиться модернізація виробництва, розроблюються та впроваджуються нові технологічні процеси.

Зміни що відбуваються у господарському механізмі енергетики, а саме проблема зниження втрат електроенергії в електричних мережах не тільки не втратила своєї актуальності, а навпаки висунулася в одне із завдань забезпечення фінансової стабільності енергопостачальних підприємств. Основним показником діяльності енергопостачальних підприємств є втрати електроенергії при її транспортуванні до споживачів. Даний показник показує наявність проблем функціонування підприємств та передуює вирішенню невідкладних рішень щодо оновлення електричних мереж. Через незначні інвестиції у розвиток і технічне переозброєння електричних мереж, в удосконалювання систем керування їхніми режимами, в облік електроенергії, виникла низка тенденцій, що негативно впливають на рівень втрат у мережах. Оскільки, застаріле обладнання, фізичне й моральне зношування засобів обліку електроенергії, невідповідність встановленого обладнання передаваній потужності вимагають удосконалення. В умовах розвитку ринкових відносин в електроенергетичній галузі держава має проводити моніторинг технічного стану електричних мереж.

Об'єкт дослідження – ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».



Предметом дослідження – втрати електричної енергії в розподільній мережі ЦХП-1.

Метою дослідження є розвиток теоретичних аспектів та методико-прикладних систем прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1

Завданнями роботи є:

- провести аналіз об'єму виробництва продукції;
- провести аналіз витрат електричної енергії ЦХП-1;
- провести аналіз втрат електричної енергії на розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1;
- провести прогнозування втрат електричної енергії на розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 та довести їх достовірність;
- розрахувати спрогнозовані втрати.

Методи дослідження. Для аналізу обраної тематики застосовувалися загальнонаукові та спеціальні методи: системного та комплексного аналізу; метод порівняння; метод наукового узагальнення ; табличний метод – для відображення результатів аналізування діяльності енергопостачальних підприємств; методи динамічного, статистичного і порівняльного аналізу для дослідження стану електромереж на українських енергетичних підприємствах; час розроблення методу аналізу ієрархій для ефективного прийняття управлінських рішень; метод цільового програмування ; прийоми графічного та табличного відображення даних для наочного відображення дослідження; метод аналізу та синтезу – для вивчення об'єкта і предмета дослідження.

У процесі дослідження вивчені та проаналізовані матеріали підприємства ПАТ «Запоріжсталь», а також статистичні дані, фінансово-економічні звіти, методичні рекомендації визначення втрат на ЦХП-1.



# 1 АНАЛІЗ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

## 1.1 Загальна характеристика підприємства

ПАТ «Запоріжсталь» – підприємство з повним металургійним циклом, яке займає лідируючі місця по виробництву сталі в Україні, обсягам експорту, постачанням валюти, а також податковим відрахуванням. У 2019 році комбінат збільшив податкові перерахування в бюджет України направивши в державну казну рекордну суму в розмірі 3,2 млрд. гривень. Це на 28% (на 704 млн. гривень) більше, ніж у 2018 році.

ПАТ «Запоріжсталь» стабільно працює, розвивається і продовжує модернізацію з використанням сучасних прогресивних і відповідних усім світовим стандартам природоохоронних технологій. Проектні потужності комбінату дозволяють виробляти близько 6,3 млн. тонн агломерату, 4,2 млн. тонн чавуну, 4,07 млн. тонн сталі, порядку 3,7 млн. тонн гарячого прокату, і порядку 1,2 млн. тонн холодного прокату.

У 2019 році вироблено 3600,2 тис. тонн чавуну, 3890,7 тис. тонн сталі, 3367,9 тис. тонн прокату. Унікальне географічне положення дає ПАТ «Запоріжсталь» логістичні переваги за рахунок близькості до постачальників сировини, водних та залізничних магістралей.

ПАТ «Запоріжсталь» в 2019 році поставив споживачам водним транспортом через Запорізький річковий порт понад 540 тис. тонн металопродукції.

Комбінат системно модернізує виробничі потужності, приділяючи особливу увагу питанням екології. З 2012 року направлено на екологічну модернізацію і реконструкцію комбінату 5,7 мільярда гривень.

Головними проектами екологічної модернізації комбінату є: проект модернізації газоочисних систем аглофабрики, що завершується, масштабна модернізація доменної печі № 4 з установкою системи аспірації ливарного



двору і підбункерної естакади, будівництво нової травильної лінії в цеху холодної прокатки № 1, масштабна реконструкція доменної печі № 3.

З 2013 року комбінат «Запоріжсталь» побудував 6 газоочисток. Газоочистки агломашин №1 і №2 працюють в штатному режимі. На даний момент газоочистки агломашин №3-6 працюють в режимі дослідно-промислової експлуатації. З промисловим введенням в експлуатацію газоочисток аглофабрика комбінату досягне міжнародних екологічних стандартів за рівнем очищення викидів пилу і газів. Робота всіх 6 газоочисток аглофабрики вже позитивно впливає на екологічну ситуацію в регіоні. Завдяки екологічній модернізації аглофабрики, загальні викиди комбінату по пилу скоротилися на 42%, в порівнянні з 2012 роком. Модернізація газоочисних установок агломашин № 3-6 дозволила забезпечити очистку повітря від пилу до 50 мг/м<sup>3</sup>, від сірчистого ангідриду – нижче 400 мг/м<sup>3</sup>.

Ще один великий проект 2016 року - масштабна реконструкція доменної печі № 3. Агрегат буде оснащений сучасною системою аспірації, яка забезпечить очистку викидів від пилу до 50 мг/м<sup>3</sup>. Обсяг інвестицій в проект складе близько 1,5 млрд. гривень. В рамках проекту введена в дослідно-промислову експлуатацію нова система аспірації ливарного двору доменної печі № 2, оснащена високоефективними рукавними фільтрами з імпульсною регенерацією, потужним тяго-дутьєвим обладнанням і системою пневмотранспорту для повернення уловленого пилу в виробництво. Чисельність колективу ПАТ «Запоріжсталь» становить близько 13 тисяч осіб. У 2016 році комбінат підвищив середню заробітну плату на 17% в порівнянні з 2015 роком, яка в даний момент складає близько 11 тисяч гривень. Також працівником комбінату надається безкоштовна медична страховка і медобслуговування, регулярне санаторне оздоровлення та інші[1].



соціальні пільги. Один з пріоритетних напрямків діяльності ПАТ «Запоріжсталь» – підвищення енергоефективності та раціональне використання виробничих ресурсів.

Система енергетичного менеджменту комбінату пройшла сертифікацію на відповідність міжнародному стандарту ISO 50001, що дозволяє досягти суттєвої економії енергоресурсів за рахунок застосування кращої управлінської практики і без значних вкладень. Система енергетичного менеджменту дозволяє знижувати собівартість і енергоємність продукції, витрати на енергоносії, удосконалює поводження з відходами та забезпечує виконання вимог щодо зниження викидів парникових газів.

У числі ключових енергозберігаючих проектів, які успішно впровадив ПАТ «Запоріжсталь», – введення в експлуатацію установки вдування пиловугільного палива, що дозволило комбінату повністю відмовитися від споживання природного газу в доменному виробництві.

Навесні 2016 ПАТ «Запоріжсталь» спільно з «Запоріжжкоксом» реалізував проект з обміну вторинними газами. На даний момент в аглоцеху, ТЕЦ, групі прокатних цехів (обтискний, цех гарячої прокатки тонкого листа) застосовується більш дешевий аналог природного газу – коксо-доменна і природно-доменна суміш[2].

Таким чином в 2016 році комбінат рекордно знизив споживання природного газу у виробництві до 160 млн. м<sup>3</sup>, що на 22% (44 млн. м<sup>3</sup>) нижче показників 2015 роки (204 млн. м<sup>3</sup>), а це явний успіх. У планах на майбутнє перехід з мартенівського способу виплавки сталі на конвертерний. Це дозволить досягти ще більш істотного енергозберігаючого ефекту.

У 2017 році в рамках реалізації проекту з обміну вторинними газами між «Запоріжжкоксом» і «Запоріжсталлю», був модернізований регулятор подачі коксового газу котла-утилізатора РК85-1 коксохімічного заводу. Це дозволило збільшити обсяг поставок коксівного газу на «Запоріжсталь» до 8 млн м<sup>3</sup> на рік, знизивши споживання природного на 4 млн куб м<sup>3</sup> на рік.

Економічний ефект від заходу дозволить «Запоріжсталі» додатково заощадити близько 26 млн гривень на рік.

Велику увагу на підприємстві приділяють і раціональному використанню електроенергії та інших видів енергоресурсів.

ПАТ «Запоріжсталь» веде активну екологічну модернізацію і реконструкцію існуючого обладнання, впроваджує інновації, постійно збільшуючи обсяги і ефективність виробництва, підвищуючи якість продукції, скорочуючи витрати.

Пріоритетними напрямками переобладнання виробництва є: енерго і ресурсозбереження; підвищення якості та розширення сортаменту металопродукції; збільшення кількості виробництва гарячого і холодного прокату, чавуну, металовиробів і товарних слябів; впровадження передових екологічних технологій на виробництві.

З 2012 року направлено на екологічну модернізацію і реконструкцію комбінату 5,7 мільярда гривень.

Введення в дію базового складу вугілля в комплексі установки ПВП в доменному виробництві. Повний обсяг інвестицій в реалізацію проекту склав близько 1 мільярда грн., Включаючи БСВ – 350 млн. грн.

Реконструкція агломашин №1-2 з будівництвом нових ефективних газоочисних установок. Завершення будівництва газоочисних установок агломашин №3-6, що забезпечує очищення повітря від пилу до  $50 \text{ мг/м}^3$ , по сірчистому ангідриду – нижче  $400 \text{ мг/м}^3$ . Інвестиції – 870 млн. грн.

Введення в експлуатацію нової лінії соляно-кислотного травлення в цеху холодної прокатки № 1, що дозволило повністю ліквідувати викиди парів сірчаної кислоти і скиди комбінату в річку Дніпро від ЦХП-1. Інвестиції в проект – 890 млн грн.

Реалізація проекту реконструкції ДП-4 з будівництвом нових систем аспірації ливарного двору і підбункерного приміщення. У модернізацію вкладено 950 млн. грн.



ПАТ «Запоріжсталь» ввів в експлуатацію комплекс переробки шлаків «АМКОМ» для утилізації промислових відходів з метою зниження впливу на навколишнє середовище. Інвестиції близько 30 млн. грн.

ПАТ «Запоріжсталь» першим серед промислових підприємств України запровадив сучасну інформаційно-диспетчерську систему (далі – ІДС) управління залізничним транспортом, удосконаливши при цьому систему візуалізації. На реалізацію проекту комбінат направив близько 600 тис. гривень. Успішно функціонує на підприємстві і система візуалізації та моніторингу технологічних процесів. Тепер в режимі реального часу контролюються основні виробничі процеси. Інвестиції в проект склали близько 5,8 млн грн.

У листопаді 2016 року «Запоріжсталь» зупинив доменну піч № 3 на масштабну реконструкцію. Інвестиції в проект становлять близько 1,5 млрд. гривень.

При реконструкції доменної печі № 3 застосований метод велико-вузлового складання за допомогою потужного крану компанії Mammoet вантажопідйомністю 1600 т. Вперше в Україні при реалізації великих інфраструктурних проектів комбінат «Запоріжсталь» використовував кращу світову практику – створив інтелектуальну модель доменної печі, яка підвищить ефективність реконструкції, скоротить її строки проведення. Інтелектуальна 3D-модель доменної печі на етапі планування дозволила виявити і усунути понад 11 тисяч помилок.

Реконструйована доменна піч № 3 ПАТ «Запоріжсталь» оснащена новітньою системою аспірації з приладами безперервного автоматичного контролю, яка відповідає найсуворішим європейським вимогам і забезпечує очистку викидів від пилу до 50 мг/м<sup>3</sup>. Також в рамках проекту встановлено новий безконусний завантажувальний пристрій виробництва компанії Danieli & Corus, збільшено з 16 до 20 кількість фурмених приладів і проведена комбінована футеровка з використанням новітніх технологій.

У пріоритеті екологічної модернізації комбінату знижувати частку викидів, які несуть з собою негативний вплив на навколишнє середовище: пил, сірчистий ангідрид (SO<sub>2</sub>), інші викиди.

На ПАТ «Запоріжсталь» активно впроваджуються процеси безперервного вдосконалення. Серед реалізованих програм: «Бережливе підприємство», впровадження інструментів «5С», СПП і робота КНС.

Зокрема, в рамках роботи Системи подачі пропозицій щодо поліпшення виробництва, авторів раціональних ідей чекає винагорода. У 2016 році економічний ефект від СПП склав 215 млн. грн.

На комбінаті «Запоріжсталь» функціонує Інтегрована система менеджменту якості, енергоефективності, охорони праці та екології (ІСМ), схвалена ТОВ «БЮРО ВЕРІТАС Сертифікейшн Україна» як відповідна вимогам міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 та ТОВ «Технічні та управлінські послуги» вимогам міжнародних стандартів ISO 50001[3].

Сертифікатами відповідності вимог міжнародних стандартів підтверджується досягнення реальних і стійких поліпшень комбінату як виробника агломерату, чавуну, сталевих слябів з вуглецевих, низьколегованих і легованих сталей, прокату гарячекатаного і холоднокатаного в рулонах і листах, стрічки сталевій, гнутих профілів, жерсті, кисню, азоту та інертних газів. Інтегрована система менеджменту ПАТ «Запоріжсталь» орієнтується на запити і очікування споживачів, персоналу, громадськості, органів влади і прагне до підвищення довгострокової конкурентоспроможності.

Пріоритетними завданнями в цьому напрямку є випуск високоякісної продукції при забезпеченні безпечних умов праці персоналу, мінімізації впливів на навколишнє природне середовище, захист здоров'я населення проживає в регіоні діяльності комбінату і підвищення енергоефективності. У травні 2016р. ПАТ «Запоріжсталь» успішно пройшов ресертифікаційний



аудит Системи енергетичного менеджменту і підтвердив сертифікат відповідності вимогам міжнародного стандарту ISO 50001 на новий трирічний період до 2019 року.

15-18 листопада 2016 ПАТ «Запоріжсталь» успішно пройшов другий наглядовий аудит Інтегрованої системи менеджменту, який провели експерти ТОВ «Бюро Верітас Сертифікейшн Україна». Аудит підтвердив високий рівень відповідності ІСМ комбінату вимогам міжнародних стандартів по системах менеджменту якості ISO 9001, екологічного менеджменту ISO 14001, а також управління охороною праці та виробничої безпеки OHSAS 18001[5].

## 1.2 Цех холодної прокатки

Металургія є базовою галуззю української промисловості, яка забезпечує потреби країни в чорних і кольорових металах. Прокатне виробництво є складовою завершальною ланкою металургійного циклу. Прокатні цехи є досить великими споживачами електричної енергії. До складу прокатного цеху входять: прокатний стан, механізми для підготовки до прокату металу, обробка готової продукції та різні допоміжні служби. Призначення прокатних цехів - виробництво гарячекатаної і холоднокатаної листової сталі, сталевих стрічки, жерсті і холодногнутих профілів. Виходячи з цього можна поділити прокатні цехи на цехи гарячої та холодної прокатки.

Цехи холодної прокатки розташовуються, як правило, поруч з цехами гарячої. Характерною особливістю цехів холодної прокатки є наявність великих травильних агрегатів.

У будівлях цехів холодної прокатки проводиться обробка заготовок менших розмірів, ніж в цехах гарячої прокатки. Це дозволяє застосовувати

будівлі з прямокутним контуром, в основному з паралельним розташуванням прольотів.

У цехах холодної прокатки призначені для обтиснення холодного металу між валками для отримання різного профілю готової продукції: тонкі листи і смуги в рулонах, жерсть, фольгу, профільний лист, катанку, дріт та інші профілі.

