

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 Аналіз можливості зниження втрат електричної енергії в цеху  
мереж і підстанцій 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)

Р.О. Масюк

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Ніконова А.О.

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

Рецензент *Дмитро С.В.*

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

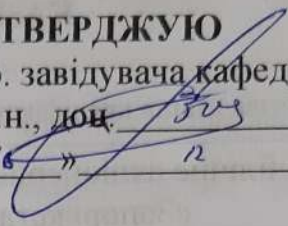
Запоріжжя  
2020

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 » \_\_\_\_\_ 2020 року

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

Масюк Роман Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи \_\_\_\_\_ Аналіз можливості зниження втрат електричної енергії в цеху  
мереж і підстанцій ПАТ «Запоріжсталь» \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_ Ніконова Аліна Олександрівна, 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.

1 3 Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Потужність силових трансформаторів підстанції  
100 кВА; тариф за 1 МВт·год. електроенергії – 77,42 грн без ПДВ; час роботи  
трансформаторів на рік – 8760 годин.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) 1) Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь». 2) Цех мереж і  
підстанцій. 3) Базовий принцип підвищення енергоефективності трансформаторних  
підстанцій в мережах електропостачання. 4) Аналіз трансформаторної підстанції  
35/6 кВ. 5) Стан охорони праці і протипожежної безпеки на експлуатаційній  
дільниці підприємства.

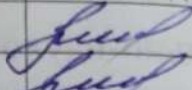
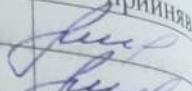
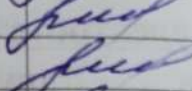
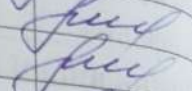
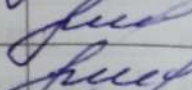
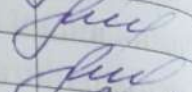
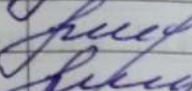
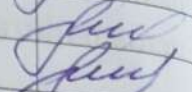
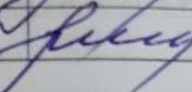
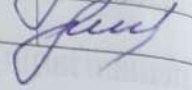
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Цех мереж і підстанцій. 2) Базовий принцип підвищення енергоефективності  
трансформаторних підстанцій. 3) Потенціал енергозбереження за рахунок заміни  
звичайних силових трансформаторів I - III габариту на енергоефективні.

4) Практика впровадження енергоефективних трансформаторів за кордоном.

5) Аналіз трансформаторної підстанції 35/6 кВ.

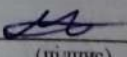
## 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Ніконова А.О. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Ніконова А.О. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Ніконова А.О. к.т.н., доцент		
Розділ 4	Ніконова А.О. к.т.н., доцент		
Розділ 5	Ніконова А.О. к.т.н., доцент		

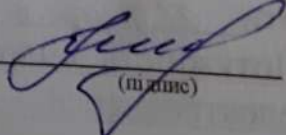
7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь».	29.09.2020	
2	Цех мереж і підстанцій	29.09.2020	
3	Базовий принцип підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій в мережах електропостачання	30.10.2020	
4	Аналіз трансформаторної підстанції 35/6 кВ	20.11.2020	
5	Стан охорони праці і протипожежної безпеки на експлуатаційній ділянці підприємства	30.11.2020	

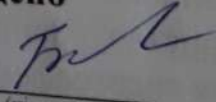
Студент  (підпис)

Р.О. Масюк  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

А.О. Ніконова  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис)

С.В. Башлій  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Масюк Р.О. Аналіз можливості зниження втрат електричної енергії в цеху мереж і підстанцій ПАТ «Запоріжсталь»

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник Ніконова А.О. Запорізький національний університет, Інженерний науково-начальний інститут, кафедра електротехніки та енергоефективності. Запоріжжя, 2020.

В роботі досліджено можливість зниження втрат електричної енергії. Доцільність та ефективність заміни масляних силових трансформаторів на енергоефективні трансформатори в трансформаторних підстанціях підтверджено відповідними розрахунками.

Дипломна робота» включає 93 сторінок, 22 таблиць, 10 рисунків, 45 використаних джерел.

Ключові слова: ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ, РОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ПРАВИЛ УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК.

## ANNOTATION

Masiuk R.O. Analysis of the possibility of reducing electricity losses in the shop of networks and substations of PJSC "Zaporizhstal".

Qualifying work of master's degree on the receipt of higher education after speciality a 141 «Electric power, electrical engineering and electromechanics», scientific leader Nikonova A.A. Zaporozhia national university, Engineering scientifically initial institute, department of electrical engineering and energy efficiency. Zaporozhia, 2020.

The possibility of reducing electricity losses is investigated in the work. The expediency and efficiency of replacing oil power transformers with energy-efficient transformers in transformer substations have been confirmed by appropriate calculations.

Thesis on the topic includes: 93 pages, 22 tables, 10 figures, 45 sources.

Keywords: ELECTRICAL EQUIPMENT, ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION, ELECTRICITY, ELECTROMAGNETIC FIELD, DISTRIBUTION DEVICE, RULES OF RULES.

## РЕЦЕНЗИЯ

Масюк Р.О. Анализ возможности снижения потерь электрической энергии в цехе сетей и подстанций ОАО «Запорожсталь»

Квалификационная работа магистра на получение высшего образования по специальности 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика», научный руководитель Никонова А.А. Запорожский национальный университет, Инженерный научно-учебный институт, кафедра электротехники и энергоэффективности. Запорожье, 2020.

В работе исследована возможность снижения потерь электрической энергии. Целесообразность и эффективность замены масляных силовых трансформаторов на энергоэффективные трансформаторы в трансформаторных подстанциях подтверждено соответствующими расчетами.

Дипломная работа: включает 92 страниц, 22 таблиц, 11 рисунков, 45 использованных источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, ПРАВИЛ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь».....	11
2. Цех мереж і підстанцій.....	20
2.1 Електропостачання цеху гарячої прокатки тонкого листа.....	21
2.2 Характеристика цех холодної прокатки №3.....	23
2.3 Мартенівський цех (копровий цех).....	25
2.4 Характеристика виробництва киснево-компресорного цеху.....	29
2.5 Аналіз шкідливих факторів.....	29
2.5.1 Мікроклімат.....	30
2.5.2 Виробнича вентиляція.....	33
2.5.3 Виробниче освітлення.....	34
2.5.4 Віброакустичні шкідливі фактори.....	35
2.5.5 Захист від електромагнітних полів.....	37
2.6 Аналіз небезпечних чинників. Електробезпека.....	38
2.6.1 Статична електрика.....	41
2.6.2 Ураження електричним струмом.....	41
3. Базовий принцип підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій в мережах електропостачання.....	43
3.1 Обґрунтування базового принципу підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій.....	44
3.2 Основні положення теорії енергоефективності силових трансформаторів.....	49
3.3 Основний закон енергоефективності силових трансформаторів..	51
3.4 Практичне застосування теорії енергоефективності силових трансформаторів.....	52
3.5 Потенціал енергозбереження за рахунок заміни звичайних силових трансформаторів I - III габариту на енергоефективні.....	55

3.6	Методологія оптимізації енергетичної ефективності техноценозу «Силові трансформатори».....	57
3.7	Методологія впровадження енергоефективних силових трансформаторів.....	58
3.8	Практика впровадження енергоефективних трансформаторів за кордоном.....	59
4.	Аналіз трансформаторної підстанції 35/6 кВ.....	62
4.1	Вибір числа і потужності силових трансформаторів.....	63
4.2	Вибір потужності трансформатора.....	66
4.3	Визначення струмів нормального і об'яженого режимів.....	69
4.4	Розрахунок струмів короткого замикання.....	70
4.5	Розрахунок параметрів схеми заміщення.....	72
4.6	Вибір комутаційної апаратури.....	74
4.7	Економічний ефект.....	76
5.	Стан охорони праці і протипожежної безпеки на експлуатаційній дільниці підприємства.....	77
	Висновок.....	87
	Перелік посилань .....	88

## ВСТУП

Актуальність теми роботи полягає у необхідності проведення аналізу енергетичного та технічного обладнання, а також аналізу обсягів споживання електричної енергії цехами ПАТ «Запоріжсталь» для підвищення енергоефективності. У зв'язку з постійним зростанням цін на енергоресурси, частка енергетичних витрат у собівартості продукції досягає 40-60%. З цього виходить, що змінюється і ставлення до енергоресурсів.

Зниження втрат електроенергії в обладнанні цеху дозволяє зменшити споживання енергоресурсів і знизити собівартість продукції, а отже і покращити економічні показники роботи підприємства. В багатьох випадках заходи щодо покращення енергоефективності призводять до покращення якості виробництва, що в свою чергу позитивно впливає на прибутки підприємства.

Практично важливо, щоб електроенергія доставлялася споживачам з допустимими показниками її якості, наприклад, при відповідних величинах напруги. При цьому також не слід пред'являти надмірні вимоги. Зниження впливу мережі або заходи щодо поліпшення показників якості електроенергії можуть обходитися досить дорого. Тому економічно більш обґрунтованим зазвичай є виготовлення електроприймачів, що допускають деякі відхилення показників якості енергії від номінальних значень. Нарешті, електрична мережа як будь-яка інженерна споруда повинна бути економічною. Це означає, що повинні прийматися найбільш досконалі технічні рішення, має забезпечуватися більш повне і раціональне використання обладнання, що застосовується, за роботою електричної мережі повинен здійснюватися систематичний контроль. Для отримання більш раціональних рішень і для забезпечення найбільш економічної роботи мережі потрібне проведення відповідних розрахунків. Поточний контроль за роботою мережі дозволяє своєчасно впливати на умови роботи мережі з метою підвищення відповідних техніко-економічних показників.



Аналіз стану енергоспоживання в Україні показує необхідність створення механізмів реалізації концептуальних ідей та інструментів управління енергоспоживанням для українського підприємства, що враховують особливості української системи управління підприємствами, а також адаптацію цих ідей і інструментів в економічних умовах України.

З кожним роком на Україні підвищуються тарифи на електроенергію, що призводить до збільшення собівартості продукції. Енергозбереження – шлях для енергоємних виробництв витримати жорстку конкуренцію на світовому ринку.

Метою та завданням роботи є вдосконалення та подальший розвиток трансформаторних підстанцій та контроль енергоефективності споживання електричної енергії обладнанням цехів підприємства. Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання та контролю обсягів споживання енергетичних ресурсів підприємством;
- аналіз моделей виявлення та зменшення втрат електроенергії на підстанції;
- застосування та можливості удосконалення існуючого обладнання на трансформаторних підстанціях на більш енергоефективне.

Предметом досліджень є техніко-економічні методи та підходи до аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на промисловому підприємстві.

Об'єктом досліджень є трансформаторні підстанції в яких встановлені силові масляні трансформатори потужністю від 25 кВА до 6 300 кВА та процес аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

Методи дослідження. В роботі використовувались теоретичні методи та дослідження, які полягають в проведенні наукового аналізу існуючого стану енергетичного обладнання цеху мереж і підстанцій ПАТ «Запоріжсталь».

Наукова новизна роботи полягає в наступному: в роботі вперше виведений якісний підхід до оцінки енергоефективності трансформаторних підстанцій враховуючи обсяги споживання енергетичних ресурсів та базовий принцип підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій в мережах електропостачання.

Практична цінність роботи. Впровадження енергоефективних трансформаторів зменшить обсяги споживання електроенергії на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» та дозволить оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві. Енергоефективні трансформатори дозволять зменшити втрати на підприємстві та дозволить удосконалювати методику встановлення базового рівня енергоспоживання при впровадженні системи енергетичного менеджменту на підприємствах.

Структура дипломної роботи на тему «Аналіз можливості зниження втрат електричної енергії в цеху мереж і підстанцій ПАТ «Запоріжсталь» складається із вступу, 5 розділів, висновків та переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 93 сторінки основного тексту, в тому числі 10 рисунків, 22 таблиці та 45 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

## 1 ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

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

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

Велика Вітчизняна війна 1941-1945 років перериває розвиток ПАТ «Запоріжсталь». 18 серпня 1941 року робота заводу була повністю зупинена.

До грудня 1949 року ПАТ «Запоріжсталь» відновив сталеплавильне виробництво і вийшов на довоєнний рівень виробництва.

У грудні 1952 на ПАТ «Запоріжсталь» - вперше в країні - вироблені перші плавки на кисневому дутті, їх технологія була відпрацьована спільно з фахівцями Центрального НДІ чорної металургії.

З 1954 року ПАТ «Запоріжсталь» переходить на промислове застосування кисню в сталеварінні. Середня тривалість плавки при цьому зменшується на 2 години, а з квадратного метра поду сталеплавильники знімають на 100 тон сталі більше.

У 1994 році - вперше в практиці експлуатації широкосмугових прокатних станів - на ПАТ «Запоріжсталь» впроваджена енергозберігаюча технологія прямого (транзитного) прокату слябів, без попереднього підігріву в методичних печах. При цьому на виробництві 1 тони продукції досягнуто зниження витрати природного газу на 75 %.

У 2000 році в обтискному цеху ПАТ «Запоріжсталь» входить в дію АСУ нагріву злитків в нагрівальних колодязях - значущий енергозберігаючий захід. Витрата умовного палива при виробництві продукції знижена до 5 кг/тону, також знижено угар металу - на 2 кг/тону продукції.

Пам'ятник до 50-річчя залізничного цеху комбінату «Запоріжсталь»

Комбінат входить до рейтингу 80 найкращих підприємств світу, виробляє майже 11 % чавуну і сталі, а також 29,4 % листового прокату в Україні, постачає продукцію на зовнішній ринок.

Характерною особливістю чавуну виробництва ПАТ «Запоріжсталь» є низький вміст у ньому сірки і фосфору, завдяки чому він має широкий попит на світовому ринку, а також на ринку України.

Починаючи з 2012 року Генеральним директором ПАТ «Запоріжсталь» є Шурма Ростислав Ігорович.

На ПАТ «Запоріжсталь» розроблена і впроваджується програма з підвищення ефективності та модернізації виробництва, поліпшення умов праці та промислової безпеки. Починаючи з серпня 2012 року, на комбінаті відзначено зростання обсягів виробництва, підвищення ефективності, зниження собівартості продукції. Комбінат виходить на беззбитковий рівень виробництва.

2012 став визначальним для подальшого інноваційного розвитку ПАТ «Запоріжсталь». На підприємство приходить новий, ефективний власник – Група Метінвест.

Генеральним директором підприємства призначено Ростислава Шурму, який має ефективний досвід роботи на металургійних підприємствах Метінвесту [1].

На ПАТ «Запоріжсталь» розроблена і впроваджується програма з підвищення ефективності та модернізації виробництва, поліпшення умов праці та промислової безпеки. Починаючи з серпня 2012 року, на комбінаті відзначено зростання обсягів виробництва, підвищення ефективності, зниження собівартості продукції. Комбінат виходить на беззбитковий рівень виробництва.

У жовтні 2012 року після тривалої перерви ПАТ «Запоріжсталь» відновив співпрацю з Запорізьким річковим портом з відвантаження своєї продукції.

У грудні 2012 року на ПАТ «Запоріжсталь» реалізовано великий інвестиційний проект - входить в роботу сучасний високотехнологічний базисний склад вугілля комплексу установки із вдування пиловугільного палива в доменному виробництві. Повний обсяг інвестицій у реалізацію проекту ПВП - порядку 1 млрд грн., включаючи БСУ - 350 млн грн.

Реалізація проекту ПВП дозволила ПАТ «Запоріжсталь» повністю відмовитися від використання в доменному виробництві природного газу, знизити витрату коксу.

У 2013 році реконструйована газоочистка агломераційної машини № 1. У 2014 році модернізована доменна піч № 4, побудовані нова лінія соляно-кислотного травлення в ЦХП № 1 і нова газоочистка на агломашині № 2. На реалізацію цих проектів спрямовано понад 1 млрд. 400 млн гривень. Крім того, в програму модернізації підприємства входять реконструкція газоочистки агломашин № 3 - № 6, відновлювальні ремонти доменних печей № 3 та № 5 та будівництво нової турбоповітродувки. На ці цілі заплановано виділити близько 200 млн доларів. Також в перспективних планах підприємства перехід до конвертерного способу виплавки сталі.

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  $50 \text{ мг/м}^3$ , від сірчистого ангідриду - нижче  $400 \text{ мг/м}^3$ .

В екологічну модернізацію ПАТ «Запоріжсталь» за 2013–2014 роки інвестовано близько 2,25 млрд гривень: в 2013 - понад 600 млн гривень, у 2014 році - понад 1 655 млн гривень [1].

У 2016 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 2015 році. Також вироблено 3600,2 тис. тон чавуну, 3890,7 тис. тон стали, 3367,9 тис. тон прокату. Унікальне географічне положення дає ПАТ «Запоріжсталь» логістичні переваги за рахунок близькості до постачальників сировини, водних та залізничних магістралей.

ПАТ «Запоріжсталь» - підприємство з повним металургійним циклом, яке займає лідируюче місце по виробництву сталі в Україні, обсягами експорту металопродукції більш ніж в 50 країн світу, а також податкових відрахувань. В 2016 році поставив споживачам водним транспортом через Запорізький річковий порт понад 540 тис. тон металопродукції. У 2018 року комбінат збільшив податкові перерахування в бюджет України направивши в державну казну понад 3,8 млрд гривень.

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

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 [1].

За об'ємом виробництва сталі ВАТ "Запоріжсталь" входить до четвірки найбільших підприємств України. А за виробництвом тонколистового, в тому числі холоднокатаного прокату, ділить перше та друге місця.

ВАТ "Запоріжсталь" є єдиним на Україні підприємством по виробництву тонколистового прокату з нержавіючих та легованих сталей, гнутих профілів, консервної жерсті, тонколистового прокату з полімерним покриттям - металопласту.

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.

Ще один великий проект 2016 року - масштабна реконструкція доменної печі № 3. Агрегат буде оснащений сучасною системою аспірації, яка забезпечить очистку викидів від пилу до  $50 \text{ мг/м}^3$ . 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 тягодутьєвим 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 соціальні пільги.