Оброблюваний матеріал-сталь, кольорові метали і їх сплави. Готова продукція відрізняється підвищеною якістю поверхні, точністю геометричних розмірів, рівномірністю структури металу. Номенклатура прокату відрізняється різноманіттям і використовується у всіх галузях промисловості. Це спеціальні сталі, кольорові сплави з певними властивостями: тонкий лист і профільний лист для будівельної галузі, автолист і електротехнічний лист, катанка та дріт для електрообладнання, лист з кольорових металів і їх сплавів, жерсть та фольга для харчової промисловості і електроніки, лист для авіабудування, хімічного машинобудування та побутової техніки[6].

Структура ЦХП-1 складається з травильного (разом з установкою регенерації соляної кислоти), прокатного, термічного, дресирувального відділень та відділення обробки х/к металу, відділення з виробництва жерсті, ділянки прийому та відвантаження продукції. Травлення рулону призначено для видаленні окалини з поверхні гарячекатаних смуг сталі в розчині соляної кислоти безперервним способом, збільшення розважування рулону, обрізу бічних крайок на задану ширину, видаленні дефектів попередніх переділів. Після сушки рулони відправляються на прокатування до прокатного відділення, де відбувається обтиснення г/к травленого рулону до потрібної товщини. Після прокатування рулон поступає до термічного відділення, призначення якого полягає у світлому рекристалізаційному відпалі щільно намотаних х/к рулонів і пом'якшуючого відпалу г/к рулонів. Рекристалізаційний відпал застосовується для зняття наклепу х/к металу і



відновлення його пластичних властивостей. Пом'якшувальний відпал проводиться для знеміцнення г/к рулонів. Після термічної обробки х/к рулон починають охолоджувати до температури цеху (температура рулону після термічної обробки становить близько 140°C) на стенді печі з охолоджуючим ковпаком. [4]

Після термічної обробки х/к рулон починають охолоджувати до температури цеху (температура рулону після термічної обробки становить близько 140°C) на стенді печі з охолоджуючим ковпаком. Мета дресування – остаточна обробка поверхні металу і отримання кінцевих механічних властивостей. У процесі дресування усувається хвилястість і коробоватість, тобто поліпшується планшетність. Смуги після дресування мають рівну гладку поверхню. При дресування велике значення мають ступінь обтиску (деформація) і температура металу перед дресуванням. Після того, як х/к рулон пройшов прокатування на одноклітьовому реверсивному стані «1200» та дресування на станах «1700-1,2», потрапляє у агрегат розпуску рулону (АРР), після проходження якого відбувається процес отримання жерсті та стрічки[7].

### 1.3 Обсяги виробництва холоднокатаної продукції

Як зазначалось у попередньому розділі, мета ПАТ «Запоріжсталь» - збільшення обсягів виробництва кожного виду придатної продукції (х/к продукція в тому числі) як у стабільному так і у відносно стабільному стані економіки. Із загальної динаміки виробництва придатного прокату з 2013 по 2019 роки (рисунок 1.1 та 1.2) видно поступове збільшення обсягів виробництва, що свідчить про виконання поставленої цілі ПАТ «Запоріжсталь», хоча у 2016 та 2019 роках було незначне зменшення виробництва придатного прокату на 0,022 та 0,014 млн. т відповідно.

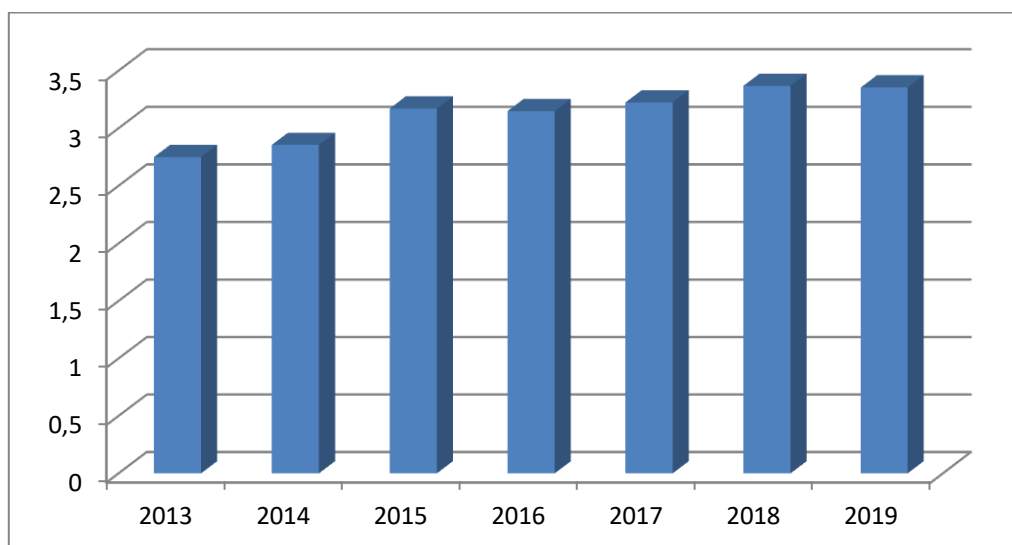


Рисунок 1.1 – Обсяги виробництва прокату

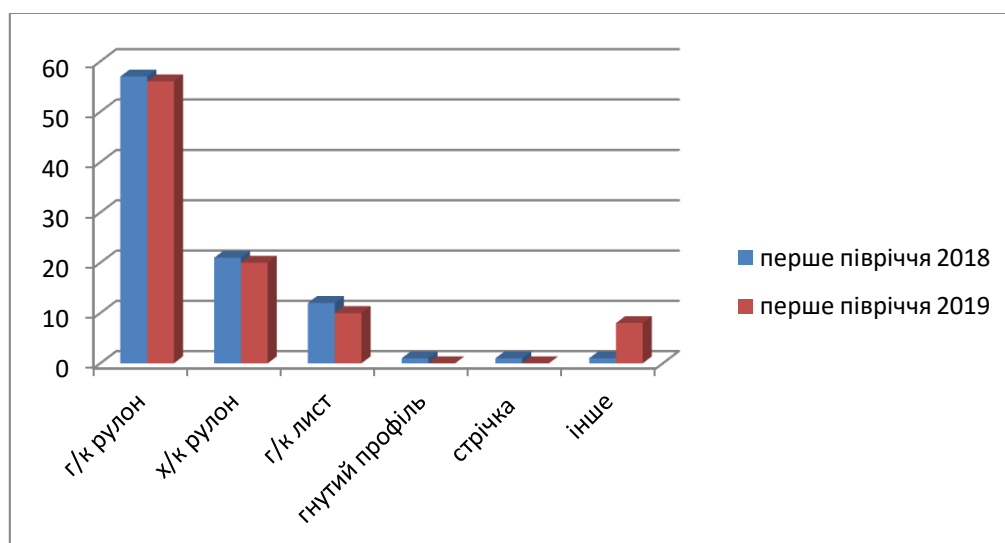


Рисунок 1.2 – Реалізація продукції ПАТ «Запоріжсталь» за часткою за видами продукції

ЦХП-1 випускає як х/к прокат так і х/к лист та стрічку, а також жерсть. У таблиці 1.1 приведено обсяги виробництва кожного виду продукції ЦХП №1 за 2018-2019 роки відповідно [1,3].



Таблиця 1.1 – Обсяги виробництва продукції ЦХП-1 в період з 2018 по 2019 роки

Рік	Обсяги виробництва холоднокатаної продукції			
	Холоднокатаний рулон	Холоднокатаний лист	Холоднокатана стрічка	Жерсть
	Тис.т	Тис.т	Тис.т	Тис.т
2018	610,8	333,5	22,3	28,1
2019	682,3	282,3	29,3	26,8

З таблиці 1.1 видно, що домінуючим видом продукції є х/к прокат, але й обсяг виробництва х/к листа теж має значну частку від загального виробництва придатної продукції. Помітним є збільшення виробництва х/к придатного прокату у 2019 році порівняно з 2018 роком майже на 11%, що в повній мірі показує одну з основних цілей ПАТ «Запоріжсталь» як металургійного підприємства.

ПАТ «Запоріжсталь» є дуже енергоємним підприємством, яке використовує велику кількість ресурсів: залізорудна сировина, вапняк, окатиші, природній та коксовий газ, кокс, кисень, металобрухт та електроенергію.

На сьогоднішній день більшість підприємств, які використовують електричну енергію для виробництва, приділяють достатню увагу її споживанню, через те що вартість електроенергії поступово змінює свою вартість у часі. По-друге, кількість використаної електричної енергії (у грошовому еквіваленті) закладається у собівартості продукції, тому, чим більша кількість спожитої електричної енергії для виготовлення продукції, тим більша частка (%) електроенергії закладається у собівартість, отже, тим більша собівартість продукції. Тому постає питання розгляду споживання електричної енергії як виду енергоресурсу, який впливає на собівартість продукції.

За 2019 р. ПАТ «Запоріжсталь» спожив 1090,518 млн. кВт•год. На рисунку 1.3 приведена діаграма споживання електричної енергії ПАТ «Запоріжсталь» за структурою виробництва продукції.

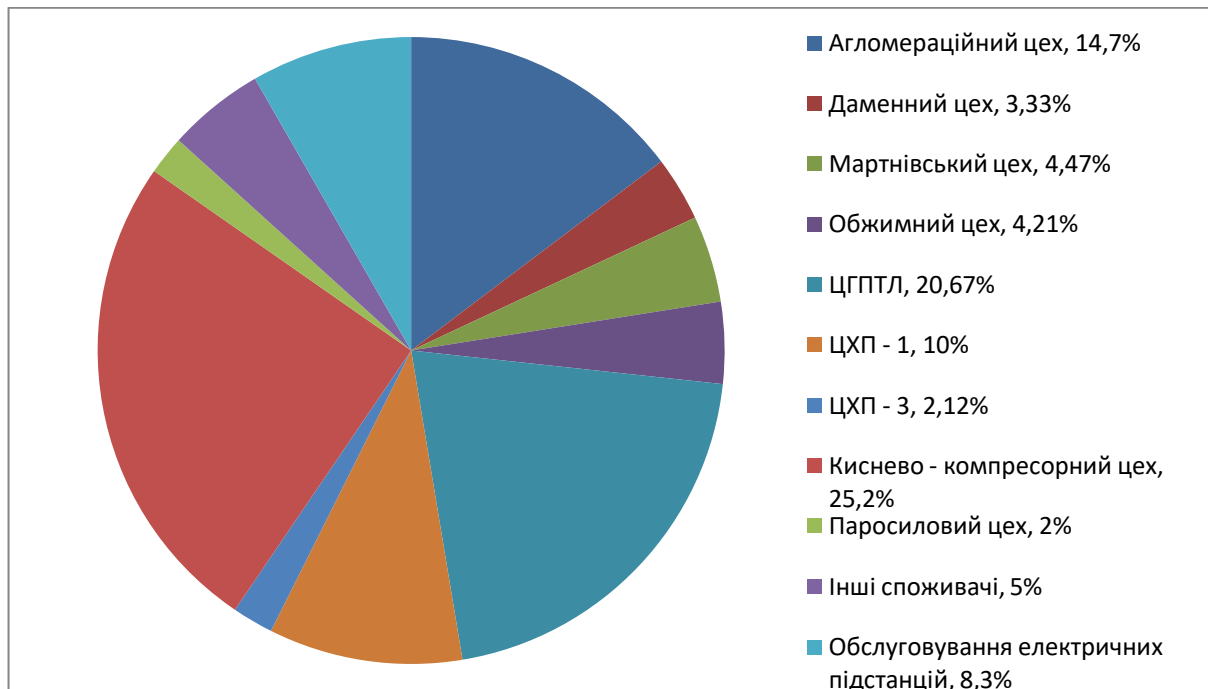


Рисунок 1.3 – Споживання електроенергії ПАТ «Запоріжсталь» за 2019 рік

Протягом багатьох років комбінат впроваджував енергозберігаючі заходи, які стосувалися споживання електричної енергії, та у першому півріччі 2019 року показник частки електроенергії у собівартості товарів склав 7%.

Проаналізувавши рисунок 1.3 можна зробити наступний висновок:

– найбільші споживачі електроенергії підприємства: киснево-компресорний цех (25,2%), агломераційний цех (14,7%), ЦГПТЛ (20,67%) та ЦХП-1 (10%);

– 37% електричної енергії на підприємстві споживається на виробництво прокату: 4,2% витрачається на обжимання злитків, та отримання слябів, з яких отримують г/к прокат; 20,67% приходиться на

виготовлення г/к рулону та листа; 10% – на виготовлення х/к прокату ЦХП-1 та 2,12% – на виготовлення х/к прокату ЦХП-1.

Підвищення енергоефективності роботи та раціональне використання ресурсів – пріоритетний напрямок діяльності ПАТ «Запоріжсталь», якому приділяється достатня увага. Наявність система енергетичного менеджменту, дозволяє знижувати собівартість та енергоємність продукції, витрати на енергоносії[8].

#### 1.4 Аналіз витрат електричної енергії обладнанням ЦХП-1

Як зазначалося вище, ПАТ «Запоріжсталь» є енергоємним підприємством, яке використовує різні види ресурсів для виробництва сталі, чавуну, г/к та х/к прокатів. Було визначено, що у загальній долі споживання електроенергії підприємством частка ЦХП-1 складає 10 %; з кожним роком обсяг виробництва х/к прокату збільшується та на 2017 рік сумарний обсяг випуску прокату склав 3,354 млн т. Тому постає питання аналізу річного споживання електроенергії структурними відділеннями ЦХП-1.

У таблиці 1.2 наведена питома витрати електроенергії на тону продукції та річний обсяг виробництва придатної продукції агрегатів [1, 11, 13].

Таблиця 1.2 – Питома витрата електроенергії

1	2	3
Назва відділення	Агрегат відділення	Питома витрата електроенергії, кВт*год
Травильне	Приймальний конвеєр рулонів	1564892
	СПО	922456
	БТА-4	8794223
Прокатне	Безперервний стан «1680»	41865124
	Реверсивний одно клітковий стан	5586632



Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Прокатне	Безперервний стан «1680»	41865124
	Реверсивний одно клітковий стан «1680»	5586632
	Реверсивний стан «1200»	2546871
Термічне	ГНКП	954782
	«EBNER»	758947
Дресирувальне та обробки х/к металу	Одноклітьовий стан 1700-1	1895641
	Одноклітьовий стан 1700-2	4186547
	АПР-1	487542
	АПР-2	389655
	АПР-3	458274
	АПР-4	122456
	АПР-5	198712
	Стан «Кватро»	412865
Жерстяне	АРР	459874
	Стан «450»	983745
	Стан «650»	2897412
	Д/н – 4	128974
	ЧМА1 – 3	925426
	Електропечі	7285615
	Дресирувальні стани «ДУО» 1-4	2254563
	Агрегат «Зундвиг»	1358974
	Агрегат різання та упакування смуги	4527543

До складу ЦХП-1 також входять 12 трансформаторних підстанцій (рисунок 1.4) на яких застосовуються трифазні силові трансформатори з вищою напругою 6 кВ. В цеху застосована змішана схема живлення споживачів електричної енергії, обладнання цеху відноситься до 1 категорії.

В цеху використовується обладнання на різні класи напруги від 0,4 кВ до 12 кВ змінної та постійної напруги. Схема живлення та розподілу електричною енергією 6 кВ підстанцій цеху приведена на рисунку 1.4. [3].

Основною підстанцією яка живить ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» – це знижувальна підстанція М-1.

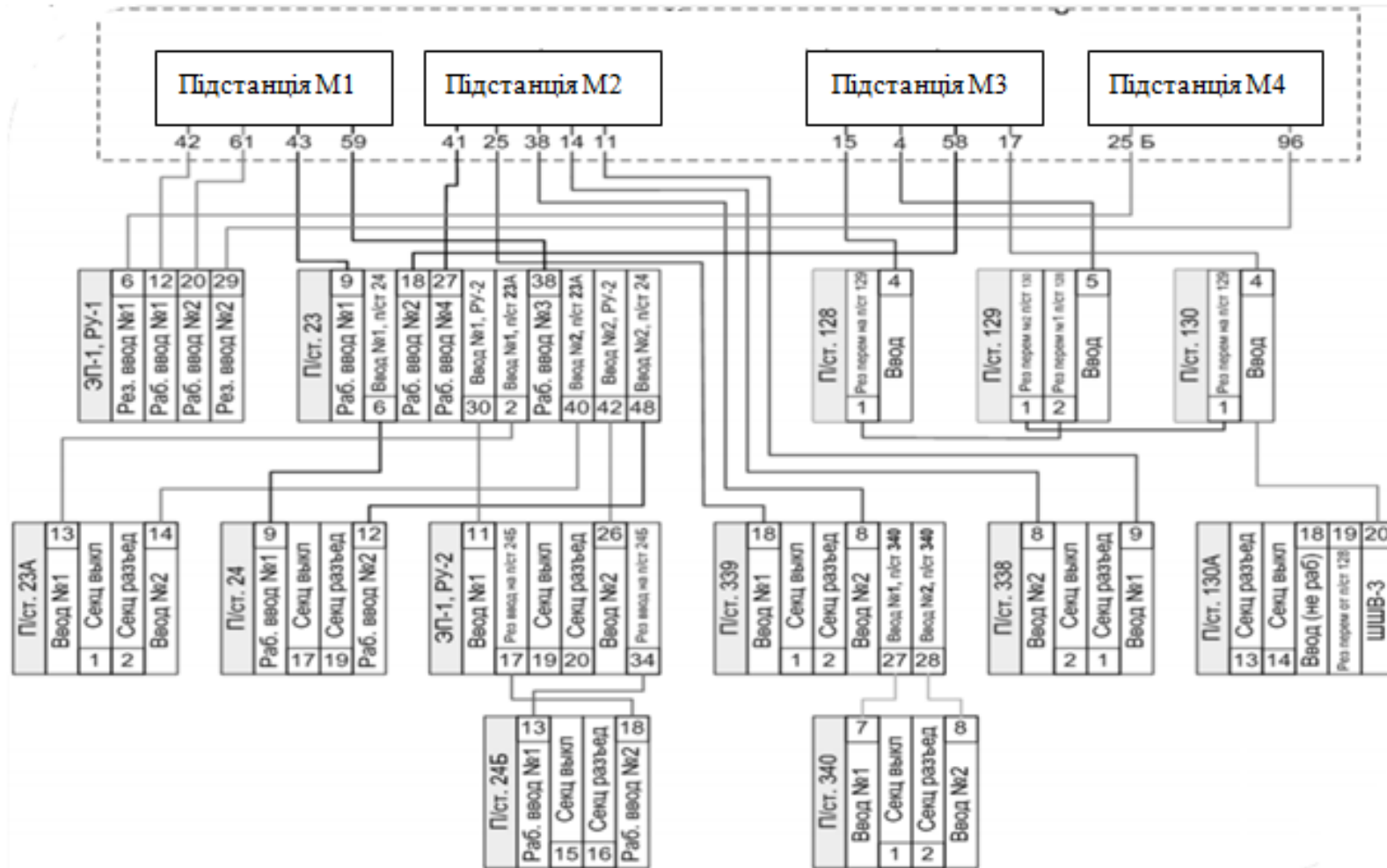


Рисунок 1.4 – Схема живлення електричною енергією цеху

## 1.5 Характеристика підстанції М-1

Знижувальна підстанція М-1 підприємства ПАТ «Запоріжсталь» м. Запоріжжя здійснює безперебійне електропостачання споживачів комбінату електричною енергією. Структурна схема підстанції М-1 зображена на рисунку 1.5.

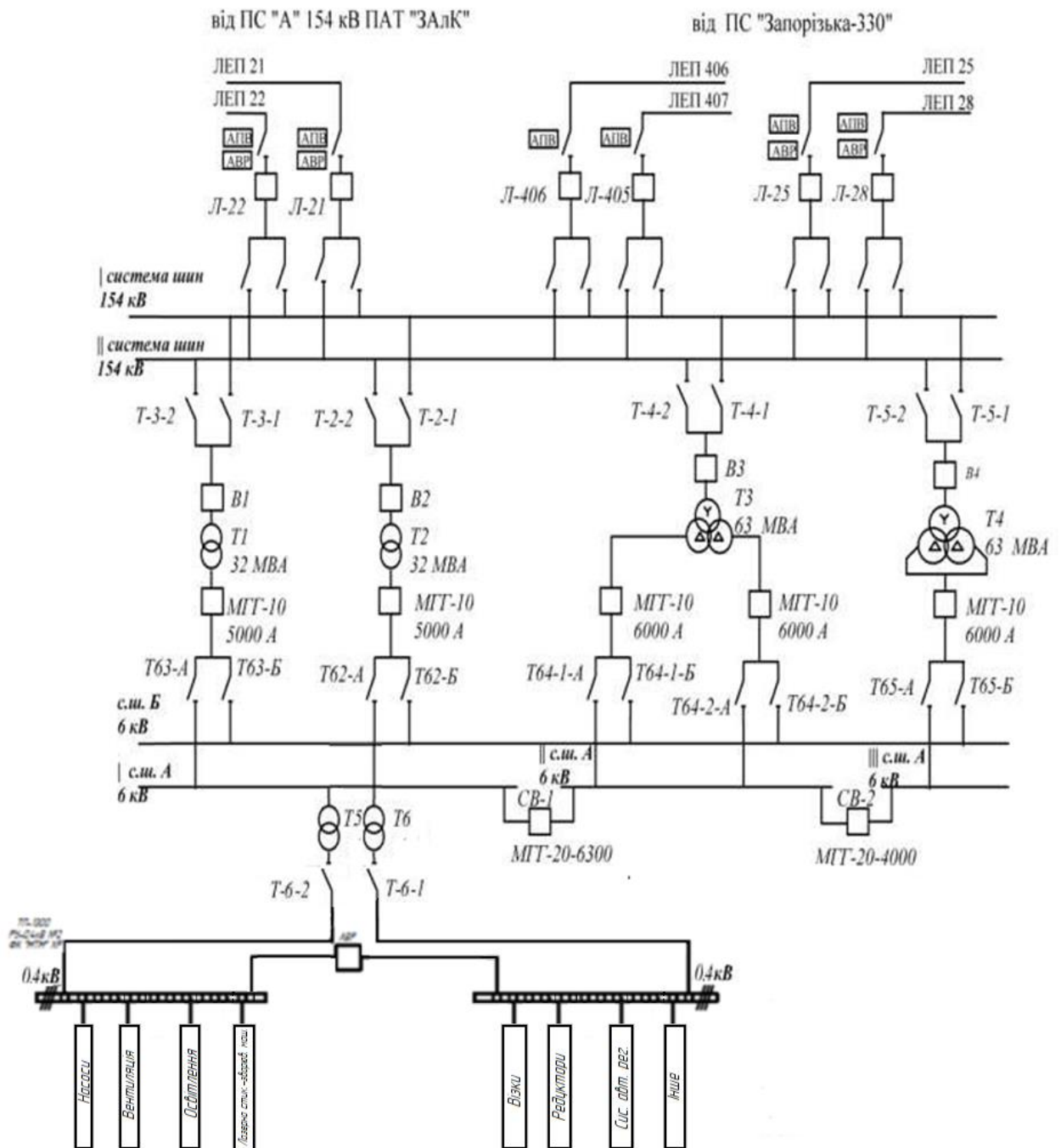


Рисунок 1.5 – Структурна схема знижувальної підстанції М-1



Підстанція М-1 (рисунок 1.5) живиться від шести повітряних ліній електропередачі (далі ЛЕП) напругою 150 кВ:

- ЛЕП № 25, 28, 405 і 406 від підстанції «Запорізька-330»;
- ЛЕП № 21 і 22 від підстанції «Алюмінієва»;
- ЛЕП 150 кВ обладнані пристроєм автоматичного повторного включення (далі АПВ).

Залежно від режиму роботи енергосистеми прийнята поздовжня або поперечна схеми електропостачання підстанції М-1.

Поздовжня схема:

- ЛЕП №21 та № 405 включені на I-у систему шин 150 кВ;
- ЛЕП № 25 знаходиться в резерві;
- ЛЕП № 22 і № 406 включені на II-у систему шин 150 кВ;
- ЛЕП № 28 знаходиться в резерві;
- між шинний масляний вимикач (МВ) М-1 відключений.

Поперечна схема:

- ЛЕП №21, 22, 25, 28 включені на I-у систему шин 150 кВ.
- ЛЕП №405 і 406 включені на II-у систему шин 150 кВ.
- між шинний МВ М-1 відключений.

В резерві (роботі) знаходяться чотири силових трансформатори напругою 150; 6 кВ:

1. Трансформатори №1 і №2 потужністю по 32 МВА кожен зібраний на I-у систему шин 150 кВ. Трансформатор №1 і №2 знаходяться під напругою. З боку шин 6 кВ схеми зібрані на секцію шин Б-I.

2. Трансформатор №3 потужністю 63 МВА з розщепленою обмоткою вторинної напруги, зібраний на II-у систему шин 150 кВ і знаходиться під напругою. З боку 6 кВ зібрана схема лінії Т4-1/32 (потужністю 31,5 МВА) на секцію шин А-II. Лінія Т64-2/44 знаходиться в ремонті[9].

3. Трансформатор №4 потужністю 63 МВА з розщепленою обмоткою вторинної напруги, зібраний на II-у систему шин 150 кВ і знаходиться під напругою. З боку 6 кВ схема зібрана на секцію шин А-III.

У нормальному режимі живлення підстанції М-1 здійснюється:

1. Секція шин А-I живиться по лінії зв'язку №1 М1-М14 від I-ї секції шин 6 кВ з пропускною спроможністю 2500 А.
2. Секція шин А-II живиться по лінії зв'язку №2 М1-М14 від II-ї секції шин 6 кВ з пропускною спроможністю 2000 А.
3. Секція шин А-III живиться від секції шин А-II через увімкнений секційний вимикач СВ-2/55.
4. Система шин Б-I живиться від трансформатора №3 потужністю 32 МВА або трансформатора №2 потужністю 32 МВА.
5. На ТЕЦ на секцію шин А-I підключено турбогенератор (ТГ) №1 потужністю 35 МВт, що працює в паралель з секцією шин А-II.
6. Включені пристрої компенсації ємнісних струмів:
  - на секції шин А-I пристрій КУ-1/6;
  - на системі шин Б пристрій 123-2-КУ-2/38;
  - на секції шин А-III пристрій КУ-3/67.

#### 1.6 Аналіз витрат електричної енергії обладнанням ЦХП-1

Річне споживання електроенергії обладнанням цеху холодного прокату за 2020 року наведено на рисунку 1.6 .



Рисунок 1.6 – Витрати електричної енергії обладнанням цеху

Графік, що наведений на рисунку 1.6 показує споживання усіх споживачів електричної енергії з урахуванням сторонніх споживачів.

Аналіз інформації наведеної на графіку (рисунок 1.6) показує, що цех і його електрообладнання є досить енергоємним.

Електроспоживання за рік ділянками цеху в процентному співвідношенні, наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Споживання електроенергії споживачами цеху



З наведеної на рисунку 1.7 діаграми видно, що основним споживачем електричної енергії цеху є прокатний стан БТЛС-1680 так як він споживає до 92 % електричної енергії.

Такий розподіл можна пояснити тим що прокатний стан працює майже безперервно і на ньому виготовляється великий об'єм продукції в порівнянні з іншими ділянками цеху, які працюють від замовлення або є менш енергоємними. Так як на них задіяне менше обладнання та їх масштаби в порівнянні зі станом набагато менші.

Об'єм річних витрат електроенергії у ЦХП-1 та річний об'єм виробленої продукції ЦХП-1 наведений у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Загальний об'єм річних витрат електричної енергії ЦХП-1 та річний об'єм виробленої продукції ЦХП-1

Місяць	Об'єм виготовленої продукції М, тон	Споживання W,кВт*год
1	103380	7880250
2	108504	8063500
3	94289	7244375
4	95523	7363550
5	98979	7543900
6	97839	7463600
7	98292	7513900
8	102533	7821325
9	100921	7686125
10	102435	7788675
11	100327	7637125
12	105445	7961400

Отже, річні витрати електроенергії ЦХП-1 91967725,2 кВт\*год. та річний об'єм виробленої продукції ЦХП-1 1208467 тон.

### 1.7 Аналіз витрат електричної енергії обладнанням в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1

Як наведено у рисунку 1.7 обладнання розподільної мережі 0,4 кВ споживає 4% від усього об'єму витрат електроенергії в ЦХП-1. В розподільну мережу 0,4 кВ ЦХП-1 підключено декілька видів обладнання. Витрати електричної енергії за рік обладнанням у мережі 0,4 кВ ЦХП-1 в процентному співвідношенні, наведено на рисунку 1.8.

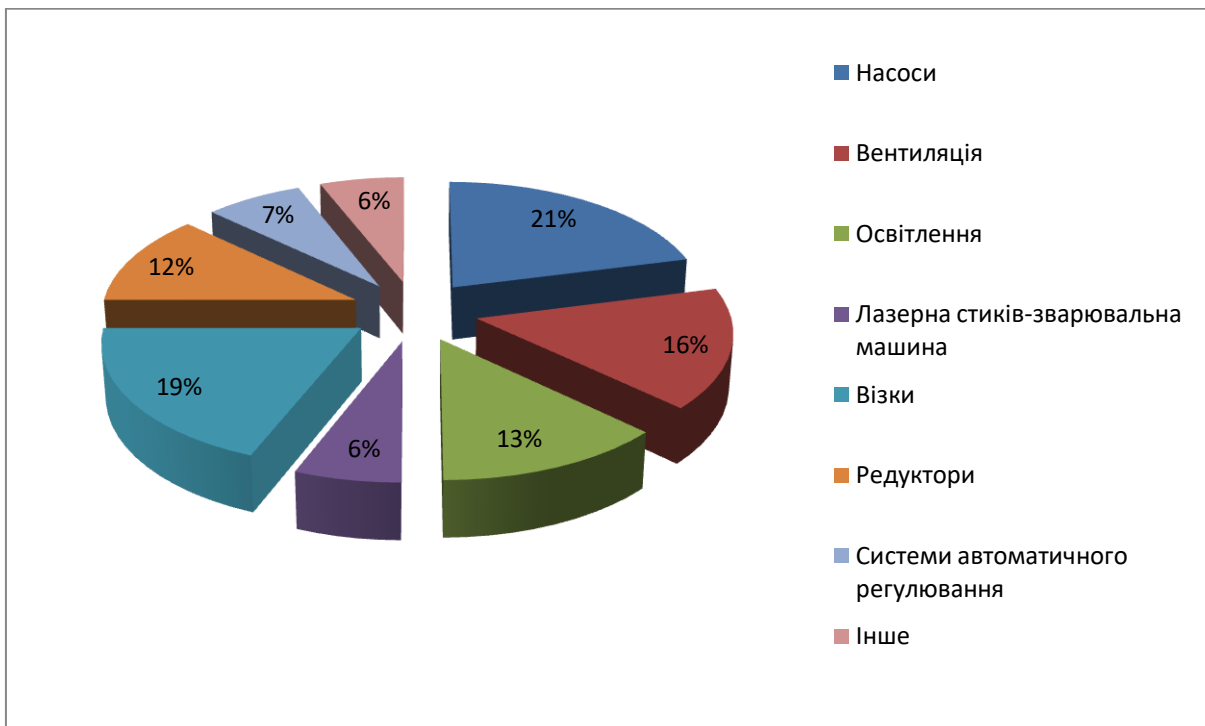


Рисунок 1.8 – Витрати електричної енергії за рік обладнанням у розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 в процентному співвідношенні

Річні витрати електричної енергії обладнанням у розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Річні витрати електричної енергії кВт\*год обладнанням у розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1

Міс	Насоси	Вентиляція	Освітлення	Лазерна стиків-зварювальна машина	Візки	Редуктори	Система автоматичного регулювання	Інше	Сума
1	65745	50457	42186	30156	60256	37125	10779	18506	315210
2	66451	52045	43265	31072	62457	37549	10750	18951	322540
3	62439	50252	40357	27431	51946	31423	10697	15230	289775
4	63467	50772	40853	28022	52021	32058	10564	16785	294542
5	64451	50925	40915	28275	56029	33427	10275	17459	301756
6	63987	49929	40715	28704	55381	33567	10119	16142	298544
7	64023	49854	40517	28075	56804	34058	10164	17061	300556
8	65081	50672	41095	29029	58582	38841	10590	18963	312853
9	64164	50089	40959	29805	56021	38238	10364	17805	307445
10	64867	50204	41057	29025	57931	39041	10703	18719	311547
11	63823	50150	40483	28451	57075	38067	10355	17081	305485
12	66040	50404	41973	30022	62407	39016	10811	17783	318456
Сума	774538	605753	494375	228067	686910	432410	246171	210485	3678709



Загальні витрати електричної енергії за рік обладнанням у мережі 0,4 кВ ЦХП-1 в, наведено на рисунку 1.9.