ПАТ «Запоріжсталь» стабільно працює, розвивається і продовжує модернізацію з використанням сучасних прогресивних і відповідаючих усім світовим стандартам природоохоронних технологій. Проектні потужності

комбінату дозволяють виробляти близько 6,3 млн. тон агломерату, 4,2 млн. тон чавуну, 4,07 млн. тон сталі, порядку 3,7 млн. тон гарячого прокату, і порядку 1,2 млн. тон холодного прокату.

Основною експортною продукцією підприємства на початку XXI ст. є холоднокатаний сталевий лист у рулонах. Частка експорту в загальному обсязі реалізації становить близько 76 %. Комбінат поставляє продукцію більш ніж в 50 країн світу. Серед країн-імпортерів — Китай, Туреччина, Філіппіни, Ізраїль, Малайзія, Італія, США, Польща, Йорданія.

С 1 серпня 2016 року зі складу ПАТ «Запоріжсталь» виведені три ремонтні цехи - механічний, ливарний і цех металоконструкцій. Вони утворили окремий завод - Запорізький ливарно-механічний завод (ТОВ «ЗЛМЗ»).

З 1 червня 2017 року зі складу ПАТ «Запоріжсталь» виведені ще три цехи ЦРМО-1, ЦРМО-2 (цехи ремонту металургійного обладнання) і ЦРЕМЦ (цех ремонту електрообладнання металургійних цехів) — вони увійшли до складу існуючого підприємства — ТОВ «МЕТІНВЕСТ-ПРОМСЕРВІС» зі штаб-квартирою в Маріуполі.

ПАТ «Запоріжсталь» в 2018 році поставив клієнтам водним транспортом через Запорізький річковий порт понад 670 тис. тон металопродукції [1].

У 2018 року три з чотирьох запланованих до оновлення машин ТГМ-4 для «Запоріжсталі» модернізує Миколаївський тепловозремонтний завод, ще один локомотив – оновить аналогічне підприємство в Запоріжжі. У 2019 «Запоріжсталь» виконає ремоторизацію локомотива власними силами. Завдяки ремоторизації витрата палива знижена до 30%, споживання ПММ – на 50% [4].

ПАТ «Запоріжсталь» сьогодні має наступні показники:

- входить в топ-10 найбільших виробників сталі в СНД;
- займається виготовленням чавуну, сталі, плоского прокату;
- інтегрована компанія з повним металургійним циклом;
- реалізація продукції більш ніж в 40 країн світу;



- потужна база постачання на основі компаній групи Метінвест;
- виробник високоякісного сталевого гарячокатаного прокату рулону, гарячокатаного прокату листа, холоднокатаного прокату листа, холоднокатаного прокату рулону товщиною 0,5-8,0 мм з вуглецевих, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей, а також сталева стрічки і жерсті;
- основні покупці: виробники зварних труб, підприємства автомобільного, сільськогосподарського, транспортного машинобудування, виробники виробів побутової техніки і металосервісний центр;
- вдале географічне положення в індустріальному серці України на перетині основних транспортних артерій, що визначає ряд переваг в логістиці перед конкурентами;
- компанія має найнижчі витрати в порівнянні з українськими аналогами;
- розташування виробничого комплексу ПАТ «Запоріжсталь» в м.Запоріжжя на перетині транспортних шляхів і в істотній близькості від джерел сировини дозволяє використовувати логістичні переваги як фактор зниження витрат.

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.

Відповідно до програми технічного переозброєння, «Запоріжсталь» до 2012 року перейшла на 100% - у киснево-конвертерну виплавку з безперервним розливанням сталі. Вартість модернізації оцінювалася у 15 млрд грн [2].

14 травня 2019 року на базі комбінату «Запоріжсталь» відбулася конференція залізничників промислових підприємств України на тему «ремоторизація локомотивів» [3].

В ході конференції «Запоріжсталь» представив свій успішний досвід ремоторизації тепловозів серії ТГМ-4, в рамках програми з модернізації локомотивного парку підприємства. «Запоріжсталь» з 2017 року проводить ремоторизацію рухомого складу, що передбачає заміну двигуна на новий, більш ефективний мотор виробництва американської компанії Cummins, модернізацію гідравлічної передачі і колісних пар, гальмівної системи. Завдяки ремоторизації збільшений міжремонтний період обладнання, знижено витрати палива і ПММ, поліпшені умови праці працівників. За три роки оновлено п'ять машин ТГМ-4 – Миколаївським і Запорізьким тепловозоремонтним заводом, а також власними силами підприємства. Інвестиції в оновлення локомотивного парку склали близько 50 млн. гривень.

Учасники конференції також обговорили пропозиції щодо модернізації тепловозів серії ТЕМ-2, ознайомилися з роботою ремоторизованного локомотивного парку «Запоріжсталі» [3].

29-31 травня в виставковому центрі «Козак-палац» проходив третій спеціалізований міжнародний Запорізький екологічний форум «Еко Форум-2019». «Запоріжсталь» презентував реалізовані проекти, скеровані на екологічну модернізацію підприємства [4].

«Запоріжсталь» взяв участь у круглому столі «Зелена» модернізація підприємств – питання бізнесу чи держави?», де презентував власний шлях з екологічної трансформації комбінату. Особливу увагу підприємство приділило презентації досвіду з раціонального споживання водних ресурсів.

Суттєвого зниження техногенного впливу на водні ресурси вдалося досягти завдяки будівництву сучасної травильної лінії в ЦХП-1, що дозволило повністю припинити скид вод від цеху в р. Дніпро та парів сірчаної кислоти – у атмосферу. В 2018 році комбінат ввів в експлуатацію вентиляторну градирню зворотнього циклу газоочисток доменних печей, що дозволило скоротити забір свіжої води та скид зворотних вод у водні басейни.

В 2019 році комбінат запустив в роботу комплекс з перехоплення стічних вод. Відтепер понад 5 мільйонів кубометрів води перехоплюються для

подальшої очистки, знезараження та повернення у виробництво. Сумарно, завдяки вжитим заходам, «Запоріжсталі» вдалося з 2012 року знизити скид вод у водні басейни на 16 мільйонів м<sup>3</sup> на рік [4].

## 2 ЦЕХ МЕРЕЖ І ПІДСТАНЦІЙ

Цех мереж і підстанцій здійснює безперебійне електропостачання споживачів комбінату електроенергією, проведення всіх видів ремонтів і оперативне обслуговування електроустаткування цеху, використання виробничих потужностей і достовірний облік отриманої і відпущеної електроенергії.

Цех обслуговує всі виробництва підприємства пов'язане з використанням електричної енергії такі як: агломераційний цех (6 агломашин); доменний цех (4 доменні печі); мартенівський цех (7 мартенівських печей і 1 двохванний сталеплавильний агрегат); цех підготовки складів; обжимний цех; цех гарячої прокатки тонкого листа; цехи холодної прокатки № 1 та №3.

Енергетики ПАТ «Київенерго» побували в цеху мереж та підстанцій комбінату «Запоріжсталь», обговорили з фахівцями комбінату важливість системного підходу при економії енергоресурсів. Особливо фахівці ПАТ «Київенерго», звернули увагу на досвід комбінату «Запоріжсталь» в інтеграції системи з безперервного вдосконалення виробництва з системою енергоменеджменту [1].

На комбінаті реалізується комплексна програма, спрямована на підвищення ефективності виробництва і зниження витрат, впровадження енергозберігаючих проектів та сучасних технологій, заснованих на високоефективному використанні паливно-енергетичних ресурсів. За словами фахівців ПАТ «Київенерго», досвід впровадження і результати енергоменеджменту ПАТ «Запоріжсталь» зараз дуже актуальні для енергетичної галузі.

«У нинішніх ринкових умовах собівартість визначає конкурентоспроможність нашої продукції. А оскільки паливно-енергетичні ресурси – це лівова частка в собівартості металу, раціональне використання природного газу, вугілля, коксу, води, електроенергії – якраз і є основним

джерелом зниження собівартості і забезпечення конкурентоспроможності нашої продукції», заявив під час зустрічі з колегами з ПАТ «Київенерго» головний енергетик ПАТ «Запоріжсталь» Андрій Лупоносов.

ПАТ «Запоріжсталь» на тлі зростання виробничих показників за останні три роки досяг стійкої тенденції до скорочення споживання природного газу у виробництві. У 2013 році було використано 236 млн м<sup>3</sup>, а в 2014 році – вже 206 млн м<sup>3</sup> природного газу, в 2015 році – 204 млн м<sup>3</sup>. У 2016 році сумарне споживання складе на рівні 166 млн куб. м природного газу [1].

## 2.1 Електропостачання цеху гарячої прокатки тонкого листа

Електропостачання ЦГПТЛ здійснюється від підстанцій М1, М2, М3, М4 цеху мереж та підстанцій (ЦМП).

Основними живильними підстанціями цеху (напруга 6кВ) є:

Підстанція 23 - 49 фідерів;

Підстанція 231 - 39 фідерів-РУ1;

Підстанція 231 - 37 фідерів-РУ-2;

Підстанція 128 -12 фідерів;

Підстанція 129 - 10 фідерів;

Підстанція 130-130А - 19 фідерів;

Підстанція 23А - 36 фідерів;

Підстанція 24 - 21 фідер;

Підстанція 24Б - 27 фідерів;

Підстанція 338 - 22 фідера;

Підстанція 339 - 32 фідера;

Підстанція 340 - 22 фідера.

Фактори, що впливають на споживання електроенергії наведено на рисунку 2.1, а також споживання електроенергії наведено на рисунку 2.2.

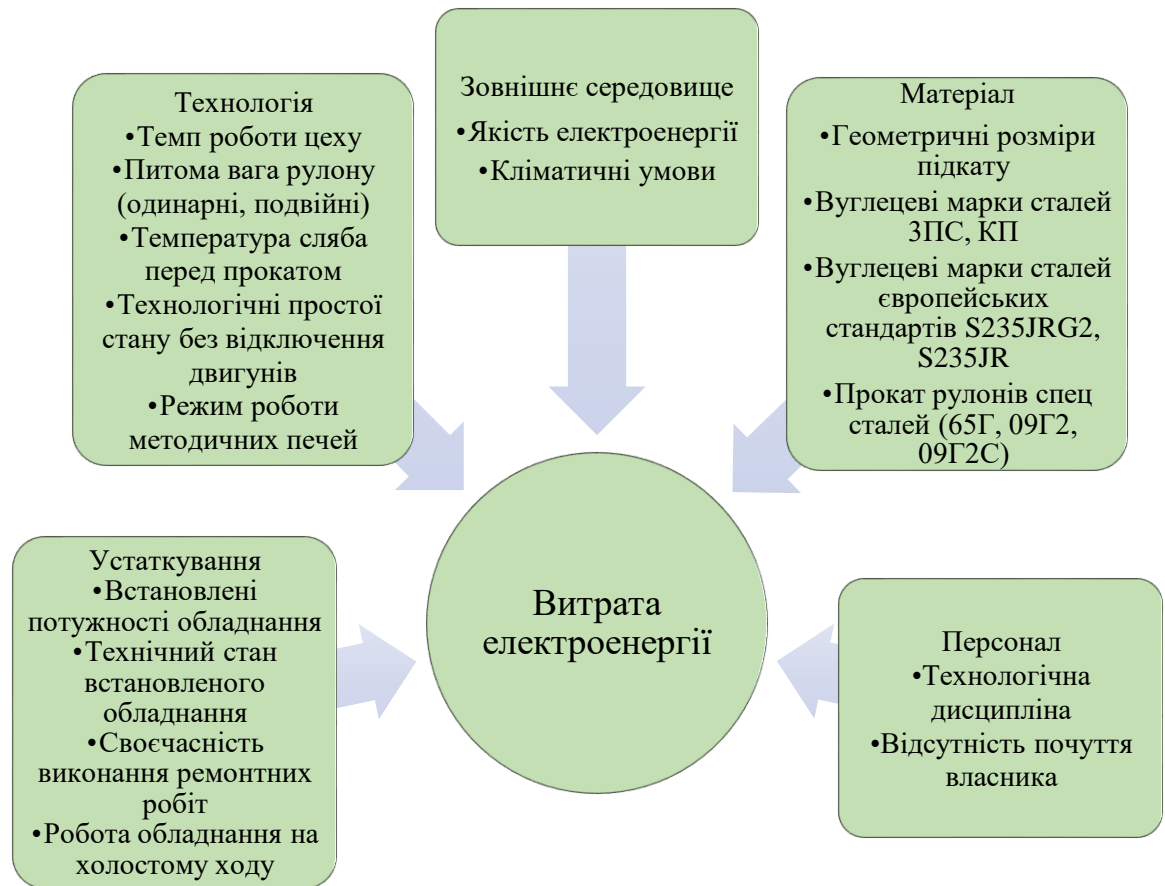


Рисунок 2.1 - Фактори, що впливають на споживання електроенергії

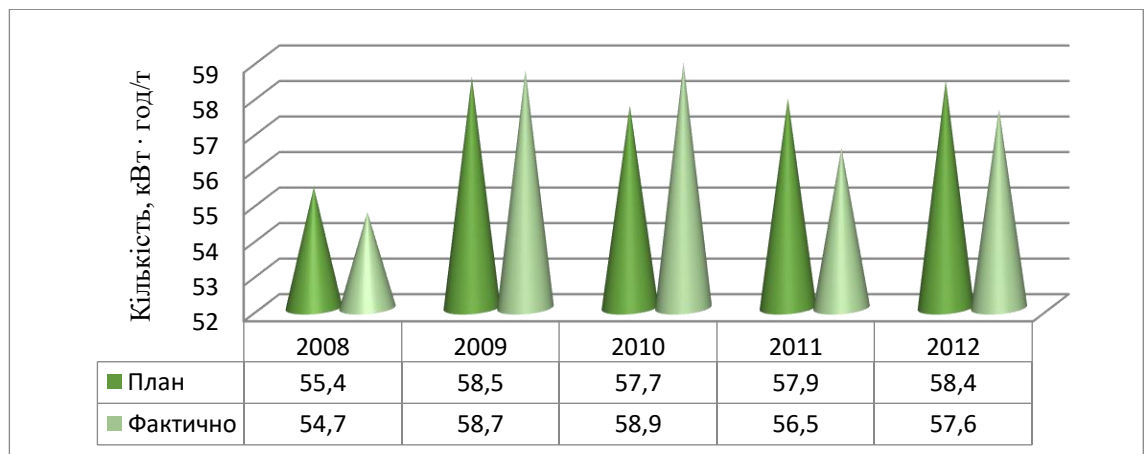


Рисунок 2.2 – Витрата електроенергії

## 2.2 Характеристика цех холодної прокатки №3

Цех мереж і підстанцій обслуговує цех холодної прокатки №3 до якого входять наступні підрозділи:

- прокатне відділення: стан холодної прокатки 2800 для холодної прокатки і дресирування листів нержавіючих, легованих і вуглецевих сталей.
- ділянка по ремонту і підготовки прокатних валків: здійснює перешліфовку опорних і робочих валків для стану 2800;
- ковпакові газові печі: здійснюють рекристалізацію світлого відпалювання металу в листах і рулонах з вуглецевих і легованих марок сталі;
- ділянка обробних агрегатів: здійснюють порізку рулонної заготовки на листи для подальшого переділу і обрізки поздовжніх і поперечних кромek холоднокатаних і гарячекатаних листів з нержавіючих, легованих і вуглецевих марок сталі;
- ділянка обробки і відвантаження металу: здійснює по листову сортування, зачистку, упаковку і відвантаження готового прокату [2].

Схема розташування обладнання наведена на рисунку 2.3.

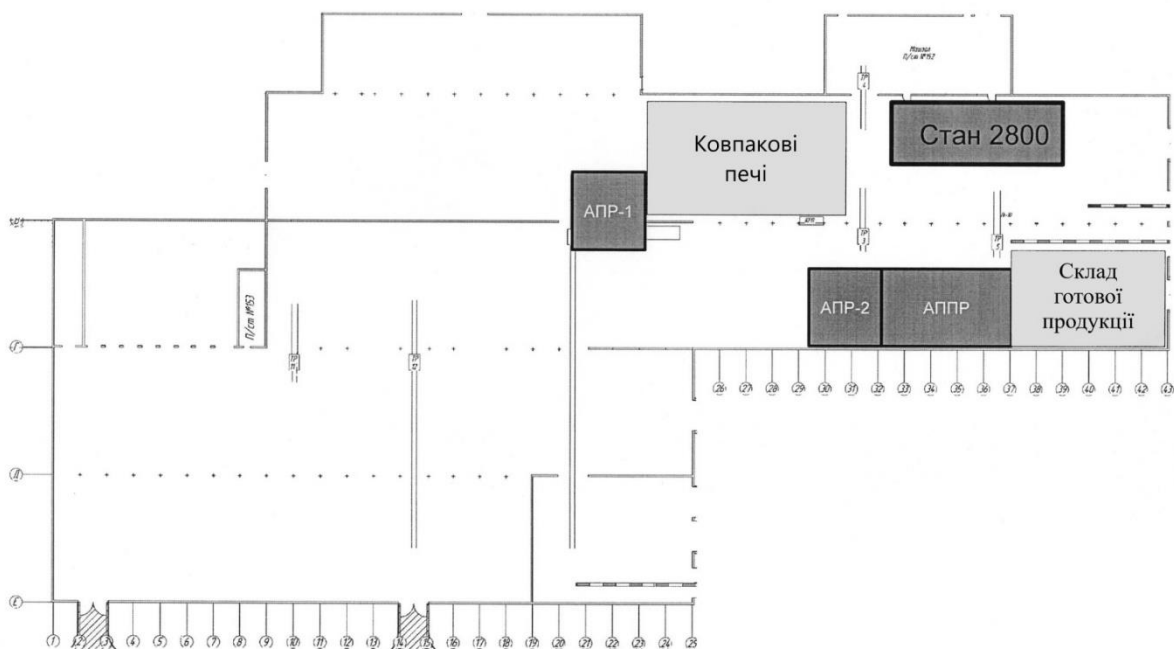


Рисунок 2.3 - Схема розташування обладнання

Цех холодної прокатки № 3 на стані «2800» виробляє холоднокатаний лист товщиною від 1,5 до 5,0 мм, шириною 1000-2300 мм і довжиною до 3500 мм з вуглецевих марок сталі. У складі цеху мається спеціалізоване відділення з виробництва шліфованих і полірованих листів і рулонів. Максимальна виробнича потужність по гарячекатаному прокату – до 3,6 млн. т, по холоднокатаному прокату – 1 млн. т, по холодногнутих профілів – до 500 тис. т. [2].