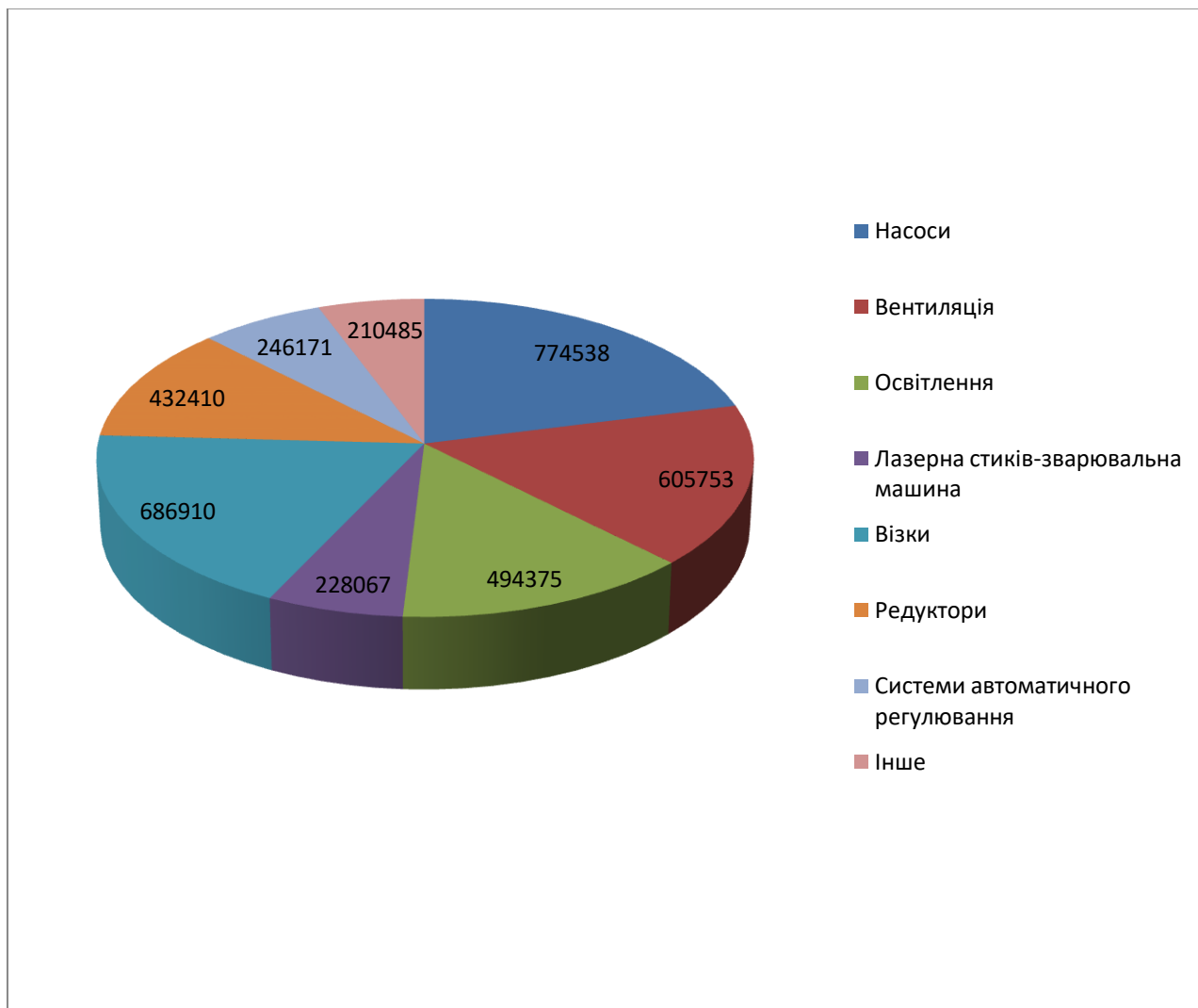


Рисунок 1.9 – Загальні витрати електричної енергії за рік обладнанням у мережі 0,4 кВ ЦХП-1

Проаналізувавши таблицю 1.4 та рисунок 1.9 робимо висновок, що загальний об'єм річних витрат обладнанням у мережі 0,4 кВ ЦХП-1 3678709 кВт\*год.

## 1.8 Втрати електроенергії в ЦХП-1

Втрати електроенергії в електромережі — це витрати електричної потужності при проходженні електричного струму через ЛЕП та електрообладнання системи електропостачання споживачів.

Причини втрат електричної енергії:

- підтримка постійного струму обмоток збудження синхронних двигунів не залежно від режимів роботи, заборона регулювання струмів збудження цехом мереж та підстанцій через вплив на споживання реактивної потужності;

- постійне споживання електроенергії обмотками збудження електродвигунів натискних пристроїв незалежно від режимів роботи, неповне розбирання схеми при холостому ході стану, в результаті чого на прокатні двигуни подається повне збудження замість мінімального;

- постійна робота вентиляційної системи незалежно від режимів роботи стану;

- постійна робота систем маслозмащування незалежно від режимів роботи стану;

- постійна робота систем гідравліки незалежно від режимів роботи стану, робота однієї НАС на два агрегати (безперервний чотирьох клітьовий стан «1680» та реверсивний одноклітьовий стан «1680»);

- недовантаження потужностей допоміжний приводів при прокатці одинарних рулонів, збільшення кількості циклів на тонну прокату.

- причини втрат електроенергії у відділенні обробки х/к металу:

- недовантаження потужностей приводів при різанні рулонів, збільшення кількості циклів на тонну прокату;

- постійна робота систем гідравліки, маслозмащування незалежно від режимів роботи агрегату[11].

Втрати електроенергії ЦХП-1 в мережах 0,4 , 6 , 12 кВ зображенні на рисунку 1.10.

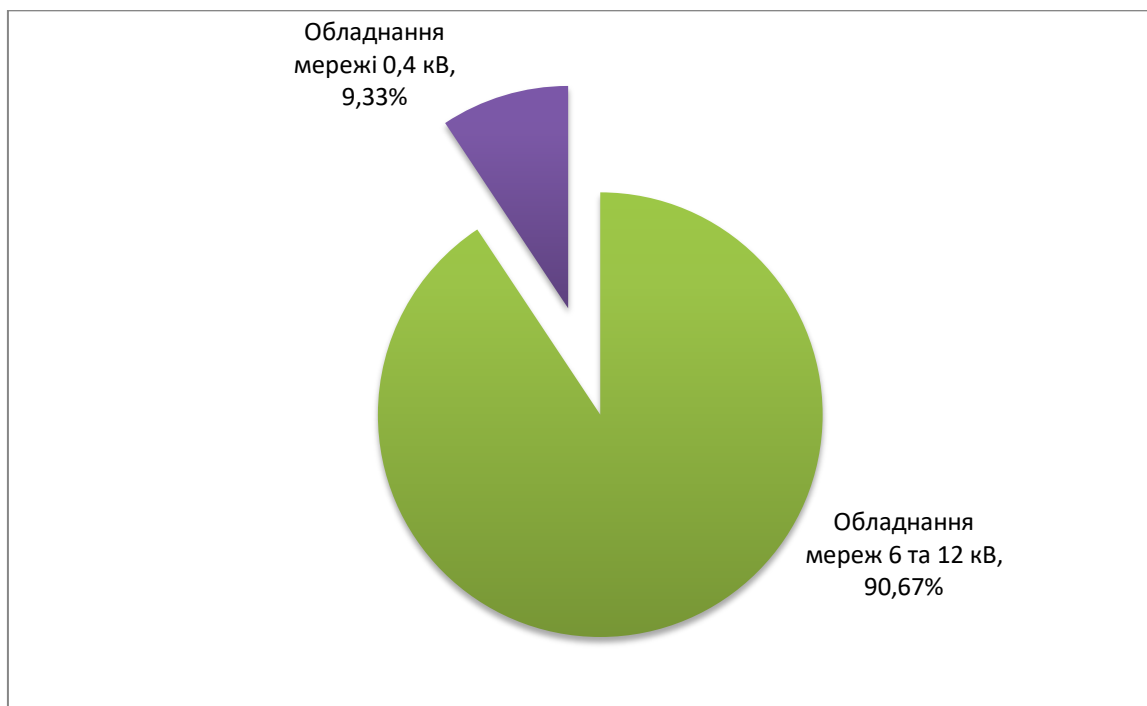


Рисунок 1.10 – Втрати електроенергії у цеху

Проаналізувавши рисунок 1.10 робимо висновок, що 90,67 % втрат електроенергії приходить на обладнання мереж 6 та 12 кВ,. Інші 9,33 % припадають на обладнання мереж 0,4 кВ.

Втрати електроенергії в мережі 0,4 кВ у першому місяці 2020 року становить 28368,9 кВт\*год. Як відомо втрати кВт\*год квадратично пропорційно залежать від зміни витрат кВт\*год. Розраховані за допомогою засобів MS Excel річні втрати зображенні у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Втрати електричної енергії в мережі 0,4 кВ в ЦХП-1

1	2	3
Міс	Витрати W, кВт*год	Втрати ΔW, кВт*год
1	315210	28368,91
2	322540	29703,64
3	289775	23975,32

Продовження таблиці 1.5

1	2	3
4	294542	24770,63
5	301756	25998,86

6	298544	25448,33
7	300556	25792,49
8	312853	27946,23
9	307445	26988,42
10	311547	27713,39
11	305485	26645,41
12	318456	28956,19

Загальні середні втрати електричної енергії у розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 на виготовлення продукції складають 26000 кВт\*год на місяць, або 322307,79 млн. кВт\*год на рік.

Таким чином, зважаючи на високі втрати електричної енергії у розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1, виникає необхідність у прогнозуванні втрат при зміні об'ємів виробництва, адже неточний або приблизний розрахунок перспективних втрат електроенергії може призвести до значних матеріальних збитків.

## 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 2.1 Передумови прогнозування



Економічно обгрунтовані рішення щодо ефективного розвитку промислових підприємств вимагають завчасного передбачення втрат електричної енергії у мережах підприємств.

На процес формування графіків навантаження у кожний момент часу має вплив велика кількість факторів, як випадкових, так і закономірних.

Мета прогнозу - оцінити величину втрат електричної енергії за відповідний проміжок часу для завчасного планування режимів електроспоживання підприємства. Завдання полягає в мінімізації невизначеності з метою найкращого наближення прогнозованого графіка втрат до майбутнього фактичного. Це дозволить у перспективі визначити ефективну структуру робочих потужностей, визначити основні режими роботи обладнання

У загальному вигляді можна відокремити декілька принципово різних підходів до прогнозування[15].

## 2.2 Метод прогнозної екстраполяції

Метод базується на математичній екстраполяції, за якої вибір апроксимуючої функції здійснюється на основі умов та обмежень розвитку об'єкта прогнозування. Залежно від виду аналізу вихідних даних та способів представлення його результатів розрізняють такі види прогностичної екстраполяції: екстраполяція тренда, екстраполяція огиначаючих кривих, екстраполяція кореляційних та регресивних залежностей, екстраполяція, побудована на факторному аналізі. Так само і методи прогнозної інтерполяції базуються на математичній інтерполяції, за якої вибір інтерполуючої функції здійснюється з урахуванням умов і обмежень розвитку об'єкта прогнозування.[14]

## 2.3 Метод аналізу часових рядів

Аналіз часового ряду починається з побудови і вивчення його графіка. Якщо нестационарність часового ряду очевидна, то спочатку необхідно виокремити його нестационарну складову. Процес виокремлення тренду та інших компонент ряду, що призводять до порушення стаціонарності, може проходити в декілька етапів. На кожному з них розглядається ряд залишків, отриманий у результаті вирахування з вихідного ряду підбраної моделі тренду, або результат різницевих і інших перетворень ряду. Крім графіків, ознаками нестационарності часового ряду можуть служити автокореляційна функція, що прямує не до нуля (за винятком дуже великих значень лагів) і наявність яскраво виражених піків на низьких частотах у періодограмі. За допомогою автокореляційної функції досліджують також внутрішні зв'язки між елементами часових рядів. У вибіркових дослідженнях найпростіші числові характеристики описової статистики (середнє, медіана, дисперсія, стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії й ексцесу) звичайно дають достатньо інформативне уявлення про вибірку. Графічні методи зображення й аналізу вибірок при цьому грають лише допоміжну роль, дозволяючи краще зрозуміти локалізацію і концентрацію даних, їхній закон розподілу. Роль графічних методів при аналізі часових рядів цілком інша. Табличне представлення часового ряду й описових статистик частіше за все не дозволяє зрозуміти характер процесу, у той час як за графіком тимчасового ряду можна зробити досить багато висновків. Надалі вони можуть бути перевірені й уточнені за допомогою розрахунків. Цей метод потребує наявності даних за тривалий проміжок часу і є аналізом кривої розвитку. Перевага методу полягає в його простоті та наочності, хоча не всюди застосовується (причиною можуть бути структура зміни тощо)[13].

#### 2.4 Метод інваріантів

Метод полягає в аналізі співвідношень між кількома динамічними рядами, взаємопов'язаними певними показниками. Якщо економічний та статистичний аналізи виявляють стійкість співвідношень між рядами в минулому, то ці (квазіінваріантні) співвідношення екстраполюються на майбутнє, приймаючи один із рядів за опорний. Вибір опорних показників здійснюється на основі економічного аналізу, а не статистичного розрахунку. Опорні показники беруться з моделей більш високого рівня - задача вибору надійних варіантів числових значень опорних показників для періоду прогнозу. Потребується введення додаткової гіпотези про рух багатьох (опорних) показників. За форму функціонального зв'язку між шуканою величиною та опорним показником може бути обрана еластичність. Ефект насичення розраховується шляхом переходу до змінного коефіцієнта еластичності за допомогою функції еластичності[13].

## 2.5 Метод побудови сценаріїв

Прагнення до окремих прогнозів і логічної побудови багатоваріантних моделей знаходить своє вираження у схемі сценарію, поєднуючи структурний підхід з історичним. Від чисто описової моделі сценарій відрізняється систематичністю. Системний підхід потребує диференціації класів можливих траєкторій руху системи в просторі стану:

- історичні реальні траєкторії.
- планові траєкторії.
- множина планових траєкторій багатоваріантного прогнозу .
- оптимальні та магістральні траєкторії.

Розробка сценаріїв укладається в такі фази :

Фаза 1. Збір та обробка інформації , аналіз тенденцій.

Фаза 2. Будується провізорний сценарій – роздроблення структури на ведучу ( прогресивну ) та перехідну ( адаптивну ) ланку .

Фаза 3. Уточнення процесів еволюції та формування сценарію з розробкою по етапах[14].

## 2.6 Метод експоненціального згладжування

Метод є одним з ефективних та надійних методів прогнозування. Сутність цього методу полягає в тому, що кожен елемент (рівень) часового ряду згладжується за допомогою зваженої плинної середньої, причому вага її зменшується по мірі віддалення від кінця ряду. Перевагами цього методу є можливість враховувати вагу вихідної інформації, простота процедур обчислення, гнучкість в описанні різних динамік процесів. Реалізується можливість отримання оцінки параметрів тренда на момент останнього спостереження об'єкта. Найскладнішим етапом є вибір параметру згладжування  $\alpha$  для початкових умов та степеня прогнозуючого полінома.

Вихідний динамічний ряд описується формулою:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 t + \frac{\alpha_2 t^2}{2} + \dots + \frac{\alpha_p t^p}{p!} + \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

Залежно від величини параметру прогновної оцінки порізноmu враховується вплив вихідного ряду спостережень. Тобто, чим вище значення коефіцієнту  $\alpha$ , то більший вклад останніх спостережень у формуванні тренда, а вплив початкових умов швидко зменшується[14].

## 2.7 Метод імовірнісного моделювання



Розвитком методу експоненціального згладжування є метод імовірнісного моделювання. Імовірнісний метод являє собою метод неконструктивного доведення, що, в першу чергу, використовується у комбінаториці та винайдений Паулем Ердьошем, для доведення існування наперед визначеного виду математичних об'єктів. Він працює через демонстрацію того, що, якщо випадково обрати об'єкти з деякого класу, ймовірність того, що результат є визначеного вигляду, більше нуля. Хоча доведення використовує ймовірність, кінцевий висновок визначається напевно, без будь-якої похибки. Якщо кожен об'єкт у наборі об'єктів не має певної властивості, тоді ймовірність, що випадковий об'єкт, обраний з цього набору має цю властивість, становить нуль. І у зворотньому напрямку, якщо ймовірність, що випадковий об'єкт має цю властивість, більше нуля, тоді це доводить існування принаймні одного об'єкта у даному наборі, що має цю властивість. Навіть якщо ймовірність дуже мала; будь-яка позитивна ймовірність доводить це твердження. Ще один спосіб використання імовірнісного методу - це обчислення очікуваного значення деякої випадкової змінної. Якщо може бути показано, що деяка випадкова змінна може приймати значення менше ніж очікуване, це доводить, що випадкова змінна може також приймати деяке значення більше, ніж очікуване.

Відмінність полягає в тому, що у імовірнісних моделях оцінюють ймовірності, а не коефіцієнти. Перевагою є те, що оцінки мають більш конкретний характер. Основним недоліком є необхідність використовувати велику кількість спостережень[14].

## 2.8 Метод адаптивного згладжування

Перевагою є можливість згладжувати та прогнозувати ряди з довільною динамікою, а недоліком є відсутність чіткої процедури оцінки необхідності чи достатності довжини вихідної інформації. Для скінченних рядів немає конкретних умов оцінки точності прогнозу. У зв'язку з наявністю випадкової складової в процесі коливання навантаження, а отже, присутності невизначеності, перспективні ГН визначають імовірно-статистичними методами. Методи імовірного моделювання дозволяють визначити основні характеристики режимів електричного навантаження шляхом статистичної обробки ГН. Основним методом вивчення коливань навантаження є виявлення кореляційних зв'язків між різними показниками режиму споживання. Тип кореляційної залежності визначається імовірною моделлю коливання навантаження. Процедура визначення виду прогностичної залежності та розрахунків їх параметрів повинні забезпечувати раціональне стиснення інформації про минулі зміни навантаження без втрат точності й достовірності прогнозів. Методи математичної статистики дають можливість ефективно простежити характер змін і виявити необхідні закономірності для подальшого проведення розрахунків. Процес прогнозування часових залежностей вкладається в загальну систему лінійного регресійного аналізу. Регресійний аналіз на основі нелінійних моделюючих функцій (предикторів) виконується ітераційним методом, де кожна ітерація є лінійним оцінюванням параметрів. Застосування регресійного аналізу ефективно при моделюванні усталених тенденцій. Для визначення ряду прогнозованих значень основних показників ГН використовують простіші прогнози на основі часових багаточленів. Прогноз річних максимальних навантажень виконують за допомогою багаточлена  $n$ -го порядку за формулою:

$$Y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \dots + \alpha_{n-1} t^{n-1} + \alpha_n t^n, \quad (2.2)$$

Практичні розрахунки показують, що використання багаточлена другого порядку дає достатню точність, а збільшення точності полінома дає невелику точність приближення. Моделювання місячних максимумів навантаження виконується на основі рівнянь, які враховують сезонні коливання прогнозованого параметра за формулою:

$$Y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 \cos(2\pi t/T), \quad (2.3)$$

У випадках прогнозування змінних у часі показників, що нелінійно залежать від оцінювальних коефіцієнтів, використовують моделі нелінійної регресії. Як приклад, функцією такого роду є крива з насиченням, формула:

$$Y(t) = \alpha_0 - \alpha_1 \exp(-\alpha_2 t), \quad (2.4)$$

Для побудови математичної моделі графіка навантаження часову послідовність росту навантаження розкладають на три складові: загальна тенденція розвитку; спорадичні зміни; сезонні коливання. На практиці, для пошуку загальної тенденції розвитку на пряму часової послідовності найбільше поширення здобув метод найменших квадратів, який просто реалізується для лінійних або лінеаризованих залежностей. За апроксимуючу функцію використовують поліном третього степеня. Збільшення степеня полінома дає невелику точність наближення.

Після визначення всіх проміжних значень  $Y(t)$  отримуємо графік навантаження, рівняння:

$$P''(t) = P(t) - Y(t), \quad (2.5)$$

Спорадичні (нерегулярні) коливання є нециклічними і викликані, зазвичай, різкою зміною метеоумов (приміром, люта зима). Сезонні коливання навантаження спричинені зміною пори року. Періодичність коливань становить один рік. Сезонні зміни призводять до непостійності математичного очікування навантаження. Цей недолік усувають використовуючи параметричні моделі, що враховують нестационарність досліджуваного процесу. Основою побудови параметричної моделі є вираження поточного значення електричного навантаження  $P_t$  через попереднє  $P_{t-1}$ .

Застосування методу малих вибірок при аналізі сезонних коливань дає змогу точно визначити конфігурацію добового графіка навантаження, а вираз математичного очікування ГН запишеться як:

$$M[P(t)] = Y(t) + M[x(t)], \quad (2.6)$$

Для підвищення точності прогнозів та приведення до стаціонарності вихідних значень електричного навантаження фільтрують випадкову вихідну інформацію. Прогнозування режимів електроспоживання складається з таких етапів: декомпозиція, прогноз і композиція.

Споживачів розділяють на дві групи: споживання яких підлягає оптимізації і споживання яких не підлягає оптимізації.

На першому етапі визначаються режими електроспоживання не оптимізованої частини споживачів. При цьому, для кожного моменту часу т сезонного ГН вираховується різниця відповідних значень навантаження загального ГН електроспоживання та всіх ГН для процесів електроспоживання, що оптимізуються. На другому етапі здійснюється прогнозування окремо для

ГН споживачів першої групи та загальних ГН електроспоживання другої групи. При цьому на основі ретроспективних даних по ГН електроспоживання встановлено, що форма графіка окремого технологічного процесу є незмінною в часі. Тому для виробництв, що оптимізуються, на перспективу форма ГН приймається незмінною, оскільки для іншої групи виконується прогнозування основних кількісних характеристик за наведеним нижче алгоритмом. Для всіх характеристик сезонних графіків динамічний ряд споживання енергоносія, віднесений до моменту  $\tau$ , апроксимується визначеною часовою залежністю  $x_\tau(t)$ .

Для звільнення від випадкових коливань проводиться вирівнювання за методом найменших квадратів, на основі припущень, що зміна аналізованих параметрів може бути наближено виражена різними математичними співвідношеннями  $y=f(t)$ . Критерієм оптимального наближення є мінімум середньоквадратичного відхилення. При розрахунку трендів цій умові краще за все задовольняє функція:

$$y = a + bt + ct^2, \quad (2.7)$$

Тенденції зміни вказаних коефіцієнтів використовувались для визначення впливу на конфігурацію графіка навантаження умов експлуатації.

Для прогнозного моменту часу  $T$  визначаються очікувані значення електроспоживання, віднесеного до моменту  $\tau$  для кожного графіка по формулі:

$$P_\psi = \psi(T), \quad (2.8)$$

Крім того, кожний ГН характеризується сукупністю загальноприйнятих показників, наприклад,  $P_\psi$  - середнє по всіх моментах  $\tau$  значення споживання енергоресурсів за сезон. Динамічні ряди таких характеристик апроксимуються



визначеними функціональними залежностями регресійного типу, по яких пізніше знаходяться прогнозні значення. Ці величини очікуються незмінними, а прогнозні значення споживання  $P_{\tau t}$  - для кожного  $\tau$  знаходяться з рішення задачі пошуку:

$$\arg \min \left\{ \sum (P_{\tau T} - \varphi_{\tau}(T))^2 \right\}, \quad (2.9)$$

На останньому етапі виконується композиція прогнозних ГН другої групи споживачів та ГН першої групи, отриманих множенням прогнозних ГН у відносних одиницях на величини оптимального електроспоживання для відповідного процесу.

На сьогоднішній день складність прогнозування графіків навантаження особливо зросла через відсутність сталості розвитку не тільки енергетики, а й економіки держави в цілому. Тому використання синтетичних методів для прогнозування перспективних графіків електричного навантаження не може дати надійних результатів, тому є не досить достоєним.

Остаточне вирішення задачі оцінки перспективних режимів електроспоживання в умовах перехідної економіки не може бути здійснене лише формалізованими методами, хоча вони можуть використовуватися як потужний засіб для обробки вихідної інформації. Структурні зміни не відбуваються водночас, і тому тенденції змін можуть бути ідентифіковані.

Слід розглянути можливість застосування експертних методів для прогнозування графіків електричного навантаження. При побудові моделі прогнозування режимів електроспоживання основною вихідною інформацією є динамічні ряди, в яких незалежною змінною є час. Динамічні ряди містять у собі інформацію про зміни певної характеристики в часі. Елементи ряду пов'язані відповідним моментом часу та певним проміжком часу між елементами. Суттєве значення для аналізу має послідовність розташування

досліджуваних даних у ряду, оскільки за всіх випадків час виступає як визначний фактор. Фактично процес формування економетричної моделі виконується в кілька етапів.

Етап 1. Формування мети дослідження, визначення вхідних та вихідних показників моделі. На виході досягається постановка задачі з конкретним відгуком, який досліджуватиметься на зв'язок із множиною незалежних змінних. На практиці метою даного етапу є отримання інтегральних характеристик режиму електроспоживання.

Етап 2. Збір необхідної статистичної інформації та її аналіз.

Етап 3. Етап математичної побудови моделі - опис класу функції, в межах якого виконується подальший пошук конкретного типу залежності (лінійна чи нелінійна модель).

Етап 4. Оцінювання невизначених параметрів моделі. Залежно від прийнятих на першому етапі допущень, від обраного критерію оптимальності та залежно від конкретного виду отриманої системи рівнянь використовуються різні методи статистики.

Етап 5. Аналіз властивостей моделі на стійкість і достовірність прогнозу.

Етап 6. Практичне застосування моделі для досліджень системи та прогнозування характеристик на заданий момент часу. В основу побудови економетричних моделей у більшості випадків покладається принцип максимальної правдоподібності (ПМП). Ідея такого підходу полягає у прийнятті значення невідомого параметру, за якого досліджувана вибірка є найбільш вірогідною (правдоподібною). Досліджуваною вибіркою є відрізок  $n$  членів динамічного ряду визначеного показника. Передбачається, що вибірка вибирається з генеральної сукупності з відомим законом розподілу, який задається густиною розподілу  $f(y, \theta)$ . Густина розподілу ймовірностей вибірки задається функцією:

$$\int(y_1, y_2, \dots, y_n, \Theta) = \prod_{i=1}^n \int y_i, \Theta), \quad (2.10)$$

де  $y_1, \dots, y_n$  - спостереження;  $\Theta$  - вектор значень параметрів.

Якщо поставити задачу, за якої вірогідність отримання вибірки  $(y_1, \dots, y_n)$  є максимальною, то густина розподілу цієї вірогідності буде задана тією ж функцією в якій величини  $(y_1, \dots, y_n)$  розглядаються як постійні, а параметри  $\Theta$  - як змінні. Отже, функцію можна називати функцією вірогідності вибірки. Метою є пошук параметрів  $\Theta$ , максимізуючих функцію[13].

## 2.9 Методи кореляційного та регресійного аналізу

Методи побудовані на принципі максимальної правдоподібності та належать до параметричних, тобто до традиційних методів статистики. Формалізовані методи можуть непогано наближати стійкі тенденції в характері навантажень, але вони погано оцінюють якісні зміни в характері навантажень . Такі зміни можуть бути ефективно передбачені за допомогою залучення експертних оцінок спеціалістів . При прогнозуванні перспективних показників режиму експертним шляхом за основу беруть дійсні графіки навантаження, а потім наближено враховується вплив структурних зрушень у галузях економіки, клімату і т.п[13].

## 2.10 Експертні методи прогнозування

Експертні методи прогнозування (МП) базуються на основі експертної інформації, де експертом може виступати як одна людина, так і група людей. Методи індивідуальних експертних оцінок базуються на використанні в якості

джерел інформації одного експерта. Найпоширенішими методами індивідуальних експертних оцінок є метод психоінтелектуальної генерації ідей та метод інтерв'ю.

Метод будується на виявленні загальної об'єктивної оцінки експертної групи шляхом обробки індивідуальних, незалежних оцінок, винесених експертами, які входять до групи. Групова експертиза є потужним засобом для обробки слабо-формалізованих даних, дозволяє використовувати найбільш переконливі ствердження спеціалістів - експертів, та використовувати їх для підготовки науково обгрунтованих рішень. Розвитком методу колективної експертної оцінки є:

- метод експертних комісій - складається із сумісної роботи об'єднаних у комісію експертів, які розробляють документ про перспективи розвитку об'єкта прогнозування.

- метод «Дельфі»- побудований на виявленні узгодженої оцінки експертної групи шляхом їх автономного опитування в кілька турів, які передбачають повідомлення експертам результатів попереднього туру.

- метод колективної генерації ідей - побудований на стимуляції творчої діяльності експертів шляхом сумісного обговорення конкретної проблеми, регламентованого визначеними правилами. Сюди відносять метод відносної оцінки та метод "мозкових" атак.

- морфологічний аналіз - оснований на побудові матриць характеристик об'єкта прогнозування та їх можливих значень із наступним перебором та оцінкою всіх можливих варіантів сполучень цих значень. Суттєвим недоліком є відсутність впевненості в урахуванні всіх важливих факторів та варіантів значень факторів. Отже, застосування такого методу для прогнозування графіків електричного навантаження досить обмежене.

- аналітичний метод полягає в отриманні експертних оцінок шляхом логічного аналізу прогнозної моделі. Розвитком аналітичного методу є:

- метод евристичного прогнозування - складається з побудови та наступного урізання дерева пошуку експертної оцінки з використання будь-якої евристики;

- метод побудови прогнозного сценарію - базується на встановленні логічної послідовності стану об'єкта прогнозування та прогнозного фону в часі та за різних умов для визначення мети розвитку цього об'єкта. Завданням сценарного методу є встановлення ймовірного режиму електроспоживання через встановлення логічної послідовності подій, для відображення процесу переходу системи з попереднього стану в наступний. При цьому експерт або група експертів повинні відібрати лише ту мінімально необхідну інформацію, яка належить до вирішення конкретної вузькоспеціалізованої проблеми, із урахуванням об'єктивних закономірностей розвитку. З іншого боку, має бути дуже детально показано, якими можливостями володіє об'єкт для управління ходом процесу, та перераховано всі можливі варіанти розвитку.

Проведений аналіз показує, що будь-яке завдання прогнозування спирається на складні математичні або емпіричні (інтуїтивні) методи пошуку закономірностей в даному тимчасовому процесі. Експерти підприємства по складанню прогнозу такі залежності виявляють поступово, за місяці і роки роботи; експерт вважається тим більше коштовний, чим він більше знає специфіку підприємства. Не слід також упускати з виду, що причини цих закономірностей можуть змінюватися з часом, корінним чином впливаючи на подальший розвиток даного процесу. Так глобальні тенденції до зміни виробничого процесу підприємства можуть за порівняно короткий період буквально перекреслити висновки експерта і відправити "до архіву" більшість методів прогнозу, що застосовувалися раніше.