Технічна характеристика обладнання стана «2800»

Прокатне відділення: здійснює полистну прокрутку і дресирування холоднокатаного металу з легованих, нержавіючих і вуглецевих марок сталі, а також дресирування гарячекатаного металу з цих же марок сталі.

Характеристика приводу валків наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика приводу валків

Потужність двигуна, кВт	Обороти якоря, об/хв	Швидкість прокатки, м/с
2940	40-80	0,5-2

Привод робочих валків від електродвигунів здійснюється через проміжний вал з зубчатою муфто, шестеренну кліть і шпindelні з'єднання.

Технічна характеристика ділянки розділочних агрегатів:

Розмотувач конусного типу з підйомним столом і пристроєм відгинання кінця смуги. Правий конус приводний від двигуна 7,5 кВт. Переміщення конусів електромеханічне від двох двигунів по 13,6 кВт. Підйом і опускання столу - від двигунів 13,3 кВт, швидкість переміщення – 1 м/хв. Розмотувач оснащений пристроями для відгинання кінців смуги: притискним роликом, призначеним для утримання рулону від розпушування, пристроєм відгинання кінця смуги, що складається з транспортерної стрічки зі скребком на кінці, роликом що коливається для прийняття кінця смуги, піднятого пристроєм відгинання.



П'яти роликів правильна машина з тягнучими роликами. Діаметр правильних роликів 200 мм, діаметр тягнучих роликів 420 мм. Правильна машина призначена для редагування смуг з межею плинності до 981 МПа (100 кгс/мм). Довжина бочки правильних і тягнучих роликів - 1600 мм. Привід правильної машини від двигуна постійного струму потужністю 150 кВт, швидкість правки від 0,1 до 0,4 м/с. Редуктор правильної машини обладнаний лічильником імпульсів для забезпечення мірного різання відповідно до завдання [2].

Рольганг для транспортування смуги після правильної машини складається з семи роликів діаметром 175 мм, крок - 300 мм. Привід рольганга - ланцюговий від двигуна потужністю 8,5 кВт, швидкість рольганга 0,1 - 0,4 м/с.

Листові ножиці з нижнім різом призначені для порізки смуг на листи довжиною від 1850 до 4000 мм. Верхній ніж - нерухомий. Привід нижнього ножа від двигуна потужністю 100 кВт. Кут нахилу верхнього ножа 2 °. Довжина ріжучої кромки ножа - 1700 мм, максимальне зусилля різання - 40 тон, межа міцності матеріалу, що розрізається - 981 МПа (100 кгс/мм<sup>2</sup>), відносне подовження 25 - 45%. Ножиці виробляють до 5 різів в хвилину. Хід нижнього ножа - 170 мм.

### 2.3 Мартенівський цех (копровий цех)

Виробництво чавуну і сталі безпосередньо з руди - процес дорогий порівняно з переплавою вторинної сировини. Під ці цілі, великі металургійні та машинобудівні комбінати відводять спеціалізовані ділянки, іменовані копровий цех. Саме тут відбувається підготовка металобрухту до подальшої переплавки.

Ділянка для приймання габаритного легкого брухту, переробки його методом пресування в холодному стані в пакети, сортування, різання і відвантаження готової продукції споживачеві (мартенівський цех) [3].

Ділянка представляє собою дві кранові естакади пресу Б-1642 та Б-101.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики пресів Б-1642 та Б-101

Номінальне зусилля преса, т	1600
Тиск робочої рідини кг/см <sup>2</sup>	320
Час циклу пакетування, хв	3
Товщина пресованого матеріалу, мм (не більше)	10
Потужність двигуна головного насосу, кВт	315
Вид насосу	горизонтальний
Марка насосу	Г305А
Подача масла насосом, л/хв	600
Тиск масла створюване насосом, кг/см <sup>2</sup>	320

Споживання електричної енергії на ділянка хцеху надано в таблицях 2.3-2.7

Таблиця 2.3 – Сумарне споживання електричної енергії на ділянці пресу Б-101

Агрегат	Кількість споживачів, п	Годинне споживання, W
1	2	3
Насосний агрегат головного привода	2	77,49
Насосний агрегат допоміжного привода	3	2,77
Вентиляція витяжна	4	3,61
Аератори	2	4,51
Насоси градирні	1	12,3

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
Вентилятори градирні	2	2,46
Освітлення	52	2,8
Електро-мостовий кран № 180	1	16,24
Електро-мостовий кран №379	1	17,84
Електро-мостовий кран №378	1	17,84
$\Sigma$	-	157,84 кВт·год

Таблиця 2.4 - Сумарне споживання електричної енергії на ділянці пресу Б-1642

Агрегат	Кількість споживачів, n	Годинне споживання, W
Насосний агрегат головного привода	2	165,38
Насосний агрегат допоміжного привода	3	5,91
Вентиляція витяжна	4	7,7
Аератори	2	9,63
Насоси градирні	1	26,25
Вентилятори градирні	2	5,25
Освітлення	52	7,6
Електро-мостовий кран № 387	1	27,64
Електро-мостовий кран № 388	1	49,31
Електро-мостовий кран № 389	1	49,31
Електро-мостовий кран № 390	1	-
$\Sigma$	-	353,97 кВт·год

Таблиця 2.5 – Споживання електричної енергії на ділянці шлакового відділення

Агрегат	Кількість споживачів, п	Годинне споживання, W
Установка обприскування шлакових чаш	1	0,13
Кантувальні пункти	9	0,22
Освітлення	59	9,6
Електро-мостовий кран №184	1	6,04
Електро-мостовий кран №187	1	26,22
Електро-мостовий кран №185	1	26,22
Електро-мостовий кран №186	1	23,22
Електро-мостовий кран №194	1	10,40
$\Sigma$	-	102 кВт·год

Таблиця 2.6 – Споживання електричної енергії на ділянці “Копер”

Агрегат	Кількість споживачів, п	Годинне споживання, W
Освітлення	36	-
Електро-мостовий кран №176	1	14,32
Електро-мостовий кран №177	1	-
Електро-мостовий кран №178	1	12,09
$\Sigma$	-	26,41 кВт·год

Таблиця 2.7 – Витрати електричної енергії на ділянці вогневого розрізу

Агрегат	Кількість споживачів, п	Годинне споживання, W
Освітлення	14	2,24
Електро-мостовий кран № 191	1	-
Електро-мостовий кран № 183	1	-
$\Sigma$	-	2,24 кВт·год

## 2.4 Характеристика виробництва киснево-компресорного цеху

Киснево-компресорний цех виробляє допоміжну продукцію, таку, як: кисень, стиснене повітря, аргон і азот, проте він є одним з найбільш енергоємних цехів підприємства.

Найбільш енергоємним процесом є виготовлення технічного кисню. Середні питомі витрати електроенергії на виготовлення 1000 м<sup>3</sup> даного виду продукції складають 582 кВт·год.

Технічний газоподібний кисень застосовується в газоплазмових процесах обробки металів, зварювання, поверхневого гартування, кисневої різки, металізації та інших процесах. Широке застосування технічний кисень знаходить в хімічній промисловості при отриманні штучного рідкого палива, мастил, ряду кислот, аміачних добрив і інших продуктів, в металургії – для інтенсифікації ряду металургійних процесів в доменному, сталеплавильному та інших виробництвах.

Середні питомі витрати на виготовлення 1000 м<sup>3</sup> іншої продукції, а саме: стисненого повітря, азоту і аргону, складають 134 кВт·год.

Загальні середні витрати електричної енергії на виготовлення продукції складають 80 млн. кВт·год на місяць, або 960 млн. кВт·год/рік.

## 2.5 Аналіз шкідливих факторів

На підприємстві робочі часто стикаються з впливом таких фізично шкідливих виробничих факторів, як:

- підвищена або знижена вологість повітря;
- підвищена або знижена температура повітря;
- погана освітленість робочого місця;

- наявність підвищеного рівня шуму;
- вібрація;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- теплове випромінювання;
- швидкість руху повітря.

Небезпечні фактори:

- 1) механічні травми;
- 2) можливість ураження електричним струмом;
- 3) статична електрика;
- 4) вибух;
- 5) пожежа.

Необхідно визначити несприятливі виробничі фактори, зробити їх кількісну оцінку і її зіставлення з нормативними вимогами для аналізу небезпечних і шкідливих факторів і способам поліпшень умов праці.

### 2.5.1 Мікроклімат

У забезпеченні умов високої виробничої праці науково-технічного персоналу важливу роль відіграє мікроклімат, тобто фактори виробничого середовища, що впливають на фізичний і емоційний стан людського організму. До таких факторів належать:

1. температура;
2. вологість і тиск повітря;
3. швидкість руху повітря;
4. інтенсивність теплового випромінювання.

Норми виробничого мікроклімату встановлені системою стандартів безпеки праці СанНіП 2.2.4.548-96. «Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень».

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами:

- температура повітря  $t^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість  $\varphi, \%$ ;
- швидкість руху повітря  $v, \text{м/с}$ ;
- гранично допустима концентрація речовин ГДК;
- інтенсивність теплового випромінювання  $I, \text{Вт/м}^2$ .

Оптимальні норми параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення.

Оптимальні параметри мікроклімату в холодний і теплий періоди року в головному виробничому корпусі, для електромонтера, повинні відповідати величинам, наведеним у таблиці 2.8, при цьому зміни температури повітря протягом зміни не повинні перевищувати  $2^{\circ}\text{C}$  і виходити за межі величин, зазначених в таблиці 2.8 та 2.9.

До категорії Пб належать роботи з витратою енергії від 232 до 293 Дж/с (Робота, пов'язана з ходьбою і перенесенням тягарів до 10 кг).

Таблиця 2.8 - Оптимальні величини показників мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року	Холодний	Теплий
Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Пб (141-175)	Пб (141-175)
Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	21-23	22-24
Температура поверхонь, $^{\circ}\text{C}$	20-24	21-25
Відносна вологість повітря, %	60-40	60-40
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,2

Таблиця 2.9 - Допустимі величини показників мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року		Холодний	Теплий
Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт		Пб (141-175)	Пб (141-175)
Температура повітря, °С	Діапазон нижче оптим. вел.	19-20,9	20-21,9
	Діапазон вище оптим. вел.	23,1-24	24,1-28
Температура поверхонь, °С		18-25	19-29
Відносна вологість повітря, %		15-75	15-75
Швидкість руху повітря, м/с	Для діапазону температури повітря нижче оптим. вел., не більше	0,1	0,1
	Для діапазону температури повітря вище оптим. вел., не більше	0,2	0,2

Крім оптимальних параметрів мікроклімату існують і допустимі - це величини які не викликають пошкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть призводити до виникнення загальних і локальних відчуттів теплового дискомфорту, напрузі механізмів терморегуляції, погіршення самопочуття і зниження працездатності.

Допустимі величини інтенсивності теплового опромінення працюючих на робочих місцях від виробничих джерел, нагрітих до темного світіння (матеріалів, виробів та ін.) повинні відповідати значенням вказаних в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Допустимі величини інтенсивності теплового опромінення поверхні тіла працюючих на робочих місцях від виробничих джерел

Опромінювана поверхня тіла, %	Інтенсивність теплового опромінення, Вт/м <sup>2</sup> , не більше
50 та більше	35
25-50	70
менше 25	100



Заходи щодо створення умов для нормальної терморегуляції організму:

- механізація і автоматизація технологічних процесів;
- захист від джерел теплового випромінювання за допомогою теплозахисних екранів;
- облаштування систем вентиляції;
- кондиціонування повітря і опалення.

Заходи по боротьбі з забрудненням повітря шкідливими газами, парами і аерозолями:

- 1) видалення з виробництва або обмеження використання шкідливих речовин;
- 2) раціоналізація технологічного процесу, усуває утворення газів, парів і аерозолів;
- 3) максимальна герметизація устаткування;
- 4) механізація і автоматизація виробничих процесів;
- 5) зволоження оброблюваних матеріалів;
- 6) облаштування різних систем вентиляції від місць виділення газів, парів або аерозолів;
- 7) постачання робітників засобами індивідуального захисту.

## 2.5.2 Виробнича вентиляція

Норми виробничої вентиляції встановлені системою стандартів безпеки праці і санітарні норми СП 60.13330.2012.

На робочому місці передбачається штучна припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція з витратою повітря на одного працюючого не менше 60 м<sup>3</sup>/год.

Повітря, що надходить в приміщення в зимовий час, підігрівається, а в літню пору охолоджується, крім того повітря що надходить при необхідності

може бути зволожено або осушене. Механічна вентиляція забезпечує очистку викидаючого назовні повітря, що дуже важливо для повітряного середовища навколишнього підприємства.

### 2.5.3 Виробниче освітлення

Нормування освітленості проводиться відповідно до СП 52.13330.2011 «Природне і штучне освітлення».

Освітлення в виробничих умовах визначається наступними основними параметрами:

- світловий потік  $\Phi$ , лм;
- сила світла  $I$ , кд;
- освітленість  $E$ , лк;
- яскравість  $L$ , кд/м<sup>2</sup>.

На робочому місці передбачається поєднане освітлення: природне бічне двостороннє доповнюється штучним загальним освітленням.

Основні вимоги до робочого освітлення:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні і в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в поле зору повинна бути відсутня пряма і відбиті блікості - підвищена яскравість освітлених поверхонь;
- величина освітленості повинна бути постійною в часі;
- слід вибирати необхідний спектральний склад світла;
- слід вибирати оптимальну спрямованість світлового потоку;

- всі елементи освітлювальних установок повинні бути досить довговічні, електробезпечні, а також не повинні бути причиною виникнення пожежі або вибуху;

- установка повинна бути зручною і простою в експлуатації, відповідати вимогам естетики.

Вибір нормованої освітленості проводиться по галузевим нормам, розробленим відповідно до БНіП. З урахуванням обраної системи освітлення вибираємо: розряд зорової роботи УІІ; освітленість при системі 200 лк.

Вибираємо світильник ДРЛ найменуванням РСП18.

Передбачаються аварійне освітлення з найменшою освітленістю робочих місць при аварійному режимі 2 лк, евакуаційне освітлення освітленістю при евакуації людей з приміщень не менше 0,5 лк на рівні підлоги основних проходів і сходів, а на відкритих територіях - не менше 0,2 лк.

#### 2.5.4 Вібродокументальні шкідливі фактори

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації і правила роботи з вібронебезпечними механізмами і обладнанням, Санітарні норми СН 2.2.4/2.1.8.566 «Виробнича вібрація, вібрація в приміщеннях житлових і громадських будівель» (таблиця 2.11).

Вібрація визначається наступними основними параметрами:

- частота  $f$ , Гц;
- амплітуда коливань  $d$ , мм.

Таблиця 2.11 - Гранично допустимі значення вібрації робочих місць

Вид вібрації	Допустимий рівень віброшвидкості, дБ, в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Технологічна	-	117	108	102	101	101	101	-	-	-	-

Методи захисту від вібрації:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення: заміна динамічних технологічних процесів статичними, ретельний вибір режиму роботи обладнання, ретельне балансування обертових механізмів;

- зменшення параметрів вібрації шляхом її поширення від джерела: вібродемпфірування, віброгашення, віброізоляція, жорстке приєднання агрегату до фундаменту великої маси, засоби індивідуального захисту (спеціальні рукавиці, рукавички, прокладки, віброзахисне взуття).

Нормовані параметри шуму на робочому місці визначені ГОСТ 12.1.003 - 83 і Санітарними нормами СН 2.2.4/2.1.8.562 - 96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель і на території житлової забудови» (таблиця 2.12).

Таблиця 2.12 - Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку на робочих місцях

Робочі місця	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постійні робочі місця та робочі зони у виробничих приміщеннях і на території підприємств	110	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Шум визначається наступними основними параметрами:

- рівень звукового тиску  $A$ , дБ;
- інтенсивність звуку  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>;
- рівень звуку  $L$ , дБА.

ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартів безпеки праці (ССБП). «Засоби і методи захисту від шуму». Кваліфікація передбачає наступні заходи для зниження рівня шуму:

- 1) Влаштування короткочасних перерв у роботі;
- 2) Установка в приміщеннях звукопоглинальних конструкцій і екранів;
- 3) Якісне виготовлення деталей верстатів і машин;
- 4) Звукоізоляція огорожувальних конструкцій;
- 5) Укриття в кожухи джерел шуму;
- 6) Застосування засобів індивідуального захисту (беруші, проти шумні навушники, шлемофони і ін.).

#### 2.5.5 Захист від електромагнітних полів

Нормування електромагнітних полів (ЕМП) промислової частоти здійснюють по гранично допустимим рівням напруженості електричного і магнітного полів частотою 50 Гц в залежності від часу перебування в ньому і регламентуються Санітарними нормами і правилами СанНіП 2.2.4.1191-03. «Електромагнітні поля у виробничих умовах».

Основні параметри електромагнітних полів (ЕМП):

- частота  $f$ , Гц;
- напруженість електричного поля  $E$ , В/м;
- напруженість магнітного поля  $H$ , А/м;
- щільність потоку енергії  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Гранично допустимий рівень напруженості електричного поля на робочому місці протягом всієї зміни встановлюється рівним 5 кВ/м. При напруженості понад 20 до 25 кВ/м допустимий час перебування в електричному полі становить 10 хв. Перебування в електричному полі з напруженістю більше 25 кВ/м без застосування засобів захисту не

допускається. Напруженість магнітного поля відповідно до гранично допустимих рівнів на робочому місці не повинна перевищувати 8 кА/м.

До основних методів захисту персоналу від електромагнітного поля радіочастот відносяться:

- вибір раціональних режимів роботи обладнання;
- обмеження місця і часу перебування працюючих в ЕМП;
- захист відстанню;
- раціональне розміщення в робочому приміщенні обладнання;
- зменшення потужності джерела випромінювань;
- використання поглинаючих чи відбиваючих екранів;
- застосування засобів індивідуального захисту: спеціальний одяг, виконаний з металізованої тканини, захисні окуляри, спеціальні каски і шоломи.

## 2.6 Аналіз небезпечних чинників. Електробезпека

Гігієнічне нормування ГОСТ 12.1.038 - 82 Система стандартів безпеки праці «ССБП. Електробезпека. Гранично допустимі рівні напруг дотику і струмів» встановлює гранично допустимі рівні напруг дотику і струмів, що протікають через тіло людини при нормальному режимі роботи електроустановок виробничого і побутового призначення постійного і змінного струму частотою 50 і 400 Гц, ПУЕ.

Основні фактори, що визначають небезпеку ураження електричним струмом:

- електричний опір тіла людини;
- величина напруги і струму;
- тривалість дії електричного струму;
- шлях струму через тіло людини;

- рід і частота електричного струму;
- умови зовнішнього середовища і стан людини.

При тривалому впливі допустимий безпечний струм прийнятий в 1 мА.

Захист людини від впливу напруг дотику і струмів забезпечують конструкція електроустановок, технічні засоби і способи захисту, організаційні та технічні заходи по ГОСТ Р 12.1.019-2009 (таблиця 2.13 та 2.14).

Таблиця 2.13 - Залежність тривалості протікання струму через тіло людини від його величини

Струм	Нормована величина	Гранично допустимі значення, не більше, при тривалості впливу струму t, с							
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,0
Змінний 50 Гц	U, В	340	135	105	85	75	70	60	20
	I, мА	400	160	125	90	75	65	50	6
Змінний 400 Гц	U, В	500	330	220	140	130	110	100	36
	I, мА								8
Постійний	U, В	500	350	250	230	220	210	200	40
	I, мА								15

Таблиця 2.14 - Напруги дотику і струми, що протікають через тіло людини при нормальному режимі електроустановки

Струм	U, В	I, мА
	Не більше	
Змінний 50 Гц	2,0	0,3
Змінний 400 Гц	3,0	0,4
Постійний	8,0	1,0

Основними заходами захисту від ураження струмом є:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою від випадкового дотику, за допомогою установки (Огородження роблять з діелектрика або з металу. Вони повинні розташовуватися на певній відстані від неізольованих струмоведучих частин, що залежить від напруги електроустановки і конструкції огорожі. Так, в

закритих РП ця відстань для суцільних огорож має становити при напрузі, 10 кВ - 150 мм,);

- електричний поділ мережі;
- усунення небезпеки поразки у разі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електрообладнання, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням і т.п.;
- застосування спеціальних захисних засобів переносних приладів і пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок:
  - 1) Ізоляція струмоведучих частин.
  - 2) Недоступність струмоведучих частин.
  - 3) Блокування безпеки.
  - 4) Орієнтація в електроустановках.
  - 5) Захисне замикання (шунтування фази).
  - б) Ізолюючі площадки.
- застосування індивідуальних засобів захисту: ізолюючі електрозахисні засоби, що захищають засоби захисту, призначені для тимчасового огороження струмоведучих частин, для тимчасового заземлення, запобіжні засоби захисту призначені для індивідуального захисту від світлових, теплових і механічних пошкоджень.

Справність засобів захисту повинна перевірятися оглядом перед кожним застосуванням, а також періодично через 6-12 місяців.

Згідно ПУЕ, опір ізоляції в електроустановках напругою до 1000 В повинно бути не менше 0,5 МОм.



### 2.6.1 Статична електрика

Допустимі рівні напруженості електростатичних полів встановлені ГОСТ 12.1.045 - 84 Система стандартів безпеки праці «ССБП. Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю».

Основним параметром є напруженість електростатичного поля  $E$ , кВ/м.

Гранично допустимий рівень напруженості електростатичного поля встановлює рівним 60 кВ/м протягом однієї години перебування персоналом в електричному полі.

Захист від електростатичного електрики здійснюється:

- зменшення генерації електричних зарядів;
- усунення вже утворилися зарядів (захисне заземлення);
- нейтралізатори статичної електрики;
- зволоження повітря;
- засоби індивідуального захисту: взуття на шкіряній підшві або підшві з електропровідної гуми.

### 2.6.2 Ураження електричним струмом

Відомо, що поразка людини електричним струмом можлива лише при замиканні електричного кола через тіло людини, тобто при дотику людини до мережі не менше ніж у двох точках. При цьому підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини, є небезпечним фактором. Залежно від умов виробничого середовища, відповідно до «Правил улаштування електроустановок», повинні бути визначені наступні пункти:

- вибір і обґрунтування категорії приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом;
- вимоги до електроустаткування;
- аналіз відповідності реального стану на виробництві перерахованим вимогам;
- заходи щодо усунення виявлених невідповідностей;
- обґрунтування заходів і засобів захисту працюючих від ураження електричним струмом.

Дожимна насосна станція належить до приміщень з підвищеною небезпекою ураженням людей електричним струмом, характеризується наявністю наступних умов згідно з ПУЕ.

- струмопровідна пил;
- струмопровідні підлоги (металеві, земляні, залізобетонні, цегляні);
- можливість одночасного дотику людини до яких з'єднання з землею металоконструкцій будинків, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання - з іншого.

### 3 БАЗОВИЙ ПРИНЦИП ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ В МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

При розгляді стратегії підвищення енергетичної ефективності будь-якого процесу слід пам'ятати, що енергетична ефективність, як одна з ключових категорій будь-якої економічної системи, володіє мультиплікативний ефект, а саме: чим вище енергоефективність в початкових секторах технологічного ланцюжка, тим ефективніше весь ланцюг в сукупності. Найбільше значення мають характеристики енергоефективності в паливно-енергетичному комплексі, зокрема, в електромережевого комплексі. Адже в кінцевому рахунку, втрачена електроенергія - це втрачена продукція, ненадані послуги і так далі. Тому одна з ланок електромережевого комплексу, трансформаторна підстанція разом з встановленими силовими трансформаторами, повинно стати предметом пильного аналізу при виробленні та впровадженні стратегії підвищення енергоефективності при транспортуванні і розподілі електричної енергії.

Метою цього розділу є обґрунтування базового принципу підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій за рахунок впровадження в експлуатацію в електромережевого комплексі енергозберігаючих (енергоефективних) силових трансформаторів, а також визначення нормативної бази, всіх основних етапів, заходів та інструментів.

Енергоефективність є одним з фундаментальних принципів системи глобальної енергетичної безпеки, а потенціал в енергозбереженні складає 40–50% поточного енергоспоживання. Однак розробка стратегій енергозбереження, стратегій впровадження енергоефективних технологій, енергоефективного обладнання повинна ґрунтуватися на відповідному теоретичному базисі. Одним з елементів такого базису є теорія енергоефективності силових трансформаторів [8].

### 3.1 Обґрунтування базового принципу підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій

Розгляд будь-якого аспекту енергоефективності необхідно почати з визначення термінів. «Енергетична ефективність - характеристика, що відображає відношення корисного ефекту від використання енергетичних ресурсів до витрат енергетичних ресурсів, виробленим з метою отримання такого ефекту, стосовно продукції, технологічним процесом, юридичній особі, індивідуальному підприємцю». Наведене вище визначення - це, по суті, визначення коефіцієнта корисної дії (ККД). Але стосовно до трансформаторів значення ККД безпосередньо не використовується. У практиці проектування трансформаторів еквівалентом ККД прийнята сукупність втрат холостого ходу (хх) і короткого замикання (кз). Трансформатори електричні силові нормовані саме зазначеними вище показниками. Таким чином енергоефективність трансформаторної підстанції будемо визначати втратами холостого ходу і короткого замикання.

Серед останніх робіт фахівців, що стосуються енергоефективних трансформаторів, слід зазначити статтю «Нормування енергоефективності розподільних трансформаторів» [8], присвячену нормуванню їх енергоефективності. Хоча дана стаття закінчується аналізом переваг силових трансформаторів з магнітопроводом з аморфної сталі, по суті, в основній частині обґрунтовують базовий принцип підвищення енергоефективності при трансформації електроенергії. Відповідно до висновків роботи [8], максимум коефіцієнта енергоефективності досягається при цілком певному навантаженні трансформатора заданої потужності. А так як оптимальні втрати холостого ходу і короткого замикання однозначно пов'язані через максимум коефіцієнта енергоефективності, то підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій - це не просто зменшення втрат холостого ходу і короткого замикання трансформаторів, а забезпечення певних сполучень

мінімальних втрат холостого ходу і короткого замикання при заданому навантаженні.

В цьому і полягає базовий принцип підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій, які здійснюють трансформацію електроенергії: для забезпечення максимальної енергоефективності трансформаторної підстанції при заданому коефіцієнті навантаження повинно бути забезпечено цілком певне співвідношення втрат холостого ходу і короткого замикання в встановленому трансформаторі.

При вирішенні завдань підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій можна виділити пряму і зворотню задачі.

- Пряма задача полягає в розрахунку оптимального завантаження трансформатора при відомих втратах холостого ходу і короткого замикання. Таке завдання завжди вирішується оперативним персоналом електромереж при розподілі навантаження між трансформаторними підстанціями електромережі. Можна отримати значення коефіцієнта завантаження пошуком екстремуму вираження залежності для вартості трансформації електроенергії (як правило, за рік), як це зроблено в роботі Федосенка Р.Я. «Трансформатор в місцевій розподільній мережі» [9]. Отриманий в цьому випадку коефіцієнт завантаження є оптимальним з точки зору вартості трансформації електроенергії, -економічно оптимальний коефіцієнт завантаження, обумовлений як вартістю трансформатора і його обслуговування, так і його конструкцією. Якщо обчислювати оптимальний коефіцієнт завантаження пошуком екстремуму вираження для коефіцієнта енергоефективності [8], то ми отримаємо технічно (конструкційно) оптимальний коефіцієнт завантаження, який характеризує умови передачі через трансформатор максимуму електроенергії, обумовлений тільки конструкцією трансформатора.

- Зворотнім завданням раціональної експлуатації трансформаторної підстанції є завдання розрахунку втрат холостого ходу і короткого замикання, що забезпечують енергоефективність трансформації електроенергії при

заданому навантаженні. Зворотній завдання підвищення енергоефективності трансформатора повинна вирішуватися, коли при проектуванні електропостачання об'єкту завантаження трансформаторів або заздалегідь відома, або буде змінюватися з часом. Така ситуація, зокрема, характерна для проведення заміни виробили ресурс трансформаторів. Або, навпаки, при організації електропостачання будується житлового мікрорайону. Необхідність вирішення саме оберненої задачі обґрунтована в роботах [10,11]. У монографії Федосенка Р.Я. «Трансформатор в місцевій розподільній мережі» [9] визначені межі економічно ефективного завантаження трансформатора заданої потужності, що має задані втрати холостого ходу і короткого замикання. Питомі витрати на трансформацію електроенергії для трансформаторів різних потужностей наведені на рисунку 3.1 при зміні завантаження трансформатора. Числові дані відповідають ціновим даними 1963 року, але якісний характер кривих відповідає об'єктивній реальності. Точки перетину кривих відповідають необхідності заміни трансформатора на більшу потужність. По осі абсцис відкладена завантаження трансформатора в кВА, по осі ординат - питома вартість трансформації в руб./кВА·год.

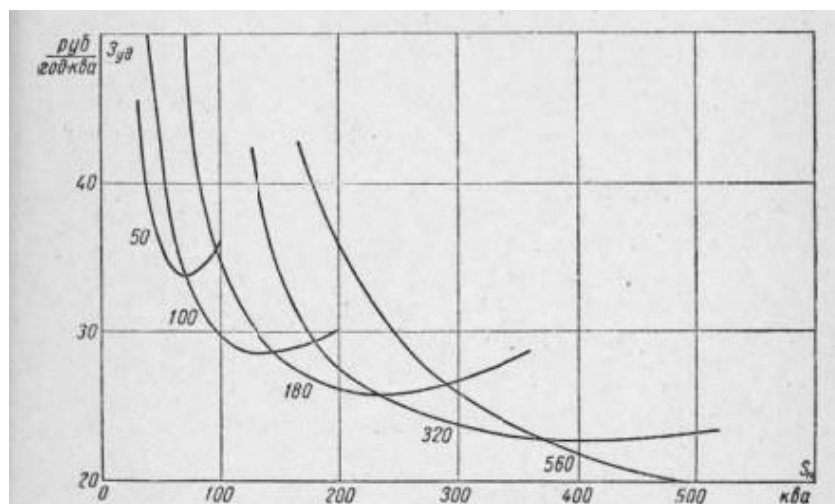


Рисунок 3.1 - Питомі витрати на трансформацію електроенергії

Виділено три групи споживачів в залежності від часу максимальних втрат (1-а - 920 годин на рік; 2-а - 2405 годин на рік; 3-я - 5248 годин на рік) або в залежності від часу максимального навантаження (1-а - від 1000 до 3000 годин на рік; 2-а - від 3000 до 5000 годин на рік; 3-я - від 5000 до 8000 годин

на рік). Для трансформатора потужністю 400 кВА для кожної з цих груп отримані однакові значення втрат холостого ходу 439,5 Вт, але різні значення втрат короткого замикання - 3430 Вт; 3061 Вт; 2605 Вт. І зроблено загальний висновок про доцільність випуску трансформатора однієї і тієї ж номінальної потужності в декількох (не більше трьох) модифікаціях [10].

На основі аналізу коефіцієнта енергоефективності трансформатора потужністю 100 кВА (рисунок 3.2) розраховали втрати холостого ходу і короткого замикання трансформатора при завантаженнях 20% і 50% (це оптимальні завантаження, що забезпечують максимум коефіцієнта енергоефективності). Поєднання втрат холостого ходу і короткого замикання, що забезпечують максимум коефіцієнта енергоефективності становлять: при завантаженні 20%  $P_{xx} = 100$  Вт,  $P_{кз} = 2500$  Вт; при завантаженні 50%  $P_{xx} = 250$  Вт,  $P_{кз} = 1000$  Вт. Для порівняння: стандартні значення втрат холостого ходу і короткого замикання одного з російських заводів для трансформаторів ТМГ потужністю 100 кВА становлять 270 Вт і 1970 Вт. Вимоги галузевого стандарту для рівня енергетичної ефективності Х1К1 (стандартний) вимагають втрати холостого ходу і короткого замикання 260 Вт і 1970 Вт.

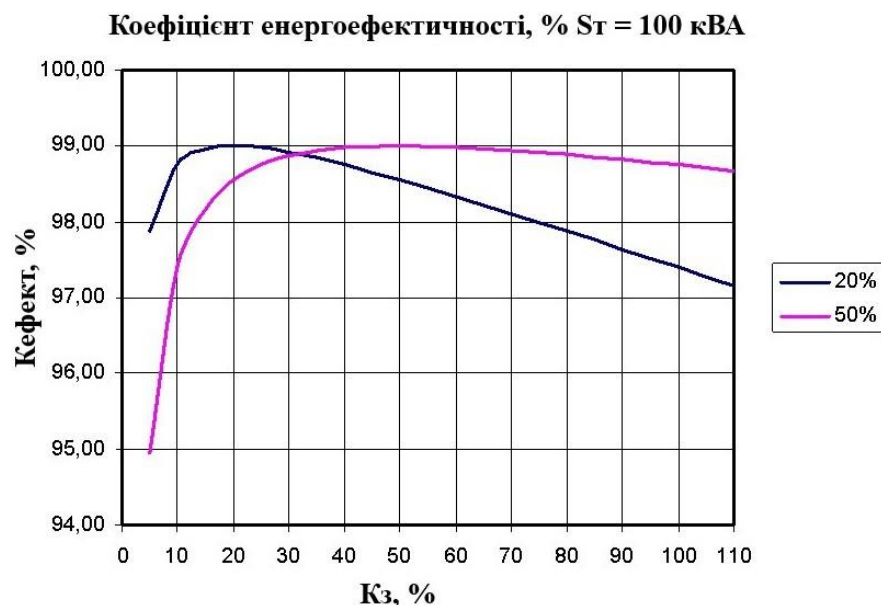


Рисунок 3.2 - Залежність коефіцієнта енергоефективності трансформатора потужністю 100 кВА від завантаження

Коефіцієнт енергоефективності розраховується на основі показників втрат холостого ходу і короткого замикання, заданих для силових трансформаторів не повинен бути нижче нормативного і наведені в таблиці 3.1. Графічно ця залежність представлена на рисунку 3.3.