Практика показує, що для прогнозування споживання електричної енергії не існує загального, єдиного методу: кожне виробництво містить індивідуальні технологічні цикли, які, підсумовуючись, утворюють унікальний часовий процес. Проте у всіх виробничих циклах вжитку енергії можна знайти загальні межі, тим самим утворюючи методичну базу для виконання точного прогнозу.



## 2.11 Теорія прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 на виробництво продукції ЦХП-1

За допомогою засобів *MS Excel* в якості регресійного рівняння для математичного опису залежності між об'ємами виготовленої продукції та відповідними витратами електричної енергії підбрано степеневу функцію нелінійного виду  $y = a \cdot x^b \cdot \varepsilon$ , яка найбільш точно відповідає статистичним даним [2].

Так як степенева модель залежності є внутрішньо лінійною, для оцінки її параметрів застосовують комбінований метод, який полягає в логарифмуванні обох частин рівняння та заміні змінних, після чого рівняння регресії має вигляд:

$$y^* = a^* + b^*x^* + \varepsilon^*, \quad (2.11)$$

де  $y^* = \lg y$  – витрати електричної енергії на виготовлення  $x^*$  об'єму продукції;

$x^* = \lg x$  – об'єм виготовленої продукції;

$a^* = \lg a$  – коефіцієнт рівняння регресії, який показує витрати електроенергії на холостому ході;

$b^* = b$  – коефіцієнт рівняння регресії, який показує середню зміну витрат електроенергії із зміною об'єму виготовленої продукції на одну одиницю;

$\varepsilon^* = \lg \varepsilon$  – випадкова помилка.

Для оцінки параметрів даної функції використовується метод найменших квадратів (далі – МНК), задачею якого є оцінка закономірностей, що спостерігаються на тлі випадкових коливань, та її використання для подальших розрахунків, зокрема, для прогнозів [13].

Метод найменших квадратів дозволяє отримати такі оцінки параметрів  $a^*$  і  $b^*$ , при яких сума квадратів відхилень фактичних значень результативної ознаки у від розрахункових (теоретичних)  $\hat{y}_x$  мінімальна:

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (y_i - \hat{y}_{x_i})^2 \rightarrow \min. \quad (2.12)$$

Тобто, зі всієї множини ліній лінія регресії на графіку вибирається так, щоб сума квадратів відстаней по вертикалі між точками і цією лінією була б мінімальною.

Щоб знайти мінімум функції (1.2), необхідно обчислити приватні похідні за кожним з параметрів  $a$  і  $b$  та прирівняти їх до нуля.

Позначивши  $\sum \varepsilon_i^2$  через  $S$ , отримано наступну систему нормальних рівнянь для оцінки параметрів  $a$  і  $b$ :

$$\begin{cases} n \cdot a + b \sum x = \sum y, \\ a \sum x + b \sum x^2 = \sum y \cdot x. \end{cases} \quad (2.13)$$

Оцінки параметрів  $a$  і  $b$  знаходяться за формулами:

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}; \quad (2.14)$$

$$b = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x^2} = \frac{\overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \quad (2.15)$$

де  $cov(x, y) = \overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}$  – коваріація ознак;

$\sigma_x^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$  – дисперсія ознаки  $x$ .

Зважаючи на лінеаризацію функції регресії, система її рівнянь виглядатиме наступним чином:

$$\begin{cases} \sum lgy = n \cdot lga + b \sum lgx, \\ \sum lgy \cdot lgx = lga \cdot \sum lgx + b \cdot \sum (lgx)^2. \end{cases} \quad (2.16)$$

Оцінки параметрів  $a^*$  і  $b^*$  будуть знайдені за формулами:

$$a^* = \frac{\sum (lgy_i) \cdot \sum (lgx_i)^2 - \sum (lgx_i \cdot lgy_i) \cdot \sum (lgx_i)}{n \cdot \sum (lgx_i)^2 - (\sum (lgx_i))^2}; \quad (2.17)$$

$$b^* = \frac{\sum (lgx_i \cdot lgy_i) - a^* \cdot \sum (lgx_i)}{\sum (lgx_i)^2}. \quad (2.18)$$

Оцінки параметрів  $a$  і  $b$  складатимуть  $10^{a^*}$  і  $10^{b^*}$  відповідно.

Далі проводиться оцінка значущості як рівняння в цілому, так і окремих його параметрів.

Оцінка істотності рівняння регресії в цілому дається за допомогою  $F$ -критерія Фішера, для чого висувається нульова гіпотеза, що коефіцієнт регресії дорівнює нулю, тобто  $b = 0$ , а, отже, фактор  $x$  не впливає на результат  $y$ .

Безпосередньому розрахунку  $F$ -критерія передуює аналіз дисперсії, центральне місце в якому займає розкладання загальної суми квадратів відхилень змінної  $y$  від середнього значення  $\bar{y}$  на дві частини – “пояснену” і “непояснену”:

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_x - \bar{y})^2 + \sum (y - \hat{y}_x)^2, \quad (2.19)$$

де  $\sum (y - \bar{y})^2$  – загальна сума квадратів відхилень;

$\sum (\hat{y}_x - \bar{y})^2$  – сума квадратів відхилень, пояснена регресією;

$\sum (y - \hat{y}_x)^2$  – залишкова сума квадратів відхилень.

Оскільки не всі точки поля кореляції лежать на лінії регресії, то завжди має місце їх розкид, як обумовлений впливом фактора  $x$ , тобто регресією  $y$  по  $x$ , так і викликаний дією інших причин (непояснена варіація). Придатність лінії регресії для прогнозу залежить від того, яка частина загальної варіації ознаки  $y$  припадає на пояснення варіацію. Очевидно, що якщо сума квадратів відхилень,

зумовлена регресією, буде більше залишкової суми квадратів, то рівняння регресії статистично значимо і фактор  $x$  істотно впливає на результат  $y$ .

Будь-яка сума квадратів відхилень пов'язані з числом ступенів свободи ( $df$  – degrees of freedom), тобто з числом свободи незалежного варіювання ознаки. Число ступенів свободи пов'язано з числом одиниць сукупності  $n$  і з числом визначених за нею констант. Стосовно до досліджуваної проблеми число ступенів свободи має показати, скільки незалежних відхилень з  $n$  можливих  $[y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_n - \bar{y}]$  потрібно для утворення даної суми квадратів. Так, для загальної суми квадратів  $\sum(y - \bar{y})^2$  потрібно  $n - 1$  незалежних відхилень, бо за сукупністю із  $n$  одиниць після розрахунку середнього рівня вільно варіюють лише  $(n - 1)$  число відхилень.

При розрахунку поясненої або факторної суми квадратів  $\sum(\hat{y}_x - \bar{y})^2$  використовуються теоретичні (розрахункові) значення результативної ознаки  $\hat{y}_x$ , знайдені за лінією регресії:  $\hat{y}_x = a + b \cdot x$ .

Сума квадратів відхилень, обумовлених лінійною регресією складе:

$$\sum(\hat{y}_x - \bar{y})^2 = b^2 \cdot (x - \bar{x})^2. \quad (2.20)$$

Оскільки при заданому обсязі спостережень по  $x$  і  $y$  факторна сума квадратів при лінійній регресії залежить тільки від однієї константи коефіцієнта регресії  $b$ , то дана сума квадратів має один ступінь свободи.

Існує рівність між числом ступенів свободи загальної, факторної і залишкової сум квадратів. Число ступенів свободи залишкової суми квадратів при лінійній регресії становить  $n - 2$ . Число ступенів свободи для загальної суми квадратів визначається числом одиниць, і оскільки використовується середня обчислена за даними вибірки, то втрачається один ступінь свободи, тобто  $df_{заг} = n - 1$ .

Отже:

$$\sum(y - \bar{y})^2 = \sum(\hat{y}_x - \bar{y})^2 + \sum(y - \hat{y}_x)^2, \quad (2.21)$$

$$n - 1 = 1 + (n - 2).$$

Розділивши кожну суму квадратів на відповідне їй число ступенів свободи, отримано середній квадрат відхилень, або дисперсію на одну ступінь свободи  $D$ .

$$\begin{aligned} D_{\text{заг}} &= \frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n-1}, \\ D_{\text{факт}} &= \frac{\sum(\hat{y}_x-\bar{y})^2}{1}, \\ D_{\text{зал}} &= \frac{\sum(y-\hat{y}_x)^2}{n-2}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Визначення дисперсії на одну ступінь свободи призводить дисперсії до порівняного вигляду. Зіставляючи факторну і залишкову дисперсії в розрахунку на один ступінь свободи, отримано величину  $F$ -відношення ( $F$ -критерій):

$$F = \frac{D_{\text{факт}}}{D_{\text{зал}}}, \quad (2.23)$$

де  $F$  – критерій для перевірки нульової гіпотези  $H_0: D_{\text{факт}} = D_{\text{зал}}$ .

Табличне значення  $F$ -критерію – це максимальна величина відношень дисперсій, яка може мати місце при випадковій їх розбіжності для даного рівня ймовірності наявності нульової гіпотези. Обчислене значення  $F$ -відношення визнається достовірним (відмінним від одиниці), якщо воно більше табличного. У цьому випадку нульова гіпотеза про відсутність зв'язку ознак відхиляється і робиться висновок про істотність цього зв'язку:  $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}; H_0$  відхиляється.

Якщо ж величина виявиться меншою табличній  $F_{\text{факт}} < F_{\text{табл}}$ , то ймовірність нульової гіпотези вище заданого рівня (наприклад, 0,05) і вона не може бути відхилена без серйозного ризику зробити неправильний висновок

про наявність зв'язку. У цьому випадку рівняння регресії вважається статистично незначущим.  $H_0$  не відхиляється [15].

Рівняння нелінійної регресії, як і в лінійній залежності доповнюється показником кореляції, а саме індексом кореляції  $R$ :

$$R = \left(1 - \frac{\sigma_{\text{зал}}^2}{\sigma_y^2}\right)^{1/2}, \quad (2.24)$$

де  $\sigma_y^2$  – загальна дисперсія результативної ознаки  $y$ ;

$\sigma_{\text{зал}}^2$  – залишкова дисперсія, що визначається, виходячи з рівняння регресії  $\hat{y}_x = f(x)$ .

Так як  $\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum (y - \bar{y})^2$ , а  $\sigma_{\text{зал}}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum (y - \hat{y}_x)^2$ , то індекс кореляції, тобто лінійний коефіцієнт кореляції, можна визначити за формулою:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \hat{y}_x)^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}. \quad (2.25)$$

Величина даного показника знаходиться в межах  $0 \leq R \leq 1$ , чим ближче до одиниці, тим тісніший зв'язок розглядуваних ознак, тим більш надійне знайдене рівняння регресії.

Враховуючи приведення нелінійної залежності між витратами електроенергії та об'ємами виготовленої продукції до логарифмічно лінійного вигляду  $\lg y = \lg a + b \cdot \lg x$ , лінійний коефіцієнт кореляції знайдено не для фактичних значень  $x$  та  $y$ , а для їх логарифмів.

Проте при розрахунку коефіцієнту кореляції використовуються суми квадратів відхилень ознаки  $y$ , а не їх логарифмів. З цією метою визначаються теоретичні значення результативної ознаки, тобто  $\hat{y}_x$ , як антилогарифм розрахованої за рівнянням величини  $\widehat{\lg y}_x$  і залишкова сума квадратів, як



$\Sigma(y - \text{antilog } \widehat{\lg y_x})^2$ . Тобто, коефіцієнт кореляції для досліджуваної залежності визначається за формулою (1.16):

$$R_{yx} = \sqrt{1 - \frac{\Sigma(y - \text{antilog } \widehat{\lg y_x})^2}{\Sigma(y - \bar{y})^2}}. \quad (2.26)$$

Оскільки в розрахунку індексу кореляції використовується відношення факторної і загальної суми квадратів відхилень, то  $R^2$  має той самий зміст, що й коефіцієнт детермінації. В спеціальних дослідження показник  $R^2$  для нелінійних зв'язків називають індексом детермінації.

Індекс детермінації також використовується для перевірки значимості рівняння нелінійної регресії в цілому за  $F$ -критерієм Фішера:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (2.27)$$

де  $R^2$  – індекс детермінації;

$n$  – число спостережень;

$m$  – число параметрів при змінних  $x$ .

Величина  $m$  характеризує число ступенів свободи для факторної суми квадратів, а  $(n - m - 1)$  – число ступенів свободи для залишкової суми квадратів.

Для досліджуваної степеневій функції  $m = 1$ , і формула  $F$ -критерія приймає той самий вигляд, що й для лінійної залежності:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot (n - 2). \quad (2.28)$$

Висновки робляться так само, як і в аналізі дисперсій. При цьому значення  $F$ -критерія може незначно відрізнятись тільки за рахунок округлень.

Так як фактичні значення результативної ознаки відрізняються від теоретичних, можна розрахувати середню помилку апроксимації, яка характеризує якість вибраної моделі.

Середня помилка апроксимації визначається за формулою:

$$A = \frac{1}{n} \cdot \sum \left| \frac{y - \hat{y}_x}{y} \right| \cdot 100. \quad (2.29)$$

Чим менше різниця між фактичними та теоретичними значення  $y$ , тим краще підібрана модель. Зазвичай, якісна модель характеризується помилкою апроксимації  $A$ , що знаходиться в межах 5–7%.

Також за кожним з параметрів визначається його стандартна помилка. Стандартна помилка коефіцієнту регресії  $b$  визначається за формулою:

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y}_x)^2 / (n - 2)}{\sum (x - \bar{x})^2}} = \sqrt{\frac{S^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}, \quad (2.30)$$

де  $S^2$  — залишкова дисперсія на один ступінь свободи.

Величина стандартної помилки спільно з  $t$ -розподілом Стьюдента при  $n - 2$  ступенях свободи застосовується для перевірки суттєвості коефіцієнта регресії та для розрахунку його довірчих інтервалів.

Для оцінки суттєвості коефіцієнта регресії його величина порівнюється з його стандартною помилкою, тобто визначається фактичне значення  $t$ -критерію Стьюдента:  $t_b = \frac{b}{m_b}$ , яке потім порівнюється з табличним значенням при певному рівні значущості  $\alpha$  і числі ступенів свободи  $(n - 2)$  [14].

Цей результат також може бути отримано зі знайденого  $F$ -критерію:

$$t_b = \sqrt{F}. \quad (2.31)$$

Якщо фактичне значення t-критерію перевищує табличне, тоді гіпотезу про незначимість коефіцієнту регресії можна відхилити.

Довірчий інтервал для коефіцієнту регресії визначається, як  $b \pm t \cdot m_b$ .

Стандартна помилка параметру  $a$  визначається за формулою:

$$m_a = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y}_x)^2}{n-2} \cdot \frac{\sum x^2}{n \cdot \sum(x - \bar{x})^2}} = \sqrt{S^2 \cdot \frac{\sum x^2}{n \cdot \sum(x - \bar{x})^2}}. \quad (2.32)$$

Процедура оцінки значимості даного параметру така саме, як і для параметру  $b$ ; обчислюється t-критерій:  $t_a = \frac{a}{m_a}$ , його величина порівнюється з табличним значенням при  $df = n - 2$  ступінях свободи[15].

3 ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ  
ЙОГО ДОСТОВІРНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 0,4 кВ  
ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

### 3.1 Прогнозування втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 на виробництво продукції ЦХП-1

Для оцінки параметрів регресійного рівняння, яке має вигляд степеневі функції  $y = a \cdot x^b \cdot \varepsilon$ , за методом найменших квадратів необхідно скласти розрахункову таблицю 3.1.

Для зручності місяці пронумеровано за зростанням, де  $x_i^* = \lg x_i$  – об'єми виготовленої продукції, а  $y_i^* = \lg y_i$  – витрати електроенергії на виготовлення цих об'ємів за місяць.