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнтів енергоефективності силових трансформаторів

Потужність, кВА	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
Коефіцієнт енергоефективності	0,986871	0,998266	0,9895	0,991354	0,992623	0,993203	0,99328	0,993677

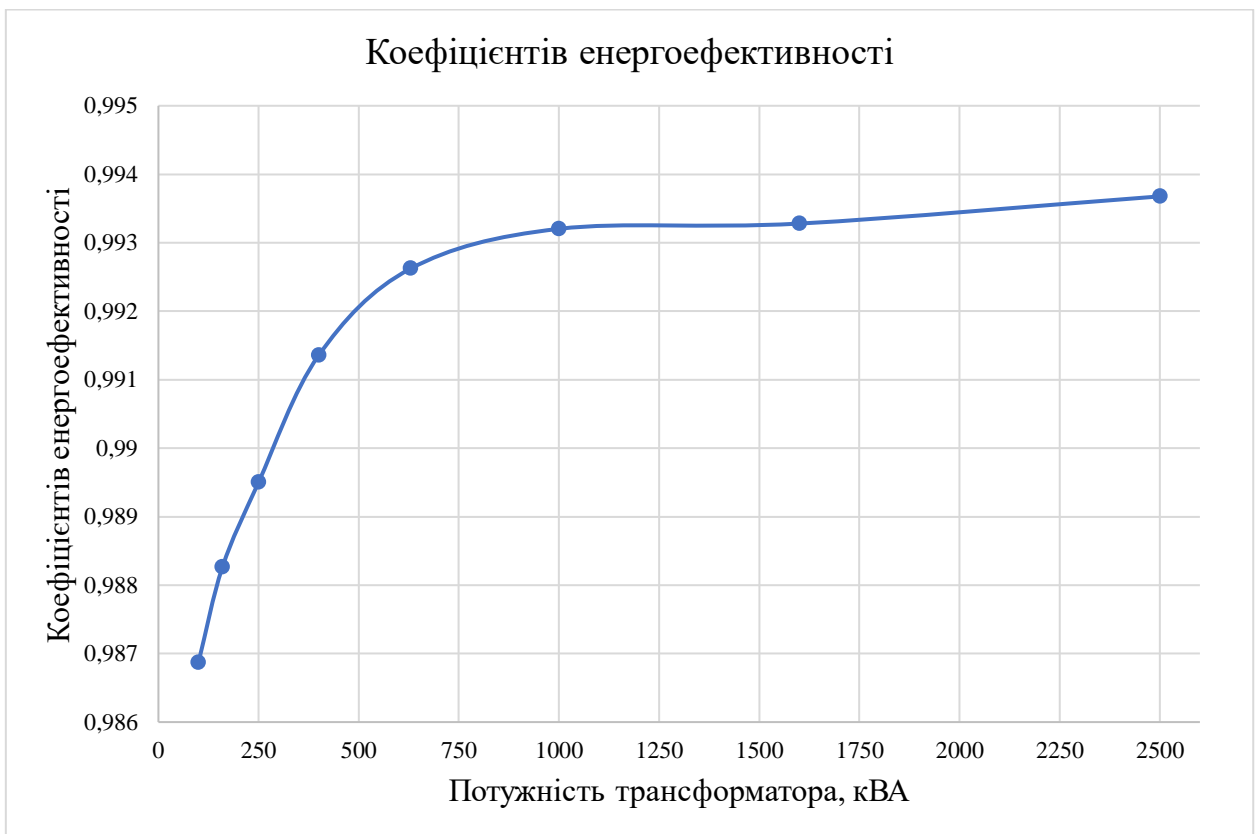


Рисунок 3.3 - Зміна коефіцієнта енергоефективності силового трансформатора в залежності від його потужності



### 3.2 Основні положення теорії енергоефективності силових трансформаторів

При формулюванні теорії енергоефективності силових трансформаторів використані аксіоматичний і гіпотетико-дедуктивний підходи. Об'єктом дослідження теорії прикладної енергоефективності є сукупність енергоефективних трансформаторів, що виготовляються відповідно до вимог європейських стандартів енергоефективності, а також російських стандартів ГОСТ Р 52719-2007, ГОСТ Р 54728-2011, ГОСТ 16772-77, СТО 34.01-3.2-011-2017. Предметом дослідження є закономірності, що дозволяють розрахувати параметри силових трансформаторів і умови їх експлуатації, які забезпечують мінімальну вартість трансформації електроенергії. Застосовувані в сформульованій теорії енергоефективності силових трансформаторів математичні методи дослідження засновані на наступних конструктах:

- 1) третя наукова картина світу (технократичний підхід);
- 2) поняття техноценозу;
- 3) негаусова математична статистика стійких безмежно подільних гіперболічних розподілів;
- 4) другий початок термодинаміки у формі закону оптимального побудови техноценозу.

В основу теорії енергоефективності силових трансформаторів покладено такі аксіоми:

- Всі функціонуючі в рамках адміністративного регіону, регіональної мережевої компанії, країни в цілому на конкретний момент часу силові трансформатори (які є джерелами електроенергії кожен для своєї відокремленої групи споживачів), розглядаються як умовно виділена сукупність об'єктів дослідження, пов'язаних між собою слабкими зв'язками; структура цієї сукупності (залежність кількості трансформаторів від рангу),

упорядкованої по визначає видовому параметру (потужність трансформатора), описується спеціальним математичним конструктом - гіперболічним розподілом.

- Кожен з функціонуючих в конкретний момент часу силових трансформаторів, є джерелом електроенергії для своїм відособленим групи споживачів, розглядається в той же час як об'єкт дослідження, пов'язаний сильними зв'язками (електромагнітними) зі своїми споживачами електричної енергії та іншими елементами конкретної електророзподільної мережі.

- Існує взаємно-однозначна відповідність максимальної енергоефективності техноценозу «Силові трансформатори» з його номенклатурної та параметричної оптимальністю і оптимальністю параметрів енергоефективності силових трансформаторів, що входять у розглянутий техноценоз.

- Таким чином, теорія енергоефективності силових трансформаторів базується на ціно логічній парадигмі, в рамках якої сукупність об'єктів дослідження, що входять в єдину національну електричну мережу або відокремлену електромережу, призначена для єдиної мети - розподіл електричної енергії. Таким чином, сукупність всіх встановлених і функціонуючих силових трансформаторів в рамках конвенціонально виділених кордонів утворює техноценоз «Силові трансформатори». Техноценоз досліджуються на базі двох законів, відкритих професором, д.т.н. Борисом Івановичем Кудріним: 1) закон інваріантності структури техноценозу; 2) закон інформаційного відбору [14]. Для розрахунку оптимальних структурних параметрів цього техноценозу використовується закон оптимального побудови техноценозу професора д.т.н. В.І. Гнатюка [15].

Ця аксіома вимагає використовувати закони електротехніки для розрахунку основних параметрів окремих енергоефективних трансформаторів (оптимальний коефіцієнт завантаження, потужність втрат холостого ходу і короткого замикання).

Дана аксіома дозволяє сформулювати методологію розрахунку оптимальних структурних, економічних та електротехнічних параметрів, що характеризують енергоефективність сукупностей об'єктів дослідження на федеральному, регіональному і місцевому рівнях.

### 3.3 Основний закон енергоефективності силових трансформаторів

Він формулюється в наступному вигляді: «Максимальною енергоефективністю володіє такий техноценоз «силові трансформатори» будь-якого рівня (федерального, регіонального, місцевого), який є оптимальним номенклатурно і параметрично, з одного боку, і з іншого боку, кожен елемент кожного виду (групи трансформаторів певної потужності) якого мають максимальний коефіцієнт енергетичної ефективності з точки зору трансформації електроенергії».

Закон зрозумілий інтуїтивно і логічно впливає з наведених вище трьох основних аксіом. Він дозволив сформулювати методології застосування і прогнозування, а також ряд практично значущих методик розрахунку параметрів енергоефективності сукупностей енергоефективних трансформаторів і окремих силових трансформаторів. Зокрема, автором створені або знаходяться в стадії розробки:

- Методологія прогнозування динаміки зміни обсягу техноценозу при збільшенні електроспоживання (простіше кажучи, прогнозування попиту на енергоефективні силові трансформатори).

- Оцінка потенціалу енергозбереження електроенергії за рахунок заміни звичайних трансформаторів на енергоефективні трансформатори.

- Методологія оптимізації енергетичної ефективності техноценозу «Силові трансформатори».

- Методологія впровадження енергоефективних силових трансформаторів.

- Методологія вибору постачальника енергоефективних силових трансформаторів.

### 3.4 Практичне застосування теорії енергоефективності силових трансформаторів

Методологія прогнозування динаміки зміни обсягу техноценозу «Силові трансформатори» при збільшенні електроспоживання

Авторська математична модель опису структури техноценозу «Силові трансформатори» на основі ціно логічній парадигми, яка використовується при прогнозуванні динаміки зміни обсягу техноценозу [16], описана нижче.

Конвенціонально можна розглядати сукупності всіх встановлених і функціонуючих трансформаторів в рамках адміністративного регіону, в рамках регіональної мережевої компанії, в рамках країни. Основним видоутворюючий параметром, що описує техноценозу «Силові трансформатори» є потужність трансформатора. Конструктивні особливості трансформаторів не розглядаються.

Формалізований опис техноценозу «Силові трансформатори» складається таким чином:

1. формуються «види» - групи трансформаторів однакової потужності;
2. цим видам присвоюється порядковий номер - ранг; найменший, перший ранг має група трансформаторів найбільшої чисельності, найбільший ранг - група трансформаторів найменшою чисельності.

Основною математичною залежністю опису структури розглянутого техноценозу є форма ранго-видового розподілу, певна засновником теорії техноценозу професором, д.т.н. Кудріним Борисом Івановичем [14].

Відповідно до методології прогнозування ринкового попиту на електрообладнання мереж електропостачання на базі ціно логічної парадигми [16] структура техноценозу «Силові трансформатори» визначається наступною формулою :

$$N_i = \frac{N_1}{r_i^\beta}, \quad (3.1)$$

де  $\beta$  - характеристичний показник ранговидового розподілу.

$r_i$  - ранг (порядковий номер) кожного «виду» (кожної потужності) трансформаторів.

$N_i$  - кількість трансформаторів рангу (порядкового номера)  $i$ .

Параметр називається константою розподілу і визначає кількість трансформаторів меншої потужності і найбільшою чисельністю; це «вид», якому присвоюється перший порядковий номер (перший ранг).

В результаті статистичної обробки сукупності трансформаторів, встановлених у (Міжрегіональній розподільній мережевій компанії) «МРМК Цента», «МРМК Центру та Приволж'я», характеристичний показник техноценозу «Силові трансформатори»  $\beta$  був знайдений рівним  $\beta = 1,44$  [16]. Це число має фундаментальне значення для електророзподільних мереж і відображає їх сформовану структуру, як окремого самостійного економічного регіону, так і країни в цілому. Але при цьому питання про оптимальність структури даного техноценозу залишається відкритим.

Стійкість, тобто по суті, надійність і працездатність мереж міжрегіональної розподільної мережевої компанії, знаходиться в повній згоді з висновками фундаментальної роботи В. І. Гнатюка [15]. Як зазначено в цій роботі, найкращим є діапазон структур техноценозу, описуваний ранго-

видовими розподілами з  $0,5 < \beta < 1,5$ . Отримане значення  $\beta = 1,44$  задовольняє даній умові.

Формула (3.1) застосована для створення методології прогнозування динаміки зміни обсягу техноценозу. В основу методології покладено такі гіпотези:

- Зростання електроспоживання взаємно-однозначно пов'язаний зі збільшенням обсягу встановленої трансформаторної потужності, тому що електроенергія може надійти до споживача тільки після перетворення в силовому трансформаторі;

- Кількість знову встановлюваних трансформаторів кожного виду (кожної потужності) підпорядковується залежності (3.1);

- Кількість знову встановлюваних трансформаторів рангу 1 (меншої потужності, найбільшої кількості) визначається з очевидного рівняння ( $W$  - сумарне збільшення встановленої трансформаторної потужності,  $N_i$  - кількість трансформаторів потужності  $W_i$  рангу  $i$ ):

$$W = \sum(N_i \cdot W_i) , \quad (3.2)$$

В якому величину  $N_i$  можна замінити за формулою (3.1). Тоді ми отримуємо наступну формулу для обчислення величини  $N_1$ :

$$N_1 = \frac{W}{\sum \left( \frac{W_i}{r_i^\beta} \right)} . \quad (3.3)$$

### 3.5 Потенціал енергозбереження за рахунок заміни звичайних силових трансформаторів I - III габариту на енергоефективні

Потенціал енергозбереження електроенергії, якщо мати на увазі заміну всіх звичайних силових трансформаторів на аналогічній потужності енергоефективні трансформатори, оцінений в роботах [17,18]. Клас енергоефективності трансформаторів ділиться а такі класи: 1 клас енергоефективності - «стандартний»; - 2 клас енергоефективності - «енергоефективний» (вдосконалена технологія); - 3 клас енергоефективності - «високий енергоефективний» (передова технологія); - 4 клас енергоефективності - «інноваційний» (інноваційна технологія). Зазначеним вище встановлюються 4 категорії рівня максимальних втрат у силовому трансформаторі 6-10 кВ (холостого ходу (далі хх) - з індексом «Х», і короткого замикання (далі кз) - з індексом «К»): 1, 2, 3 і 4.

Для розрахунку електротехнічного ефекту (зекономленої потужності) спочатку потрібно виконати оцінку загальної кількості всіх встановлених силових трансформаторів I - III габариту (потужністю від 25 кВА до 6300 кВА). Розрахунок виконувався на основі моделі, що описується формулами 1 - 3. Електротехнічний ефекти оцінювався в припущенні, що заміна всіх звичайних трансформаторів проведена на трансформатори класу енергоефективності Х2К2 відповідно до галузевого стандарту СТО 34.01-3.2-011-2017. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунків потенціалу енергозбереження по трансформаторам потужністю 25кВА – 6300 кВА при холостому ході

Потужність, кВА	$P_{xx}$ , Вт звичайний	Сумарні втрати, МВт	$P_{xx}$ , Вт енергоефективний	Сумарні втрати, МВт
1	2	3	4	5
25	115	1203	115	1203
40	155	597	155	597
63	220	473	160	344

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
100	270	383	217	308
160	410	422	300	309
250	530	420	425	336
400	870	552	565	358
630	1240	649	696	364
1000	1600	707	957	423
1600	2100	797	1478	561
2500	2750	910	2130	705
4000	4000	1168	3600	1051
6300	5400	1405	4900	1275
Всього		9686		7834

Таблиця 3.3 - Результати розрахунків потенціалу енергозбереження по трансформаторам потужністю 25кВА – 6300 кВА при короткому замиканні

Потужність, кВА	$P_{кз}$ , Вт звичайний	Сумарні втрати, МВт	$P_{кз}$ , Вт енергоефективний	Сумарні втрати, МВт
25	600	6277	600	6277
40	880	3393	880	3393
63	1280	2752	1270	2731
100	1970	2799	1591	2261
160	2650	2731	2136	2201
250	3700	2932	2955	2342
400	5600	3555	4182	2655
630	7600	3981	6136	3214
1000	10800	4774	9545	4219
1600	16500	6267	15455	5870
2500	27000	8941	23182	7676
4000	34400	10050	31000	9056
6300	46500	12106	42000	10934
Всього		70558		62829

При заміні всіх встановлених трансформаторів на енергозберігаючі класу енергоефективності Х2К2 щорічна економія за рахунок скорочення втрат в трансформаторах може дорівнювати ~ 9 581 МВт.



### 3.6 Методологія оптимізації енергетичної ефективності техноценозу «Силові трансформатори»

Одним з головних результатів застосування теорії енергоефективності силових трансформаторів є оптимізація енергетичної ефективності трансформаторного комплексу і його окремих частин. Це завдання вирішується за допомогою основного закону теорії енергоефективності силових трансформаторів, сформульованого вище. Відповідно до цього закону оптимізація повинна виконуватися в два етапи.

I етап: з електротехнічних закономірностей визначаються оптимальні параметри енергоефективності силових трансформаторів, складових оптимальну структуру техноценозу.

Детально оптимальні параметри енергоефективності силових трансформаторів розглянуті в роботі [18]. Тут визначені пряма і зворотна задачі підвищення енергоефективності силових трансформаторів. Під прямим завданням підвищення енергоефективності розуміється розрахунок оптимального завантаження трансформатора при відомих втратах холостого ходу і короткого замикання. Зворотне завдання полягає в розрахунку втрат холостого ходу і короткого замикання, що забезпечують енергоефективність трансформації електроенергії при заданому навантаженні. Отримані на першому етапі оптимізації енергоефективності техноценозу параметри силових трансформаторів є основою для номенклатурної та параметричної оптимізації техноценозу, так як визначають головний ресурс, що витрачаються на функціонування техноценозу «Силові трансформатори» - затрати на його експлуатації, тобто витрати на трансформацію електроенергії.

II етап: оптимізується структура техноценозу. Виконується номенклатурна і параметричну оптимізація. За її результатами ми будемо мати оптимальну кількість силових трансформаторів заданих потужностей (потужність - основний видоутворюючий параметр).

Основні етапи загального алгоритму оптимізації техноценозу наведені на рисунку 3.4.

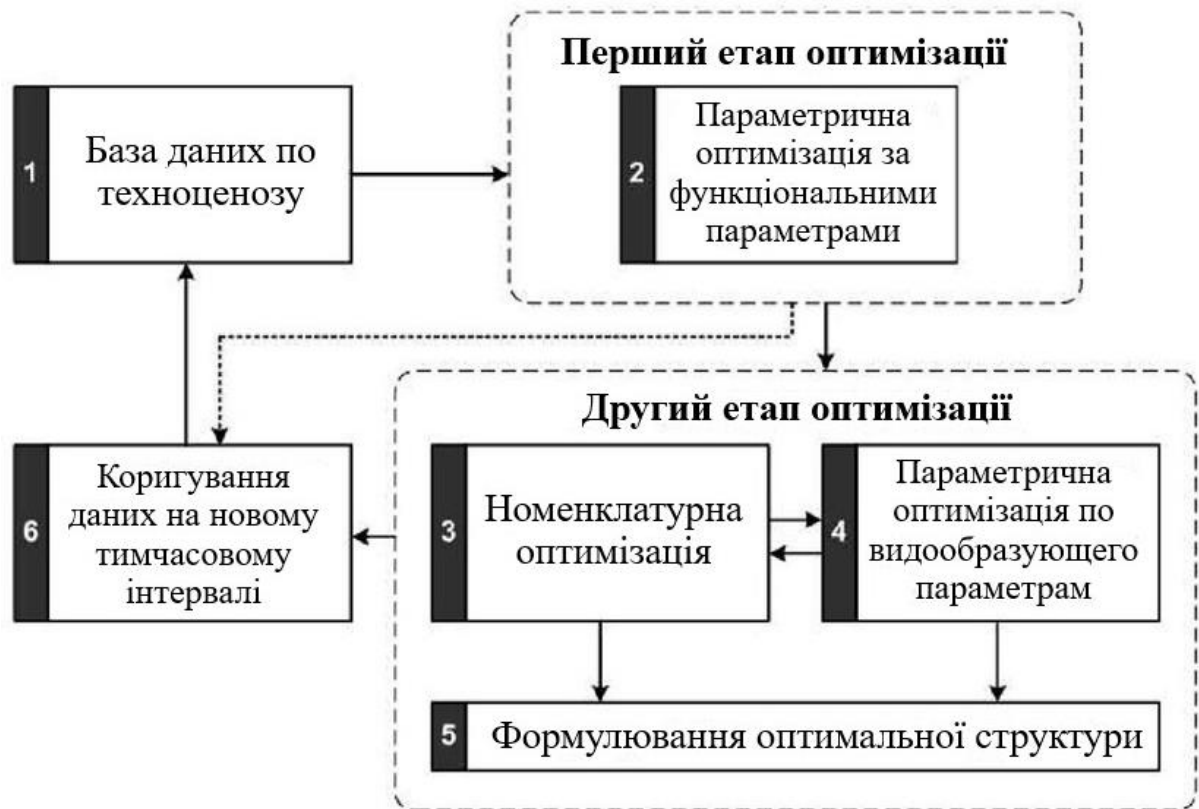


Рисунок 3.4 - Основні етапи загального алгоритму оптимізації техноценозу

Даний алгоритм є загальним для всіх типів техноценозу і на його основі в даний час розробляються методики оптимізації енергоефективного техноценозу «Силові трансформатори».

3.7 Методологія впровадження енергоефективних силових трансформаторів.

Як вказувалося на початку цього розділу, впровадження енергоефективного обладнання якраз і вимагало розробки теоретичних основ.

Основи методології впровадження енергоефективних силових трансформаторів розглядалися у роботі [18].

У розгорнутому вигляді цю методологію можна уявити як сукупність наступних послідовних дій:

- обстеження всього встановленого парку силових трансформаторів в аспекті оцінки оптимальності цієї сукупності обладнання як техноценоз;
- оцінка залишкового ресурсу всіх функціонуючих трансформаторів;
- розрахунок параметрів енергоефективності всіх трансформаторів і оптимізація техноценозу «Силові трансформатори» в масштабах обраного територіального утворення;
- паралельна розробка законодавчої та нормативної бази для глобального впровадження змін техноценозу «Силові трансформатори» (функціональних, номенклатурних, параметричних);
- паралельна розробка законодавчої та нормативної бази для організації виробництва енергоефективних трансформаторів;
- паралельна підготовка фахівців усіх рівнів для експлуатації обладнання енергоефективного техноценозу «Силові трансформатори».

### 3.8 Практика впровадження енергоефективних трансформаторів за кордоном

У країнах ЄС діє три рівня стандартів:

- міжнародні стандарти (ISO, IEC);
- європейські стандарти і норми (EN, HD);
- національні стандарти (BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL).

Сьогодні енергоефективність європейських силових масляних трансформаторів визначає стандарт EN 50464-1, розроблений CENELEC і введений в дію в 2007 р (він є розвитком стандарту HD 428, прийнятого ще в

1990 р.). У цьому стандарті встановлюється п'ять рівнів втрат холостого ходу і чотири рівні втрат короткого замикання (таблиця 3.4). При цьому стандарт EN 50464-1 не встановлює обмежень за поєднанням рівнів втрат холостого ходу і короткого замикання.

Таблиця 3.4 – Втрати холостого ходу і короткого замикання відповідно до EN 50464 -1

Потужність, кВА	Втрати хх, Вт					Втрати к.з., Вт			
	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>k</sub>	B <sub>k</sub>	C <sub>k</sub>	D <sub>k</sub>
100	145	180	210	260	320	1250	1475	1750	2150
160	210	260	300	375	460	1700	2000	2350	3100
250	300	360	425	530	650	2350	2750	3250	4200
400	430	520	610	750	930	3250	3850	4600	6000
630	560	680	800	940	1200	4800	5600	6750	8700
1000	770	940	1100	1400	1700	7600	9000	10500	13000
1250	950	1150	1350	1750	2100	9500	11000	13500	16000
1600	1200	1450	1700	2200	2600	12000	14000	17000	20000
2500	1750	2150	2500	3200	3500	18500	22000	26500	32000

У 2014 році 21 травня Постанова Ради Європи № 548/2014 встановило нові вимоги до максимальних рівнів втрат холостого ходу і короткого замикання розподільних трансформаторів. У таблиці 3.5 наведені вимоги для масляних трансформаторів потужністю від 1 до 3150 кВА, напругою до 36 кВ. Дані вимоги вводяться в 2 етапи: з 1 липня 2015 року і з 1 липня 2021 року.

Таблиця 3.5 - Максимальні значення втрат холостого ходу і короткого замикання відповідно до постанови Ради Європи № 548/2014 від 21 травня 2014 року

Потужність, кВА	Вводяться з 1 липня 2015 р		Вводяться з 1 липня 2021 р	
	Втрати хх, Вт	Втрати к.з., Вт	Втрати хх, Вт	Втрати к.з., Вт
1	2	3	4	5
≤25	A <sub>0</sub> (70)	C <sub>k</sub> (900)	A <sub>0</sub> -10% (63)	A <sub>k</sub> (600)
50	A <sub>0</sub> (90)	C <sub>k</sub> (1100)	A <sub>0</sub> -10% (81)	A <sub>k</sub> (750)
100	A <sub>0</sub> (145)	C <sub>k</sub> (1750)	A <sub>0</sub> -10% (130)	A <sub>k</sub> (1250)
160	A <sub>0</sub> (210)	C <sub>k</sub> (2350)	A <sub>0</sub> -10% (189)	A <sub>k</sub> (1750)

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5
250	A <sub>0</sub> (300)	C <sub>k</sub> (3250)	A <sub>0</sub> -10% (270)	A <sub>k</sub> (2350)
315	A <sub>0</sub> (360)	C <sub>k</sub> (3900)	A <sub>0</sub> -10% (324)	A <sub>k</sub> (2800)
400	A <sub>0</sub> (430)	C <sub>k</sub> (4600)	A <sub>0</sub> -10% (387)	A <sub>k</sub> (3250)
500	A <sub>0</sub> (510)	C <sub>k</sub> (5500)	A <sub>0</sub> -10% (459)	A <sub>k</sub> (3900)
630	A <sub>0</sub> (600)	C <sub>k</sub> (6500)	A <sub>0</sub> -10% (540)	A <sub>k</sub> (4600)
800	A <sub>0</sub> (650)	C <sub>k</sub> (8400)	A <sub>0</sub> -10% (585)	A <sub>k</sub> (6000)
1000	A <sub>0</sub> (770)	C <sub>k</sub> (10500)	A <sub>0</sub> -10% (693)	A <sub>k</sub> (7600)
1250	A <sub>0</sub> (950)	B <sub>k</sub> (11000)	A <sub>0</sub> -10% (855)	A <sub>k</sub> (9500)
1600	A <sub>0</sub> (1200)	B <sub>k</sub> (14000)	A <sub>0</sub> -10% (1080)	A <sub>k</sub> (12000)
2000	A <sub>0</sub> (1450)	B <sub>k</sub> (18000)	A <sub>0</sub> -10% (1305)	A <sub>k</sub> (15000)
2500	A <sub>0</sub> (1750)	B <sub>k</sub> (22000)	A <sub>0</sub> -10% (1575)	A <sub>k</sub> (18500)
3150	A <sub>0</sub> (2200)	B <sub>k</sub> (27500)	A <sub>0</sub> -10% (1980)	A <sub>k</sub> (23000)

Існують наступні інструменти впровадження енергоефективного обладнання, що застосовуються у світовій практиці:

- Примусові заходи - законодавчо закріплені норми і ініціативи, які впроваджуються «згори». Ці рішення найбільш популярні в країнах Європи, де законослухняне населення і виробники підтримують обов'язкові державні програми;

- Стимулюючі заходи - мають на увазі вплив на виробника. У країнах, які активно використовують цей метод, в хід йдуть інструменти фінансового стимулювання, а також PR-інструменти. Прорахувати економічну ефективність подібних рішень складніше, ніж у випадку з державною програмою, проте середній рівень енергозбереження в рамках зазначених країн досить високий;

- Просвітницькі методи - мають на увазі вплив на безпосереднього споживача, формування нової споживчої культури, заснованої на дбайливому природокористуванні і свідомому виборі енергозберігаючих технологій. У свою чергу, споживчий попит визначає пропозицію - виробники впроваджують «зелені» рішення, щоб відповідати побажанням покупців.

#### 4 АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 35/6 кВ

Сьогодні проводиться велика робота з перспективного розвитку енергетики, по надійному і економічному енергопостачанню споживачів, впроваджується ряд заходів для поліпшення якості обслуговування споживачів:

- проводиться реконструкція ліній електропередач;
- організація безпечного оперативного обслуговування;
- модернізація застарілого електрообладнання;
- реконструкція та капітальний ремонт;
- впровадження передових технологій діагностики, автоматизації та зв'язку;
- забезпечення надійності роботи релейних захистів і автоматики на енергетичних об'єктах;
- проведення аварійних і пожежних тренувань;
- проведення контролю з охорони праці;
- виконання приписів органів державного енергетичного нагляду;
- здійснення заходів з енергозбереження;
- підвищується кваліфікації персоналу;
- впровадження передових методів праці та економічних знань.

На посаду начальника служби мереж призначаються особи, які мають вищу професійну освіту. Начальник служби мереж повинен мати групу з електробезпеки не нижче V.

Склад і кількість працівників служби мереж визначається штатним розкладом, затвердженим керівником підприємства.

У своїй діяльності служба мереж керується:

- статутом підприємства;
- трудовим кодексом;
- діючим законодавством;

- наказами, розпорядженнями, інструкціями по підприємству;
- правилами внутрішнього трудового розпорядку та іншими нормативними документами;
- правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- Правила улаштування електроустановок.

#### 4.1 Вибір числа і потужності силових трансформаторів

При виборі трансформаторів, визначальною умовою є навантажувальна здатність, а не економічний критерій, тобто по допустимому навантаженні вибирається потужність трансформаторів.

У проектуваннях на підстанціях передбачається установка двох трансформаторів.

Вибирається потужність трансформаторів по навантаженню п'ятого року експлуатації підстанції.

При виборі трансформаторів на підстанції слід враховувати:

- добовий графік навантаження;
- тривалість максимуму навантаження;
- недовантаження в літній період трансформаторів;
- температури повітря в зимовий період;
- в залежності від системи охолодження перевантажувальну здатність трансформатора.

Значення коефіцієнта  $\beta$  береться рівним 1,4 відповідно до ПУЕ, що відповідає перевантаженню трансформатора протягом не більше 5 діб на 40%, при продовженні часу максимуму навантаження не більше 6 годин на добу.

Добовий графік електричних навантажень для підстанції (ПС) наведено на рисунку 4.1 для активного навантаження і рисунок 4.2 - для реактивного навантаження.

Знаючи активну і реактивну потужності ступенів, розраховуємо повну потужність кожного ступеня:

$$S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \quad (4.1)$$

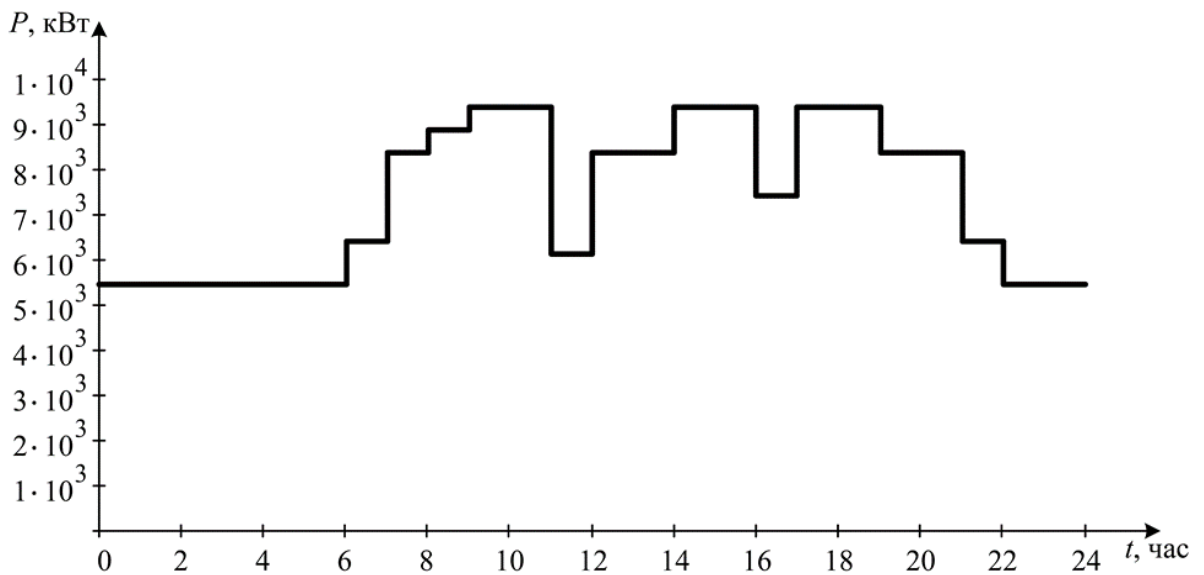


Рисунок 4.1 - Добовий графік для активного навантаження

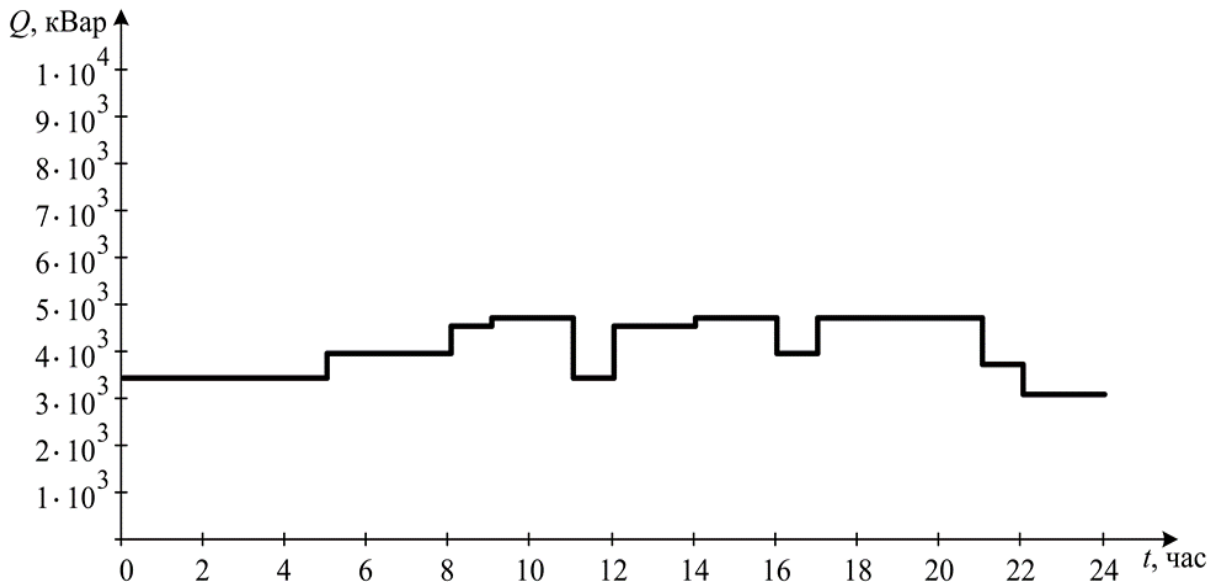


Рисунок 4.2 - Добовий графік для реактивного навантаження



Розраховуємо добове споживання електроенергії:

$$W_{\text{доб}} = \sum P_i + t_i, \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} W_{\text{доб}} &= 5,671 + 5,671 + 5,671 + 5,671 + 5,671 + 6,617 + 8,507 + \\ &+ 8,98 + 9,452 + 9,452 + 6,333 + 8,507 + 8,507 + 9,452 + 9,452 + 7,562 + \\ &+ 9,452 + 9,452 + 8,507 + 8,507 + 6,617 + 5,671 + 5,671 + 5,671 = \\ &= 180,724 \text{ МВт} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

$$V_{\text{доб}} = \sum Q_i + t_i, \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{доб}} &= 3,433 + 3,433 + 3,433 + 3,433 + 3,433 + 3,98 + 3,98 + 3,98 + \\ &+ 4,44 + 4,577 + 4,577 + 3,433 + 4,44 + 4,44 + 4,577 + 4,577 + 3,891 + \\ &+ 4,577 + 4,577 + 4,577 + 4,577 + 3,662 + 3,113 + 3,113 = 96,253 \text{ МВт} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

Розраховуємо середнє за добу навантаження підстанції:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{W^2 + V^2}}{24}, \quad (4.4)$$

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{180,724^2 + 96,253^2}}{24} = 8,53 \text{ МВА} \cdot$$

Максимальне навантаження підстанції:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2}, \quad (4.5)$$

$$S_{\text{max}} = \sqrt{9,452^2 + 4,577^2} = 10,501 \text{ МВА}.$$

Розраховуємо коефіцієнт використання:

$$k_{\text{н}} = \frac{S_{\text{ср}}}{S_{\text{max}}}, \quad (4.6)$$

$$k_H = \frac{8,53}{10,501} = 0,812 \text{ .}$$

Розраховуємо повну потужність з урахуванням коефіцієнта використання:

$$S = k_H \cdot S_{max} \text{ ,} \quad (4.7)$$

$$S = 0,812 \cdot 10,501 = 8,526 \text{ МВА .}$$

#### 4.2 Вибір потужності трансформатора

Так як категорія споживачів II-III, то число трансформаторів на районній підстанції приймаємо рівним двом. Залежно від напруги і потужності, які підключаються вибираємо трансформатори.

Вибір номінальної потужності трансформатора виробляємо з урахуванням його перевантажувальної здатності:

$$S_{ном.тр.} \geq S_{роз.тр.} \text{ ,} \quad (4.8)$$

де  $S_{ном.тр.}$  - номінальна потужність трансформатора;

$S_{роз.тр.}$  - розрахункова потужність трансформатора.

$$S_{роз.тр.} = \frac{S}{k_{П.ав}} \text{ .} \quad (4.9)$$

де  $k_{П.ав}$  – допустимий коефіцієнт,  $k_{П.ав} = 1,4$  (ГОСТ 1429-85). Таке перевантаження допустиме не більше 5 діб за умови, що тривалість максимуму навантаження не більше 6 годин на добу.

$$S_{\text{роз.тр.}} = \frac{8,526}{1,4} = 6,09 \text{ МВА} .$$

Виходячи з отриманої номінальної потужності приймаємо до установки два трансформатора по 10000 кВА.

Вибираємо трансформатор типу: ТМН 10000/35 трансформатор трифазний, охолодження: з природною циркуляцією повітря і масла, з перемикачами для регулювання напруги в режимі навантаження.