Оцінки параметрів  $a^*$  і  $b^*$  знайдено за формулами (2.17) та (2.18):

$$a^* = \frac{122,357 \cdot 1592,325 - 1409,486 \cdot 138,231}{12 \cdot 1592,325 - 138,231^2} = -8,2097;$$

$$b^* = \frac{1409,486 - (-8,2097) \cdot 138,231}{1592,325} = 1,5978.$$

Отже, параметри регресійного рівняння для залежності між об'ємами виготовленого кисню та відповідними витратами електроенергії складають:

$$a = 10^{-8,2097} = 6,1702;$$

$$b = b^* = 1,5978;$$

а рівняння регресії відповідно має вигляд:

$$y = 6,1702x^{1,5978}.$$

Зображення кривої регресії на кореляційному полі представлено на рисунку 3.1.

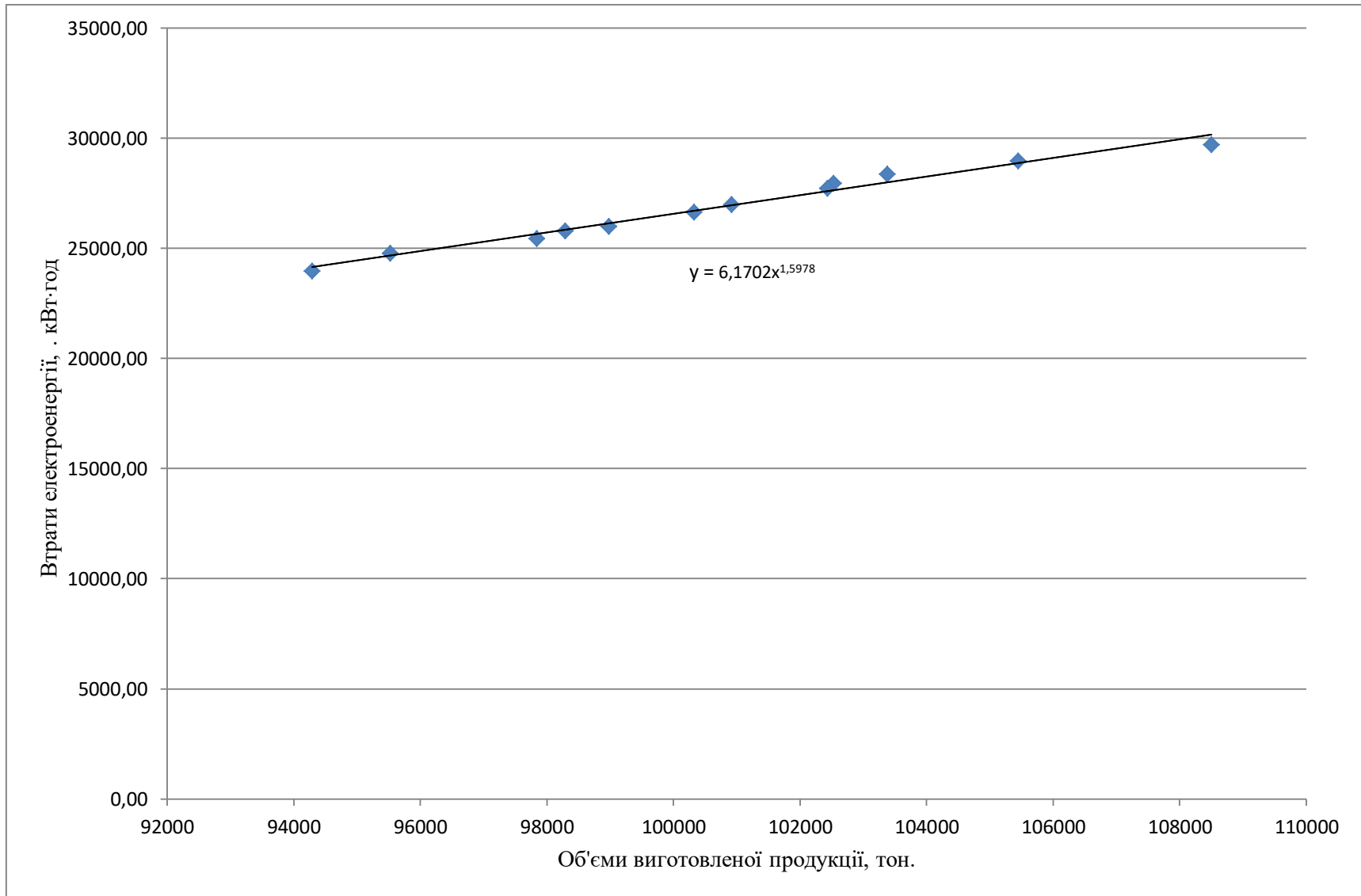


Рисунок 3.1 – Графічне представлення кривої регресії

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані для оцінки параметрів рівняння регресії для виготовлення продукції ЦХП-1

Міс.	$x_i$	$y_i$	$x_i^*$	$y_i^*$	$x_i^*$	$x_i^{*2}$	$\hat{y}_{x_i}^*$	$(y_i^* - \hat{y}_{x_i}^*)^2$	$(y_i^* - \bar{y}_{x_i}^*)^2$	$(\hat{y}_{x_i}^* - \bar{y}_{x_i}^*)^2$	A	$(x_i^* - \bar{x}_i^*)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	103380	28368,90	11,546	10,253	118,3	133,3	10,23	0,0002044	0,003206	0,001792	0,0139	0,0007265
2	108504	29703,64	11,595	10,299	119,4	134,4	10,31	0,0002898	0,010527	0,014411	0,0165	0,0057066
3	94289	23975,32	11,454	10,085	115,5	131,1	10,09	0,0000476	0,012465	0,010883	0,0068	0,0042094
4	95523	24770,63	11,467	10,117	116,0	131,4	10,11	0,0000246	0,006243	0,006980	0,0049	0,0026912
5	98979	25998,86	11,503	10,166	116,9	132,3	10,16	0,0000118	0,000937	0,000716	0,0033	0,0002668
6	97839	25448,33	11,491	10,144	116,5	132,0	10,15	0,0000400	0,002706	0,002049	0,0062	0,0007796
7	98292	25792,49	11,496	10,158	116,7	132,1	10,15	0,0000001	0,001489	0,001435	0,0027	0,0005429
8	102533	27946,23	11,538	10,238	118,1	133,1	10,22	0,0001545	0,001732	0,000877	0,0121	0,0003587
9	100921	26988,42	11,522	10,203	117,5	132,7	10,20	0,0000083	0,000045	0,000018	0,0028	0,0000095
10	102435	27713,39	11,537	10,230	118,0	133,1	10,22	0,0000313	0,001105	0,000788	0,0054	0,0003234
11	100327	26645,4	11,516	10,190	117,3	132,6	10,19	0,0000002	0,000037	0,000026	0,0047	0,0000078
12	105445	28956,19	11,566	10,274	118,8	133,7	10,27	0,0000101	0,005947	0,005529	0,0031	0,0022038
$\Sigma$	105445	28956,19	138,231	122,35	1409,	1592,	212,6	0,0008226	0,046438	0,045504	0,0828	0,0178268

### 3.2 Визначення дійсності прогнозування

Для оцінки суттєвості рівняння регресії проведено аналіз дисперсій, для чого за формулою (2.22) розраховано загальну, факторну та залишкову дисперсії:

$$\begin{aligned} D_{\text{заг}} &= 0,004221; \\ D_{\text{факт}} &= 0,045504; \\ D_{\text{зал}} &= \frac{0,000823}{12-2} = 0,0000823. \end{aligned}$$

$F$ -критерій Фішера за формулою (2.23) відповідно складає:

$$F_{\text{факт}} = \frac{0,045504}{0,0000823} = 552,904.$$

Для перевірки нульової гіпотези  $H_0$  необхідно порівняти розрахункове та табличне значення  $F$ -критерію для рівня значимості  $\alpha=0,05$  та  $\alpha=0,01$  при ступенях свободи  $v_1=1$  та  $v_2=54$ , яке складає:

$$\begin{aligned} F_{\alpha=0,05} &= 4,0195; \\ F_{\alpha=0,01} &= 7,241. \end{aligned}$$

Так як  $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$  ( $552,904 > 4,0195$  і  $552,904 > 7,241$ ), гіпотеза  $H_0$  відхиляється, а отже, рівняння регресії є значимим, та зв'язок між об'ємами виготовленої продукції та відповідними втратами електроенергії доведено.

Для оцінки тісноти та надійності зв'язку за лінійним рівнянням регресії для логарифмів  $y$  за формулою (2.25) розраховано індекс кореляції, який становить:



$$R = \sqrt{1 - \frac{0,000823}{0,046438}} = 0,99.$$

Коефіцієнт кореляції для степеневі функції за формулою (2.26) відповідно становить:

$$R_{yx} = \sqrt{1 - \frac{656597,310}{33288604,93}} = 0,9901.$$

Так як даний індекс кореляції наближається до 1, це свідчить про те, що зв'язок є сильним, а рівняння регресії є надійним.

Для оцінки долі дисперсії, поясненої рівнянням регресії, розраховано коефіцієнт детермінації, який свідчить про правильність підбраної моделі регресії:

$$R^2 = 0,9901^2 = 0,98.$$

Для перевірки значимості рівняння нелінійної регресії в цілому за допомогою індексу детермінації за формулою (2.28) розраховано  $F$ -критерій Фішера, який дорівнює  $F$ -відношенню, розрахованому за допомогою аналізу дисперсій:

$$F = \frac{0,9901^2}{1-0,9901^2} \cdot (12 - 2) = 497,562.$$

Середня помилка апроксимації визначається за формулою (2.29) і складає 0,69%, що говорить про високу якість підбраної моделі регресії.

Стандартна помилка коефіцієнту регресії  $b$  за формулою (2.30) становить:

$$m_b = \sqrt{\frac{0,0000823}{0,017826845}} = 0,0463.$$

Фактичне значення t-критерію Стьюдента при табличному  $t_{b_{\text{табл}}} = 2,00492$  становить:

$$t_b = \frac{1,597}{0,046} = 22,306$$

або

$$t_b = \sqrt{497,562} = 22,306.$$

Так як  $t_b > t_{b_{\text{табл}}}$  ( $22,306 > 2,00492$ ), гіпотезу про не значимість коефіцієнту регресії можна відхилити.

Довірчий інтервал для коефіцієнту регресії  $b$  складає:

$$1,597 - 2,005 \cdot 0,0463 \leq b \leq 1,597 + 2,005 \cdot 0,0463;$$

$$1,5041 \leq b \leq 1,6898.$$

Стандартна помилка коефіцієнту регресії  $a$  за формулою (2.32) становить:

$$m_a = \sqrt{0,0000823 \cdot \frac{1592,325}{12 \cdot 0,0178268}} = 0,6126.$$

Фактичне значення t-критерію Стьюдента при табличному  $t_{a_{\text{табл}}} = 2,00492$  становить:

$$t_a = \left| \frac{-8,2097}{0,6126} \right| = 13,4014.$$

Так як  $t_a > t_{a_{\text{табл}}}$  ( $13,4014 > 2,00492$ ), гіпотезу про незначимість коефіцієнту регресії можна відхилити.

Довірчий інтервал для коефіцієнту регресії  $a^*$  складає:

$$\begin{aligned} -8,2097 - 2,005 \cdot 0,6126 &\leq a^* \leq -8,2097 + 2,005 \cdot 0,6126; \\ -9,4379 &\leq a^* \leq -6,9814. \end{aligned}$$

Довірчий інтервал для коефіцієнту регресії  $a$  складає:

$$\begin{aligned} 10^{-9,4379} &\leq a \leq 10^{-6,9814}; \\ 3,647 &\leq a \leq 7,043. \end{aligned}$$

Розрахувавши це, ми можемо точно сказати, що прогноз є достовірним.

### 3.3 Розрахунок прогнозу втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Впевнившись у достовірності прогнозу ми можемо спрогнозувати втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» та зобразити їх в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Спрогнозовані дані

1	2	3	4
Місяць	$x_i$	$y_i$	$U_{\text{пр}}$
1	103380	28368,90	28208,59
2	108504	29703,64	31028,95
3	94289	23975,32	23812,37
4	95523	24770,63	22997,38
5	98979	25998,86	24523,09
6	97839	25448,33	24348,45

7	98292	25792,49	25417,69
8	102533	27946,23	27075,28
9	100921	26988,42	25823,38
10	102435	27713,39	26059,89
11	100327	26645,4	27731,16
12	105445	28956,19	29536,34

Спрогнозовані та реальні втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Спрогнозовані та реальні втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1.

Як ми бачимо на рисунку 3.2 спрогнозовані втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ залежать від кількості виготовленої продукції.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Вимоги техніки безпеки до улаштування електрообладнання

Усунення впливу небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища є однією з задач охорони праці. Ця задача зважується з використанням спеціальних методів – вимог до пристрою підприємства і цехів, до технологічних процесів і устаткування, засобам індивідуального захисту і до організації виробництва і праці в металургійних цехах.

Модернізацією передбачається заміна системи охолодження луперів на систему керування типу «зміна забору приточного повітря», тобто установка тиристорного електроприводу. Даний пристрій відповідає ГОСТ 12.2.007.11-75-ССБП «Перетворювачі електричної енергії напівпровідникові. Вимоги безпеки». Конструкцією привода передбачені:

- захист від зовнішніх і внутрішніх коротких замикань;
- захист від перегріву двигуна;
- захист від перевищення частоти обертання, що допускається;
- захист від перенапруг;
- наявність сигналізації включеного стану і спрацьовування захистів;
- захисне заземлення.

Електропривід має всі види захистів, що запобігають його вихід з ладу при аварійних ситуаціях у зовнішніх і внутрішніх силових ланцюгах або некоректному керуванні. При спрацьовуванні захистів відключається блок живлення, напруга на двигун зникає при цьому висвічується повідомлення про причину збою, а всі робочі параметри зберігаються в пам'яті електроприводу. Одночасно сигнал аварії може бути виданий «сухим» контактом на запрограмований релейний вихід.

Пристрій і експлуатація електричної частини відповідає Правилам устрою електроустановок, Правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів і ДЕСТ 12.2.007.0-75 і 12.2.007.9-75.

Схема керування механізмом охолодження луперів має нульовий захист та блокування з іншими вузлами стану. Корпус і конструкція механізму лінії надійно заземлені відповідно до ПУЕ. У якості штучного елемента, що заземлює, використовується металевий кут.

Електродвигуни й апаратура керування установлені відповідно до вимог ПУЕ і СНП ІІІ-33-76 «Правила виробничих робіт. Електротехнічні пристрої», що передбачає заходи щодо безпеки їх експлуатації. Згідно ПТЕ вимикачі, контактори, рубильники й інші пускорегулючі апарати мають чіткі написи, що вказують, до якого електродвигуна відносяться.

Ремонтне освітлення повинно мати напругу 36 В. Напруга на світильниках робочого освітлення не повинне перевищувати 220 В. При напрузі трифазної мережі 380 В и вище, живлення освітлювального устаткування здійснюється від понижуючого трансформатора [18].

#### 4.2 Вимоги техніки безпеки до експлуатації електрообладнання

Порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці, узгодженого з Держнаглядом охорони праці, а також до вимог до електротехнічної обслуги, які містяться в ПТЕ.

Первинний (під час прийняття на роботу) та періодичний (протягом трудової діяльності) медичний огляд працівників провадиться згідно з Положенням про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 №45, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України за №136/345.



Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати ці Правила відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з такими вимогами:

1) для одержання групи I, незалежно від посади і фаху, необхідно пройти інструктаж з електробезпеки під час роботи в даній електроустановці з оформленням в журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці. Інструктаж з електробезпеки на I групу має провадити особа, відповідальна за електрогосподарство, або, за її письмовим розпорядженням, – особа зі складу електротехнічних працівників з групою III. Мінімальний стаж роботи в електроустановках і видання посвідчень працівникам з групою I не вимагаються;

2) особам молодшим за 18 років не дозволяється присвоювати групу вище II;

3) для присвоєння чергової групи з електробезпеки необхідно мати мінімальний стаж роботи в електроустановках з попередньою групою, зазначеній у додатку 1 цих Правил;

4) для одержання груп II–III працівники мають:

а) чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в електроустановках;

б) знати і уміти застосувати на практиці ці та інші правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується;

в) знати будову і улаштування електроустановок;

г) уміти практично надавати першу допомогу потерпілим в разі нещасних випадків, в тому числі застосовувати способи штучного дихання і зовнішнього масажу серця;

5) для одержання груп IV–V додатково необхідно знати компонування електроустановок і уміти організувати безпечне проведення робіт, уміти навчити працівників інших груп Правилам безпеки і наданню першої допомоги потерпілим від електричного струму;

б) для одержання групи V необхідно також розуміти, чим викликані вимоги пунктів Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань, видається посвідчення встановленої форми, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи. Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом. Посвідчення про перевірку знань видається працівникові комісією з перевірки знань підприємства, організації після перевірки знань і є дійсним тільки після внесення відповідних записів.

Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати з собою посвідчення про перевірку знань. За відсутності посвідчення або за наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки знань працівник до роботи не допускається. Посвідчення про перевірку знань підлягає заміні у випадку зміни посади або за відсутності місця для записів.

Посвідчення про перевірку знань вилучається у працівника комісією з перевірки знань в разі незадовільних знань, керівником структурного підрозділу – в разі вигасання терміну дії медичного огляду. Посвідчення про перевірку знань складається з твердої обкладинки і блоку сторінок.

Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань цих правил. Ті працівники, зайняті виконанням спеціальних видів робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, мають бути навчені безпечному виконанню таких робіт і мати відповідний запис про це у посвідченні з перевірки знань з питань охорони праці. Перелік робіт з підвищеною небезпекою затверджується керівництвом підприємства.

Забороняється допускати до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також з явними ознаками захворювання. Забороняється виконання розпоряджень та завдань, що суперечать вимогам правил. Кожний працівник особисто відповідає за свої дії в частині дотримання вимог правил.

У випадку, якщо працівник самостійно не спроможний вжити дійових заходів з усунення виявлених ним порушень Правил, він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника, а у випадку його відсутності – керівника вищого рівня.

В разі нещасних випадків з людьми зняття напруги для звільнення потерпілого від дії електричного струму має бути виконано негайно, без попереднього дозволу. Працівники, що припустилися порушення вимог правил, без позачергової перевірки знань до робіт в електроустановках не допускаються. У кожному цеху розпорядженням начальника цеху призначається особа, відповідальна за стан електроустаткування і його експлуатацію [19].

#### 4.3 Заходи з пожежної безпеки

Основні небезпеки пожеж від електричних пристроїв виникають при займанні ізоляції дротів і короткому замиканні. До найбільш вірогідних причин перегріву дротів відносять нагрівання дротів при проходженні струму надмірно великої величини. Перегрів дротів може привести до загоряння ізоляції, її руйнування, що приводить до виникнення короткого замикання дротів.

Для запобігання загорянню ізоляції і короткого замикання дротів застосовують плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні. Плавкі запобіжники вимагають правильного підбору їх перетину, щоб розплавлення запобіжників відбувалося до виникнення небезпечного перегріву дротів. Застосування вимикаючих автоматів є більш довершеним заходом, тим більше що вони не вимагають заміни після відключення мережі і можуть працювати тривалий час.

Щоб уникнути перегріву в місцях з'єднання дротів, необхідно застосовувати спеціальні наконечники і окінцевателі дротів з більшим перетином, ніж дроти; ретельно зачищати їх з метою видалення оксидів металу і забезпечити належну щільність затисків. Контакти електроустаткування виконують такими, що пружинять і більшого перетину, за підведеного веретену дроту. Забороняється застосовувати скручування дротів, що не пропаяли.

Електрична дуга, що має температуру вище за 3000 °С, представляє велику пожежну небезпеку. Тому конструкція, способи монтажу і режим експлуатації електричних пристроїв повинні виключати можливість утворення електричних дуг. У деяких електричних пристроях (наприклад: рубильниках, вимикачах, контакторах) утворення дуги пов'язане з режимом їх експлуатації, оскільки дуга виникає у момент відключення споживачів електроенергії. У таких випадках застосовують додаткові пружинячі ножі для рубильників і дугогасні пристрої у вигляді судин, що заповнюються трансформаторним маслом, а також дугогасні камери, ґрати, перегородки і т.д.

Вибір електроустаткування повинен здійснюватися залежно від умов, в яких експлуатуватимуть електричні пристрої. При цьому потрібно враховувати пожежо - і вибухонебезпечні виробничі приміщення.

На пожежо - і вибухонебезпечних ділянках території цеху куріння забороняється. На цих ділянках встановлюються заборонні знаки з пояснюючим написом «Палити забороняється!». Куріння вирішується тільки в спеціально відведених для цього місцях, де повинні бути урни для недопалків і бочки з водою.

Для цехових комор, спеціально призначених для зберігання горючих і легко займистих рідин, повинна бути встановлена загально допустима норма зберігання цих рідин. Таблички з вказівкою відповідальних за пожежну безпеку і норми зберігання повинні бути вивішені на видному місці.

Двері між приміщеннями з різними категоріями по пожежній небезпеці передбачені вогнестійкі, металеві. Для забезпечення пожежної безпеки, проектом передбачені наступні заходи: виробничі ділянки, незалежно від оснащення їх автоматичною пожежогасінню, забезпечені первинними засобами пожежогасінні; захист від прямих ударів і вторинних проявів блискавки забезпечується існуючими засобами блискавко захистів.

Весь пожежний інвентар і устаткування повинні знаходитися в справному стані, знаходитися на видних місцях, і до них повинен бути забезпечений безперешкодний доступ. Використання пожежного інвентарю і устаткування для господарських, виробничих і інших потреб, не зв'язаних пожежогасінню, категорично забороняється.

Взимку вогнегасники, що знаходяться поза приміщеннями або в не опалювальних приміщеннях, рекомендується збирати групами в найближче ( на відстані не більше 50 метрів) опалювальне приміщення, так само необхідно вивішувати покажчик «Тут знаходяться вогнегасники». У тих місцях, де були зняті вогнегасники, необхідно вивішувати табличку з вказівкою найближчого пункту їх зберігання [20].

Кожен працівник або службовець, при виявленні пожежі або спалаху, зобов'язаний:

- негайно повідомити про це в пожежну охорону по телефону 101 і диспетчеру заводу;
- приступити до гасіння пожежі наявними в цеху, складі або на робочому місці засобами пожежогасіння;
- вжити заходи по виклику до місця пожежі начальника цеху, зміни, ділянки або іншого посадовця;
- по можливості зустріти пожежну машину, що прибуває.

Розрізняють наступні види засобів пожежогасіння:

1) вогнегасники:

1.1) хімічні пінні вогнегасники місткістю 10 л. (ОХП-10). Вони призначаються для гасіння невеликих пожеж загоряння твердих і

рідких речовин, за винятком електроустаткування, кабелів і електропроводок, що знаходяться під напругою, металевого кальцію, калія, натрію, магнію, а також спирту, сірковуглеця, ацетону;

1.2) вуглекислотні вогнегасники місткістю 2,5,8,25, і 80 л. (ОХП), (підрозділяються на ручні (місткістю 2,5 і 8 л.) і пересувні (місткістю 25 і 80 л.);

1.3) порошкові ручні (ОП-1 «Супутник», «Турист», ОП-1Б «Момент» і ОП-2). Призначені для гасіння загорянь лужноземельних і лужних металів, нафтопродуктів, розчинників, твердих речовин і електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 380 В, а також гасіння пожеж на об'єктах з великими матеріальними цінностями;

#### 4.4 Санітарно-гігієнічні заходи

Людина постійно знаходиться у взаємозв'язку з навколишнім середовищем, в міру можливості людина пристосовується до неї і доступними засобами пристосовує її до себе, забезпечує умови для нормального існування.

У разі недостатнього пристосування зовнішнє середовище може надати несприятливу дію на людину. У взаємозв'язку з виробничим середовищем людина, що працює, знаходиться приблизно третину доби.

В період діяльності тих, хто працює, надають дію шкідливі фізичні, хімічні і психофізіологічні чинники технологічних процесів: газу, що виділяються в навколишнє середовище, пари, пил, тепло, шуми, що

утворюються, вібрації, різні види випромінювань (інфрачервоні, світлові, ультрафіолетові, електромагнітні і ін.) і т.д.

Вплив цих чинників не байдужий для тих, що працює: у певних межах одні чинники надають сприятливу дію на організм тих, що працюють (наприклад: тепло, світло і ін.), інші можуть діяти негативно. Характер праці, що складається з окремих і різноманітних трудових процесів, рухів, статичних і динамічних зусиль, нервово-емоційних напруг і т. д [17].

Засоби індивідуального захисту тих, котрі працюють в цеху: захисні каски є загальними засобами захисту голови від раптового падіння на голову невеликих предметів, пом'якшує випадкові удари при зіткненні з конструкцією; респіратори перешкоджають проникненню всередину дихальних шляхів дрібних частинок пилу, проте не рятують від чадного газу. Виробничий пил утворюється в результаті механічного подрібнення твердих тіл, транспортування пилоподібних матеріалів, неповного згорання горючих речовин і при процесах конденсації. Пил за походженням буває органічним, неорганічним і змішаним.

Розрізняють наступні види взаємодії пилу на організм людини:

- загально токсичні;
- канцерогенні;
- що інфікують;
- місцево дратівливі.

До найбільш радикальних заходів щодо боротьби з пилом відноситься раціоналізація технологічних процесів і удосконалення устаткування у напрямі попередження розповсюдження пилу і транспортування матеріалів.

Для захисту від шуму і вібрації проводять різні заходи, такі як: видача робочим захисних навушників; застосування звукопоглинальних екранів, удосконалення і модернізація діючого устаткування цеху.

Кожен працівник повинен строго дотримувати чистоту і порядок на робочому місці, тримати в справному стані інструменти і прилади, повинен дотримуватися санітарно-гігієнічних правил:



- не мити руки бензином, гасом, розчинником;
- пити воду у встановлених питних крапках;
- приймати їжу тільки в спеціально відведених для цього місцях;
- перед їдою обов'язково добре вимити руки;
- необхідно працювати в одязі і спецвзутті встановлених норм;
- при роботі на ділянках з підвищеним рівнем шуму, для попередження шкідливої дії на органи слуху, необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту (біруші);
- при умовах високої запиленості, користуватися засобами захисту від пилу (пелюстками)[13].

#### 4.5 Естетика виробництва

Естетика виробництва зобов'язана забезпечити безпеку виконання робіт в цехах, будівлях цехів. В процесі праці у людини виникає абсолютно визначений, обумовлений обстановкою матеріальними і соціальними умовами праці, комплекс емоцій.

Естетика покликана внести художній початок у виробничі процеси, що сприяє одухотворенню і вихованню праці. Основними напрямками виробничої естетики є використання кольорів, як чинників, що формують естетичне відношення до праці. Людське око краще пристосоване до існуючої в природі гармонії кольорів.

Кольори довгохвильової частини спектру надають стимулюючі дію, а короткохвильовою частиною спектру - заспокійливе. Найбільш сприятливу дію надають кольори середньої частини спектру.

Зміна якості кольору, змінює характер відбитого світлового потоку, а значить і кольору предметів.

При забарвленні стель і стін приміщень потрібно уникати темних кольорів, оскільки вони викликають небажані контрасти з яскраво освітленими машинами, поглинають багато світла, справляють гнітюче враження і швидко викликають загальне і зорове стомлення [19].

Стандарт встановлює наступні стандартні сигнальні кольори:

– червоним сигнальним кольором позначаються: кнопки, важелі управління і аварійні стоп сигнали; ємності з легкозаймистими, вогненебезпечним і вибухонебезпечним вмістом; внутрішні поверхні дверей шаф з струмоведучими елементами електроустаткування; пристрої і засоби пожежогасінні; сигнальні лампи, що сповіщають про порушення технологічного режиму або умов безпеки;

– жовтим сигнальним кольором позначаються: елементи будівельних конструкцій, що представляють небезпеку аварій і нещасних випадків; низькі балки, виступи і перепади в площині підлоги, краї люків і колодязів, звуження проїздів, кромки вантажних платформ; елементи виробничого устаткування; кромки захисних пристроїв, що не повністю відкривають небезпечні ділянки виробничого устаткування; кромки штампів, пресів і молотів; поручні ремонтних і монтажних майданчиків високих машин і верстатів; елементи внутрішньо цехового і міжцехового транспорту; знаки, застережуючі про небезпеку;

– зеленим сигнальним кольором позначаються: пристрої і засоби забезпечення безпеки - аварійні двері і рятувальні виходи; пункти першої допомоги; сигнальні лампи, що сповіщають про нормальний режим роботи машини або автоматичної лінії; аптечки і місця зберігання рятувальних засобів; приписуючи знаки;

– синім сигнальним кольором позначаються: елементи виробничо-технічної інформації; вказівні знаки.

– габарити проїздів, проходів і робочих місць позначаються смугою жовтим або білим кольором[20].

## Висновки

1. Проведено аналіз витрат електричної енергії ПАТ «Запоріжсталь».
2. Проведено аналіз знижувальної підстанції М-1 ПАТ «Запоріжсталь»
3. Проведено аналіз витрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».
4. Розраховані фактичні втрати електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».
5. Проведено дослідження методів прогнозування втрат електричної енергії. Розглянуті методи кореляційного та регресійного аналізу.
6. Проведено розрахунок рівняння регресії. Графічно представлено крива регресії.
7. Проведено перевіряння достовірності рівняння регресії.
8. Проведено дослідження спрогнозованих втрат електричної енергії в розподільній мережі 0,4 кВ ПАТ «Запоріжсталь».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воротницкий, М.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / М.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
2. Коваленко, В. Л. Электрична частина станцій та підстанцій [Текст] : Навчально-методичний посібник для студентів всіх форм навчання на пряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології». – Запоріжжя: ЗДІА, 2014. – 150 с.
3. Коновалова, Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. [Текст] : учеб. / Л.Л. Коновалова, Л.Д. Рожкова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
4. Ермилов, А. А. Электроснабжение промышленных предприятий / А. А. Ермилов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 208 с.
5. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.: Под ред. В.Н. Казанцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 268 с.
6. Шегда А.В. Економіка підприємства: [Текст] : навч. посіб. / за ред. А.В. Шегди. – К.: Знання, 2005 – 431 с.
7. Справочник по энергопотреблению в промышленности. [Текст] / Под ред. Г.П. Минин, Ю.В. Ковалева. – М.: Энергия, 2012. – 493 с.
8. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.
9. Качан, Ю. Г. Системи виробництва та забезпечення якості електричної енергії [Текст] : навч. посібник для вчз. / Ю. Г. Качан, С. А. Левченко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2014. –133 с.
10. Козулин, В.С. Электрооборудование станций и подстанций [Текст]/ В.С. Козулин, Л.Д. Рожкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
11. Липкин, Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] : Учебник для вузов.– М.: Высш. шк.,1990. –363 с.

12. Моделі і методи прийняття управлінських рішень [Текст] : навч. посіб. для студентів ВНЗ / К. Ф. Ковальчук [та ін.] ; Нац. металург. акад. України. - Дніпропетровськ : Герда, 2014. – 115 с.

13. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / под ред. Б.А.Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.

14. Кремер Н.Ш. Эконометрика: Учебник для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.

15. Доугерти К. Введение в эконометрику: Пер. с англ. / К. Доугерти. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 402 с.

16. Гмурман В. Е. Руководство по решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1998. – 400 с.

17. Айвазян С.А. Теория вероятностей и прикладная статистика / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – 2-е изд., исп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

18. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 4-е изд. / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, Физматгиз, 1969 – 576 с. 25. Харечко, Ю.В. Основы заземления электрических сетей и электроустановок зданий. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: ПТФ МИЭЭ, 2012. – 304 с.

19. ГКД 34.20.507 «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила» Введ 2003 -К.:Вид. Об'єднання енергетичних підприємств «галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» – 597с.

20. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»