Номінальні дані трансформатора зводимо в таблицю 4.1 [22]:

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики трансформатора

Тип	$S_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, кВ		$u_{\text{к}}, \%$	$\Delta P_{\text{к}}$	$\Delta P_{\text{х}}$	$R_{\text{т}}$	$X_{\text{т}}$	$I_{\text{т}}$
	МВА	ВН	НН	ВН-НН	кВт	кВт	Ом	Ом	%
ТМН 10000/35	10	36,75	6,3	7,5	65	14,5	0,88	10,1	0,8

Перевіряємо коефіцієнт завантаження трансформаторів:

1. коефіцієнт завантаження автотрансформаторів в нормальному режимі роботи повинен задовольняти наступні умови:  $k_{\text{х}} = (0,5 \div 0,75)$ .

$$k_{\text{х}} = \frac{S_{\text{max}}}{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (4.10)$$

де  $S_{\text{тр}}$  - потужність обраного трансформатора, МВА;

$$k_{\text{х}} = \frac{10,501}{2 \cdot 10} = 0,525 .$$

2. коефіцієнт завантаження трансформаторів в аварійному режимі роботи повинен задовольняти наступні умови:  $k_3 = (1,4 \div 1,5)$ .

$$k_3 = \frac{S_{max}}{(n_T - 1) \cdot S_{Tr}}, \quad (4.11)$$

$$k_3 = \frac{10,501}{(2 - 1) \cdot 10} = 1,05 .$$

З перевірного розрахунку видно, що коефіцієнт завантаження в нормальному і аварійному режимах відповідає встановленим нормам.

Згідно з вихідними даними і керуючись головними ознаками, що визначають тип підстанції, згідно [23]. Схема для відкритого розподільного пристрою ВРП-35 4Н - два блоки з вимикачами і не автоматичної перемичкою з боку лінії (для тупикових підстанцій 35-220кВ) наведена на рисунку 4.3.

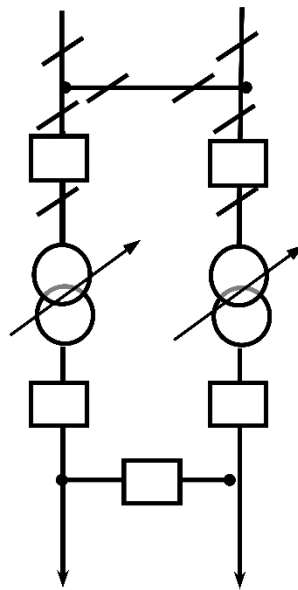


Рисунок 4.3 - Структурна схема підстанції

ВРП - 35 кВ 4Н призначений для експлуатації в наступних умовах:

- Мікрокліматичний район УХЛ по ГОСТ 15150-69;
- IV район по вітровому тиску по ПУЕ;
- IV район по товщині стінки ожеледі по ПУЕ;
- II тип атмосфери по ГОСТ 15150-69;
- 2 ступінь забруднення по ГОСТ 9920-89;
- висота до 1000 м над рівнем моря.

Вироби, які є складовими частинами ВРП-35 кВ, сейсмостійкі при впливі землетрусів інтенсивністю 9 балів за шкалою MSK-64 при рівні установки над нульовою позначкою до 10 метрів. ВРП-35 кВ відповідає ТУ-3412-007-94683212-2009.

Призначено для тупикових або відгалужувальних підстанцій з одно- або двостороннім живленням, підключена до дволанцюгової лінії, від якої живляться і інші підстанції. У нормальному режимі роз'єднувачі в неавтоматичній перемичці відключені, інші роз'єднувачі, а також вимикачі в схемі включені. Відмова лінії або вимикача призводить до відключення по одному трансформатору на всіх суміжних підстанціях, підключених до даної лінії. Розглянуті відмови не повинні призводити до обмеження електропостачання споживачів при достатній електричній навантажувальній здатності що залишилися в роботі трансформаторів, а також дії автоматичного введення резерву на стороні нижчої та середньої (при наявності) напруги трансформатора. Є кращою схемою з позицій надійності і економічності для тупикових або відгалужувальних двох трансформаторних підстанцій при використанні сучасних елегазових вимикачів. Електромагнітні блокування і операції з роз'єднувачами прості і однотипні. Мінімізовані відмови з вини персоналу.

#### 4.3 Визначення струмів нормального і обважненого режимів

Режимами роботи підстанції є:

- 1) нормальний режим, коли в ланцюзі підстанції силових трансформаторів характеризуються струмом  $I_{\text{ном}}$ .
- 2) важкий режим, коли один з силових трансформаторів відключений, а по ланцюгах іншого (інших) протікає робочий максимальний струм  $I_{\text{роб.мах}}$ .

Визначення струмів об'яженого і нормального режимів в ланцюгах НН (6-10 кВ) силових трансформаторів підстанції дає можливість попередньо визначити тип розподільних пристроїв (РП) на стороні НН.

$$I_{\text{ном.НН}} = \frac{S_{\text{НН}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (4.12)$$

$$I_{\text{ном.НН}} = \frac{10,501}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,48 \text{ кА} .$$

$$I_{\text{обв.НН}} = 2 \cdot I_{\text{ном.НН}}, \quad (4.13)$$

$$I_{\text{обв.НН}} = 2 \cdot 0,48 = 0,96 \text{ кА} .$$

$$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (4.14)$$

$$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{10,501}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 36,75} = 0,082 \text{ кА} .$$

$$I_{\text{обв.ВН}} = 2 \cdot I_{\text{ном.ВН}}, \quad (4.15)$$

$$I_{\text{обв.ВН}} = 2 \cdot 0,082 = 0,164 \text{ кА} .$$

Так як  $I_{\text{роб.мах}} = 840 \text{ А} \leq 3200 \text{ А}$  то розподільчий пристрій виконуємо, комплектним (КРУ) з установкою вимикачів типу елегазовий вимикач HD4 / GT з номінальним струмом відключення 31,5 кА.

#### 4.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Приймаємо базисні одиниці:

$$S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_{\sigma} = 6,3 \text{ кВ} - \text{ на ступенях схеми с } U_{\text{н}} = 6 \text{ кВ};$$

$$U_{\sigma} = 37 \text{ кВ} - \text{ на ступенях схеми с } U_{\text{н}} = 35 \text{ кВ};$$

$$I_{\sigma \text{ ВН}} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma \text{ ВН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,604 \text{ кА} ;$$

$$I_{\sigma \text{ НН}} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma \text{ НН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,643 \text{ кА} .$$

Примітка: При точному приведення елементів схеми заміщення (рисунок 4.4) для розрахунку базисних напруг (струмів) окремих ступенів трансформації використовують дійсні коефіцієнти трансформації. При наближеному приведення базисні напруги окремих ступенів трансформації не розраховуються, а приймаються на рівні середньо номінальних напруг. Так само в розрахунках приймається більш важкий режим коли: одна з ліній обірвана і один з трансформаторів виведений в ремонт.

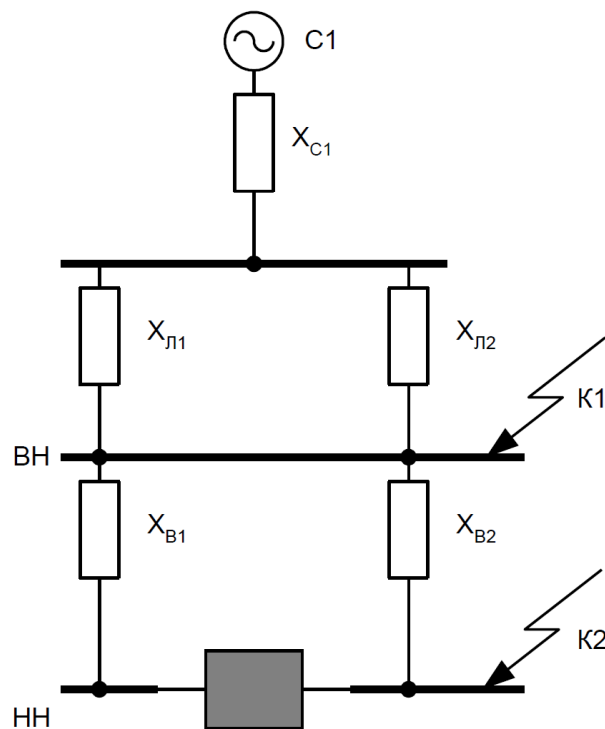


Рисунок 4.4 - Схема заміщення

#### 4.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення

Двохобмотувальний трансформатор:

$$x_T \% = u_{кВН} \% = 7,5 \% \rightarrow x_{*T} = \frac{S_T}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ}}, \quad (4.16)$$

$$x_{*T} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 7,5 \text{ у. о. .}$$

Енергосистема:

$$x_{с(НОМ)} = 0,5 \% \rightarrow x_{*с} = x_{*с(НОМ)} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ}}, \quad (4.17)$$

$$x_{*с} = 0,5 \cdot \frac{1000}{35} = 14,286 \text{ у. о. .}$$

Лінії електропередач:

$x_{уд} = 0,4$  у. о. - середній питомий індуктивний опір повітряних ліній електропередач 6 - 220 кВ;

$$x_{*ЛЕП} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{ср}^2}, \quad (4.18)$$

$$x_{*ЛЕП} = 0,4 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{35^2} = 1,633 \text{ у. о. .}$$

Еквівалентні опори струмів КЗ:

$$X_{ЕКВ}^{K1} = x_{*с} + x_{*ЛЕП}, \quad (4.19)$$

$$X_{ЕКВ}^{K1} = 14,286 + 1,633 = 15,919 \text{ у. о. .}$$

$$X_{ЕКВ}^{K2} = X_{ЕКВ}^{K1} + \frac{x_{*с}}{2}, \quad (4.20)$$

$$X_{ЕКВ}^{K2} = 15,919 + \frac{7,5}{2} = 19,669 \text{ у. о. .}$$



Струми КЗ:

$$I_{n0BH}^{K1} = \frac{E}{X_{екв}^{K1}} \cdot I_{6BH} , \quad (4.21)$$

$$I_{n0BH}^{K1} = \frac{1}{15,919} \cdot 15,604 = 0,98 \text{ кА} .$$

$$I_{n0HH}^{K2} = \frac{E}{X_{екв}^{K2}} \cdot I_{6HH} , \quad (4.22)$$

$$I_{n0HH}^{K2} = \frac{1}{19,669} \cdot 91,643 = 4,659 \text{ кА} .$$

Ударні струми:

$$i_{удBH} = I_{n0BH}^{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot k_y , \quad (4.23)$$

де  $k_y$  - ударний коефіцієнт залежить від постійної часу загасання аперіодичної складової струму короткого замикання, для системи пов'язаної з повітряними лініями напругою 35 кВ,  $k_y = 1,608$ .

$$i_{удBH} = 0,98 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,608 = 2,229 \text{ кА} .$$

$$i_{удHH} = I_{n0HH}^{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot k_y , \quad (4.24)$$

де  $k_y$  - ударний коефіцієнт залежить від постійної часу загасання аперіодичної складової струму короткого замикання, для розподільної мережі напругою 6-10 кВ,  $k_y = 1,369$ .

$$i_{удBH} = 4,659 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,369 = 9,02 \text{ кА} .$$

Результати розрахунків зведені у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Зведена таблиця струмів короткого замикання

Точка КЗ	$i_{n0}$ , кА	$i_y$ , кА
К1 (сторона НН)	0,98	2,229
К2 (сторона ВН)	4,659	9,02

#### 4.6 Вибір комутаційної апаратури

До вимикачів високої напруги ставляться такі вимоги:

1. надійне відключення будь-яких струмів;
2. найкоротший термін відключення, тобто швидкість дії;
3. швидке включення вимикача після відключення, тобто придатність для швидкодіючого автоматичного повторного включення;
4. можливість пофазного управління для вимикачів 35 кВ і вище;
5. легкість ревізії;
6. пожежо і вибухобезпечність;
7. зручність експлуатації і транспортування.

Відповідно до ГОСТ 687 - РВЕ вимикачі характеризуються такими параметрами:

1. Номінальний струм відключення  $I_{\text{від.ном.}}$  - найбільший струм КЗ. Номінальний струм відключення є періодичною складовою діючого значення в момент розбіжності контактів.

2. Зміст аперіодичної складової струму в струмі відключення  $\beta_n, \%$ .

3. Цикл операцій - послідовність виконується вимикачем комутаційних операцій з заданими між ними інтервалами.

4. Стійкість при наскрізних струмах, характеризується електродинамічною стійкістю  $I_{\text{дин}}$  і термічної стійкості  $I_{\text{тер}}$ ,  $i_{\text{дин}}$  - найбільший пік (амплітудне значення); вимикач ці струми витримує у ввімкненому положенні без пошкоджень.

Завод-виробник повинен витримувати співвідношення:

$$i_{\text{дин}} = 2,55 \cdot I_{\text{відкл.ном.}} \quad (4.25)$$

5. Номінальний струм включення - струм короткого замикання, який вимикач, без приварювання контактів і інших пошкоджень, здатний включити, при  $U_{ном}$  і заданому циклі.

6. Власний час відключення  $t_{с.в}$  - це час від моменту подачі команди на відключення до моменту припинення зіткнення дугогасильних контактів. Час відключення  $t_{відкл.в}$  - це час від подачі команди на відключення до моменту згасання дуги у всіх полюсах. Час включення  $t_{вкл.в}$  - це час від моменту подачі команди на включення до виникнення струму в ланцюзі.

Поряд з фізичним зносом обладнання відбувається його моральне старіння. Середній технічний рівень встановленого станційного і підстанційного комутаційного обладнання відповідає обладнанню, яке експлуатувалося в провідних країнах світу 30 років тому. Разом з тим тенденції розвитку високовольтних вимикачів показують стійке зростання застосування в світі вакуумних і елегазових вимикачів.

Елегазові вимикачі почали швидко замінювати масляні і повітряні вимикачі. Вони також мають свої позитивні сторони:

- вибухо- і пожежобезпечні;
- швидкодія і придатність для роботи в будь-якому циклі АПВ;
- можливість, безпосередньо перед переходом струму через нуль, синхронного розмикання контактів;
- висока відключаюча здатність при відключенні невидалених коротких замикань і ін;
- надійне відключення ємнісних струмів холостих ліній;
- невеликий знос дугогасильних контактів;
- невелика вага;
- можливість для зовнішньої і внутрішньої установки.

Однак необхідно відзначити і недоліки:

- необхідність пристроїв для перекачування, наповнення і очищення елегазу;

- складність ряду деталей і вузлів конструкції, а також необхідність застосування високонадійних ущільнень;
- висока вартість вимикача в цілому і дугогасильного середовища.

#### 4.7 Економічний ефект

Замінивши на трансформаторній підстанції два масляних трансформаторів типу ТМН 10000/35 на енергоефективні трансформатори класу енергоефективності Х2К2 потужністю 10 МВт щорічна економія за рахунок зменшення втрат в трансформаторах може досягати 2 363 МВт·год.

Згідно з Постановою НКРЕКП від 11.07.2020 №1337 «Про внесення змін до постанови НКРЕКП від 10 грудня 2019 року № 2676» для ПАТ «Запоріжжяобленерго» з 01.08.2020 встановлені наступні тарифи на послуги з розподілу електроенергії для підприємств які наведені в таблиці 4.3 [31].

Таблиця 4.3 - Тарифи на послуги з розподілу електроенергії для підприємств

	I клас напруги 27,5 кВ і вище (без ПДВ)	II клас напруги до 27,5 кВ (без ПДВ)
Тариф на розподіл електричної енергії, грн/МВт·год	77,42	653,80

$$E = (77,42 + 20\%) \cdot 4\,726 \approx 440 \text{ тис. грн.}$$

$$E_{\Sigma} = (77,42 + 20\%) \cdot 14\,307 \approx 1,33 \text{ млн. грн.}$$

Так при заміні трансформаторів на одній з трансформаторних підстанцій економія може досягати 4 726 МВт·год, або 440 тис. грн.

А якщо замінити всі трансформатори на всіх трансформаторних підстанція економія може досягати 14 307 МВт·год, або 1,33 млн. грн.

## 5 СТАН ОХОРОНИ ПРАЦІ І ПРОТИПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІЙ ДІЛЬНИЦІ ПІДПРИЄМСТВА

Вимоги пожежної безпеки для підприємств:

### 1 - Загальні положення

1.1 - Пожежна безпека на підприємствах забезпечується шляхом проведення організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі виникнення пожеж, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж.

1.2 - Відповідно до статті 2 Закону України "Про пожежну безпеку" відповідальність за стан пожежної безпеки підприємств покладається на їх керівників та уповноважених ними осіб.

Обов'язки сторін щодо забезпечення пожежної безпеки орендованого майна слід визначити в договорі оренди.

Завдання та функції з забезпечення пожежної безпеки підприємств слід визначити в їхніх статутах.

Працівники підприємства повинні: виконувати вимоги цих Правил та інших нормативних актів з питань пожежної безпеки, які діють на підприємстві;

в разі виявлення виниклої пожежі - діяти відповідно до вимог розділу 12 цих Правил.

Роботи з будівництва, реконструкції підприємств, технічного переоснащення об'єктів виробничого та іншого призначення, впровадження нових технологій можуть фінансуватись тільки після одержання від органів державного пожежного нагляду позитивних результатів експертизи або перевірки проектної та іншої документації на відповідність нормативним актам з пожежної безпеки.

Введення в експлуатацію нових та реконструйованих виробничих, житлових та інших об'єктів, впровадження нових технологій, оренда будь-яких приміщень без дозволу органів державного пожежного нагляду забороняються.

Власник новоствореного підприємства повинен одержати дозвіл від органів державного пожежного нагляду на початок його роботи відповідно до вимог "Положення про порядок видачі органами державного пожежного нагляду підприємствам, установам, організаціям, орендарям та підприємцям дозволу на початок роботи".

Усі види пожежної техніки та протипожежного обладнання, що застосовуються для запобігання пожежам та для їх гасіння, повинні мати державний сертифікат якості згідно з Правилами обов'язкової сертифікації продукції протипожежного призначення.

Послуги з виконання робіт протипожежного призначення можуть надавати тільки ті підприємства та фізичні особи, які мають спеціальний дозвіл (ліцензію) на здійснення таких робіт, згідно з Положенням про порядок видачі суб'єктам підприємницької діяльності спеціальних дозволів (ліцензій) на здійснення окремих видів діяльності.

Посадові та фізичні особи, винні у порушенні цих Правил, несуть відповідальність відповідно до вимог чинного законодавства.

За порушення вимог Правил, невиконання приписів посадових осіб державного пожежного нагляду (далі - держпожнагляду) керівники органів держпожнагляду притягають підприємства до сплати штрафів згідно з вимогами Положення про порядок накладання штрафів на підприємства, установи і організації за порушення встановлених законодавством вимог пожежної безпеки, невиконання розпоряджень (приписів) посадових осіб органів державного пожежного нагляду.

2 - Організаційні заходи з забезпечення пожежної безпеки

2.1 - На кожному підприємстві з урахуванням ступеня його пожежної небезпеки наказом (інструкцією за додатком 1) має бути встановлений відповідний протипожежний режим, яким визначається:

місце паління (якщо можливе), застосування відкритого вогню, використання побутових нагрівальних приладів;

порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);

правила проїзду і стоянки транспортних засобів;

пожежобезпечність місць зберігання і припустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть водночас перебувати у виробничих приміщеннях і на території;

порядок прибирання горючого пилю та відходів, зберігання промасленого спецодягу та шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладів;

порядок відключення електрообладнання від мережі в разі пожежі;

порядок оглядання й зачинення приміщень після закінчення роботи;

порядок проходження посадовими особами спеціального навчання та перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів і занять з пожежо-технічного мінімуму та призначення відповідальних за це осіб;

порядок організації експлуатації та обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, видалення диму, вогнегасників тощо);

порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів і оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання;

черговість дій працівників у разі виявлення пожежі;

порядок збору членів добровільної пожежної дружини (далі - ДПД) та посадових осіб адміністрації в разі виникнення пожежі, а також виклику їх вночі, у вихідні та святкові дні.

Працівників підприємства слід ознайомити з цими вимогами на інструктажах, під час проходження пожеж-технічного мінімуму. Витяги з наказу (інструкції) з основними положеннями слід вивішувати на встановлених місцях.

2.2 - На кожному підприємстві має бути розроблена загально об'єктна інструкція про заходи пожежної безпеки для всіх вибухо-пожежо-небезпечних, пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій).

Ці інструкції слід вивчати під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожеж-технічного мінімуму та виробничого навчання і вивішувати для ознайомлення в установлених місцях.

2.3 - В будинках і спорудах (крім житлових будинків), що мають два і більше поверхи, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей у разі пожежі.

Потреба в планах (схемах) евакуації одноповерхових будинків і споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з вимог пожежної безпеки людей, кількості та площі приміщень.

2.4 - В разі зміни планування або функціонального призначення будівель (приміщень, споруд), технології виробництва, штатного розкладу персоналу, адміністрація зобов'язана забезпечити своєчасну переробку планів евакуації та інструкцій, які регламентують перебіг евакуації.

2.5 - На підприємстві має бути встановлений порядок або система оповіщення про пожежу, з яким слід ознайомити всіх працівників.

У приміщеннях на видних місцях біля телефонів слід вивішувати таблички із зазначенням номера телефону "01" для виклику пожежної охорони.



2.6 - Територія підприємства, а також будівлі, споруди, приміщення слід обладнати відповідними знаками безпеки, згідно з ГОСТ 12.4.026-76.

2.7 - Якщо одержано речовини й матеріали з невідомими щодо пожежної безпеки властивостями, то керівник підприємства зобов'язаний заборонити їх використання до з'ясування у відповідних установах та організаціях відомостей (показників) про їх пожежо-небезпечність.

Застосування в будівництві та на виробництві речовин і матеріалів, дані про пожежну небезпеку яких відсутні, забороняється.

2.8 - Для працівників охорони (сторожів, вахтерів, чергових, вартових) адміністрація повинна розробити інструкцію, в якій визначити: їх обов'язки щодо контролю за додержанням протипожежного режиму, огляду території та приміщень; порядок дій у разі виявлення пожежі, спрацьовування засобів пожежної сигналізації та автоматичного гасіння пожеж, зазначити, кого з посадових осіб адміністрації потрібно сповіщати у нічний період доби в разі пожежі.

Працівники охорони повинні мати список посадових осіб підприємства з домашньою адресою, службовим та домашнім телефонами. Вони повинні знати порядок дій в разі виявлення пожежі, правила користування первинними засобами гасіння пожежі та прийоми гасіння.

2.9 - З метою залучення працівників до проведення заходів з запобігання пожежам, організації їх гасіння на підприємствах слід створювати добровільні пожежні дружини або команди (далі - ДПД або ДПК), які повинні діяти відповідно до чинних нормативних актів.

2.10 - На підприємстві з кількістю працівників 50 і більше осіб рішенням трудового колективу можна створювати пожеж-технічну комісію (далі - ПТК). Її роботу слід організувати згідно з Типовим положенням про пожеж-технічну комісію.

### 3 - Відповідальність і обов'язки керівників підприємств

3.1 - Керівники підприємств повинні визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) з забезпечення пожежної безпеки,

призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць, технологічного та інженерного обладнання, а також за зберігання та експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту.

Обов'язки осіб, відповідальних за забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту слід відобразити у відповідних документах (наказах, інструкціях, положеннях та ін.).

3.2 - Керівник підприємства зобов'язаний вживати (в межах наданих йому повноважень) відповідних заходів реагування на факти порушень чи невиконання іншими працівниками підприємства встановленого протипожежного режиму, вимог правил пожежної безпеки та нормативних актів, що діють у цій сфері.

3.3 - Керівники підприємств повинні:

організувати розроблення комплексних заходів для забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати на підприємстві досягнення науки і техніки, позитивний досвід;

відповідно до нормативних актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції та інші нормативні акти, що діють у межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їх додержанням;

забезпечувати додержання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів держпожнадзора;

організувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів для їх забезпечення;

в разі відсутності в нормативних актах вимог, потрібних для гарантування пожежної безпеки - вживати відповідних заходів, узгоджуючи їх з органами держпожнадзора;

тримати у справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;

створювати в разі потреби відповідно до встановленого порядку підрозділи пожежної охорони та потрібну для їх функціонування матеріально-технічну базу;

подавати на вимогу Державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки підприємства (об'єкта) і продукції, яку підприємство виробляє;

вживати заходів з впровадження автоматичних засобів виявлення і гасіння пожеж та використання з цією метою виробничої автоматики;

своєчасно інформувати пожежну охорону про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також завчасно інформувати про закриття доріг і проїздів на своїй території;

проводити службове розслідування випадків пожеж.

4 - Відповідальність і обов'язки керівників цехів, майстерень, дільниць, лабораторій і складів

4.1 - Відповідальність за стан пожежної безпеки цехів, майстерень, лабораторій, складів та інших структурних підрозділів наказами або розпорядженнями по підприємству покладається на конкретних осіб.

Таблички з зазначенням осіб, відповідальних за пожежну безпеку, вивіщуються на видних місцях, біля входу в приміщення.

4.2 - Керівники структурних підрозділів та особи, відповідальні за пожежну безпеку окремих приміщень (ізольованих робочих місць), повинні:

слідкувати за дотриманням встановленого протипожежного режиму, правил пожежної безпеки, інструкцій про заходи пожежної безпеки;

не допускати до роботи осіб, які не пройшли спеціальне навчання або інструктаж про заходи пожежної безпеки;

відсторонювати від роботи осіб, які перебувають у нетверезому стані та в стані наркотичного сп'яніння;

проводити періодичні огляди території будівель, споруд, виробничих та службових приміщень з метою постійного контролю за дотриманням правил пожежної безпеки, утриманням у належному стані шляхів евакуації,

протипожежних перешкод, розривів, під'їздів та доріг, засобів гасіння пожеж (гідрантів, внутрішніх пожежних кранів, вогнегасників) та вживати термінових заходів для усунення виявлених порушень і недоліків;

тримати у справному стані та постійній готовності до дії установки гасіння пожеж, пожежної сигналізації, оповіщення та зв'язку;

стежити за справністю приладів опалення, вентиляції, електроустановок, технологічного та виробничого обладнання, негайно вживаючи заходів для усунення виявлених несправностей, які можуть призвести до виникнення пожежі в разі їх появи;

знати пожежну небезпечність технологічних процесів, речовин, матеріалів, що зберігаються в приміщеннях і перебувають у роботі в технологічному та виробничому обладнанні, категорію приміщень виробничого і складського призначення щодо вибухо-пожежо-небезпечної та пожежної небезпеки і вимоги, які ставляться до них, правила та умови безпечного зберігання, застосування та перевезення вибухонебезпечних та пожежонебезпечних речовин і матеріалів;

стежити за своєчасним прибиранням приміщень і робочих місць, а також за відключенням, (за винятком чергового освітлення) від мереж електроспоживачів, після закінчення роботи;

в разі виявлення виникнення пожежі - негайно повідомити про це пожежну охорону, керівництво об'єкта і приступити до ліквідації пожежі, діючи при цьому відповідно до вимог розділу 12 цих Правил.

4.3 - Керівники цехів, дільниць, лабораторій, складів та інших структурних підрозділів повинні:

розробляти плани евакуації людей і матеріальних цінностей на випадок виникнення пожежі та вивішувати їх на видних місцях, а також, один раз у два роки, організувати їх практичне відпрацювання;

своєчасно вживати заходів з гарантування пожежної безпеки, встановлених органами держпожнадзора та пожеж-технічною комісією;

контролювати виконання наказів і розпоряджень з пожежної безпеки;

проводити планово-попереджувальні ремонти та огляди інженерного обладнання, що експлуатується або зберігається;

встановити порядок (систему) оповіщення своїх підлеглих про пожежу, з яким слід ознайомити всіх працівників;

на видних місцях біля телефонів - вивішувати таблички з номером телефону для виклику пожежної охорони.

5 - Організація підготовки працівників підприємств з питань пожежної безпеки

5.1 - Порядок організації і проведення спеціального навчання, протипожежних інструктажів, навчання та перевірки знань з пожеж-технічного мінімуму встановлює "Типове положення про спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України".

5.2 - Проходження працівниками спеціального навчання, інструктажів і перевірки знань визначається керівниками підприємства наказами або розпорядженнями, відповідними положеннями, що розробляються на підприємстві.

5.3 - Працівники підприємств при прийнятті на роботу і за місцем праці повинні проходити вступні, первинні, повторні, позапланові та цільові інструктажі з питань пожежної безпеки.

Про проведення інструктажів (крім цільового) запис робиться у спеціальних журналах реєстрації інструктажів. Запис про проведення цільового інструктажу робиться в документі, що дозволяє виконання робіт (наряд-допуск, додаток 2).

Особи, яких приймають на роботу з підвищеною пожежною небезпекою, попередньо, до початку самостійного виконання робіт, повинні пройти спеціальне навчання з пожеж-технічного мінімуму за спеціальною програмою, узгодженою з місцевими органами державного пожежного нагляду, а потім постійно, один раз на рік, - перевірку знань.

Посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз на три роки проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

5.4 - Вивчення заходів пожежної безпеки на виробництві слід також передбачати в системі виробничого навчання робітників, службовців, інженерно-технічних працівників (ІТП) а також з цією метою використовувати наявні на підприємстві місцеві системи радіомовлення тощо.

5.5 - Забороняється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктажу і перевірки знань з питань пожежної безпеки.

## ВИСНОВОК

В дипломній роботі було проведено аналіз цеху мереж і підстанцій ПАТ «Запоріжсталь». Також було розроблено ряд технічних заходів, які дозволять знизити споживання електричної енергії, що в свою чергу підвищить ефективність використання електроенергії.

Описане практичне використання теорії забезпечує вирішення широкого спектра завдань підвищення енергоефективності електромережевого комплексу.

Було запропоновано замінити трансформатори на трансформаторних підстанціях на енергоефективні трансформатори класу X2K2 при цьому економія електроенергії за рік становитиме 9 581 МВт·год.

Крім того, в роботі вирішена задача вибору комутаційних апаратів, зокрема було запропоновано замінити застарілі масляні вимикачі на сучасні і більш надійні елегазові та вакуумні. Перевірено перевантажувальну здатність обраного обладнання та стійкості при коротких замиканнях. Що показало правильність прийнятих рішень.

У зв'язку зі зміною потужності підстанції і відповідно величини струму короткого замикання, потрібно провести коригування уставок релейного захисту.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Запоріжсталь сьогодні.  
URL: <https://www.zaporizhstal.com/uk/pidpriyemstvo/> (дата звернення 21.07.2020).
2. Холоднокатаний прокат Запоріжсталь.  
URL: <https://www.zaporizhstal.com/uk/diyalnist/produkcija/osnovna/holodnokatanuj-prokat/> (дата звернення 21.07.2020).
3. Структура виробництва підприємства.  
URL: <https://www.zaporizhstal.com/uk/pidpriyemstvo/struktura-virobnictva/> (дата звернення 21.07.2020).
4. Паспорт підприємства ПАТ «Запоріжсталь». Паспорт копрового цеху.
5. Качан Ю. Г. Основы энергосбережения / Для студ. ЗГИА спец. 7.000008 "ЭМ": Конспект лекций / ЗГИА. - Запорожье: ЗГИА, 2005. - 183 с.
6. Самойлов М. В. и др. Основы энергосбережения / Учеб. пособие для вузов / Самойлов М. В., Паневчик В. В., Ковалев А. Н. - 3-е изд., стереотип. - Мн.: БГЭУ, 2004. - 198 с..
7. Осипова Л. Ю. Споживачі електричної енергії / Для студ. ЗГИА спец. "ЭМ" днев. и заоч. форм обучения: Конспект лекций / ЗГИА. - Запорожье: ЗГИА, 2004. - 155 с..
8. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Магницкий А.А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов : научная статья., Энергия единой сети., 2017. 31с.
9. Федосенко Р.Я., Трансформатор в местной распределительной сети : Издательств Министерства коммунального хозяйства РСФСР., 1963. 87с.
10. Пекелис В.Г., Мышковец Е.В., Леус Ю.В. Определение оптимальных уровней потерь холостого хода и короткого замыкания для



различных режимных условий работы трансформаторов мощностью до 1600 кВА : ЭЛЕКТРО., 2003. 46 с.

11. Якшина Н.В. Целесообразность применения трансформаторов со сниженным электропотреблением : научная статья., Энергоэксперт. 2015. 8с.

12. Савинцев Ю.М. Надежный поставщик — ключ к безаварийности и энергоэффективности : Энергетика и промышленность России. 2019. 41с.

13. Данилов Н. И., Лисиенко В.Г., Щелоков Я. М. «Проблемы стратегии и теории энергоэффективности» : Экономика региона. 2006. 87с.

14. Кудрин Б.И. «Два открытия: явление инвариантности структуры техноценозов и закон информационного отбора» : Технетика. 2009. 82с.

15. Гнатюк В.И. «Закон оптимального построения техноценозов». 2019. 940с. URL: <http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf>.

16. Савинцев Ю.М. «Методология прогнозирования рыночного спроса на электрооборудование сетей электроснабжения на базе ценологической парадигмы».

URL: [http://www.rusnauka.com/31\\_NG\\_2014/Tecnic/5\\_177867.doc](http://www.rusnauka.com/31_NG_2014/Tecnic/5_177867.doc). (дата звернения 15.08.2020).

17. Савинцев Ю.М. «Анализ основных характеристик обычных и энергоэффективных распределительных трансформаторов основных заводов». URL: <http://электротехнический-портал.рф/statya-obzor/item/658-анализ-основных-характеристик-обычных-и-энергоэффективных-распределительных-трансформаторов-основных-заводов.html>. (дата звернения 15.08.2020).

18. Савинцев Ю.М. «Базовый принцип повышения энергоэффективности трансформаторных подстанций в сетях электроснабжения». URL: <https://www.elec.ru/articles/bazovyj-princip-povysheniya-energoeffektivnosti-tr/>. (дата звернения 15.08.2020).

19. Савинцев Ю.М. «Сухие энергоэффективные трансформаторы: кто в тренде?»: Энергетика и промышленность России. 2019. 41с.

20. Савинцев Ю.М. «Монетизация» энергоэффективности в трансформаторостроении»: Энергетика и промышленность России. 2019. 41с.
21. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей.: Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 274 с.
22. Цехмістрова Г.С. Основи наукових досліджень. Навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2004. 240с.
23. Романчиков В.І. Основи наукових досліджень: Навчальний посібник / Українська академія бізнесу та підприємництва. – К.: Центр учбової літератури, 2007. 254с.
24. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового проектирования: Учебное пособие для вузов. 4-е изд.перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1989.- 608с.
25. Герасименко А. А., Халезина О. П. Электроэнергетика: Передача и распределение электроэнергии: метод. указания / Красноярск: ИПЦ СФУ, 2009. 76с.
26. Ершевич В. В., Зейлигер А. Н., Илларионов Г. А. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 352с.
27. Пачколін, Ю.Е. Засади енергоефективного освітлення та зменшення обсягів споживання електроенергії: Методичні рекомендації / Пачколін Ю.Е. – Запоріжжя : Зелений парус, 2016. 476 с.
28. Коровин Ю.В., Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: учебное пособие / Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. 114с.
29. Гук Ю.В. Теория надёжности в электроэнергетике: Учебное пособие для вузов. – СПб. Энергоатомиздат 1997. 208с.
30. Рожкова Л.Д., Электрооборудование станций и подстанций: третье издание, переработанное и дополненное. / Москва: Изд-во ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1987. 646с.

31. Тарифи на розподіл. URL: <https://www.zoe.com.ua/тарифи-на-розподіл/> (дата звернення 01.09.2020).
32. Дмитриев М.В. Грозовые перенапряжения на оборудовании РУ 6-750 кВ и защита от них. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 61с.
33. Кабышев А.В., Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжении – Томск: изд. ТПУ, 2009. 183 с.
34. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности электроустановок потребителей. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 424с.
35. Правила устройства электроустановок Минэнерго России. – 6-е. изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2003. 342с.
36. Дашковский А.Г. Вопросы охраны труда. Учебное пособие. – Томск: изд. ТПУ, 2002. 192с.
37. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. – М., Энергоатомиздат. 1983. 336с.
38. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для ВУЗов.- М. Энергоатомиздат,1989г. 252с.
39. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 648с.
40. Фабисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей – М.:Изд-во НЦ ЭНАС,2006. 352с.
41. Шабад М.А. Расчёт релейной защиты и автоматики. – Л., Энергоатомиздат, 1985. 296с.
42. Васильев, А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. Электрическая часть станций и подстанций : учебник для вузов / М.:Энергия, 1980. 608с.
43. СТО 56947007-29.240.10.028-2009 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). - Москва: ФСК ЕЭС, 2009. 97с.

44. Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / Красноярск: ИПЦ КГТУ; Минск: БНТУ, 2006. 808с.

45. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатом издат, 1989. 608с.