

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

Електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності копрового цеху
ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1419 з
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)

С.М.Полосарьов

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., доц. Левченко С.А.

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

Рецензент Дригинич І.В.

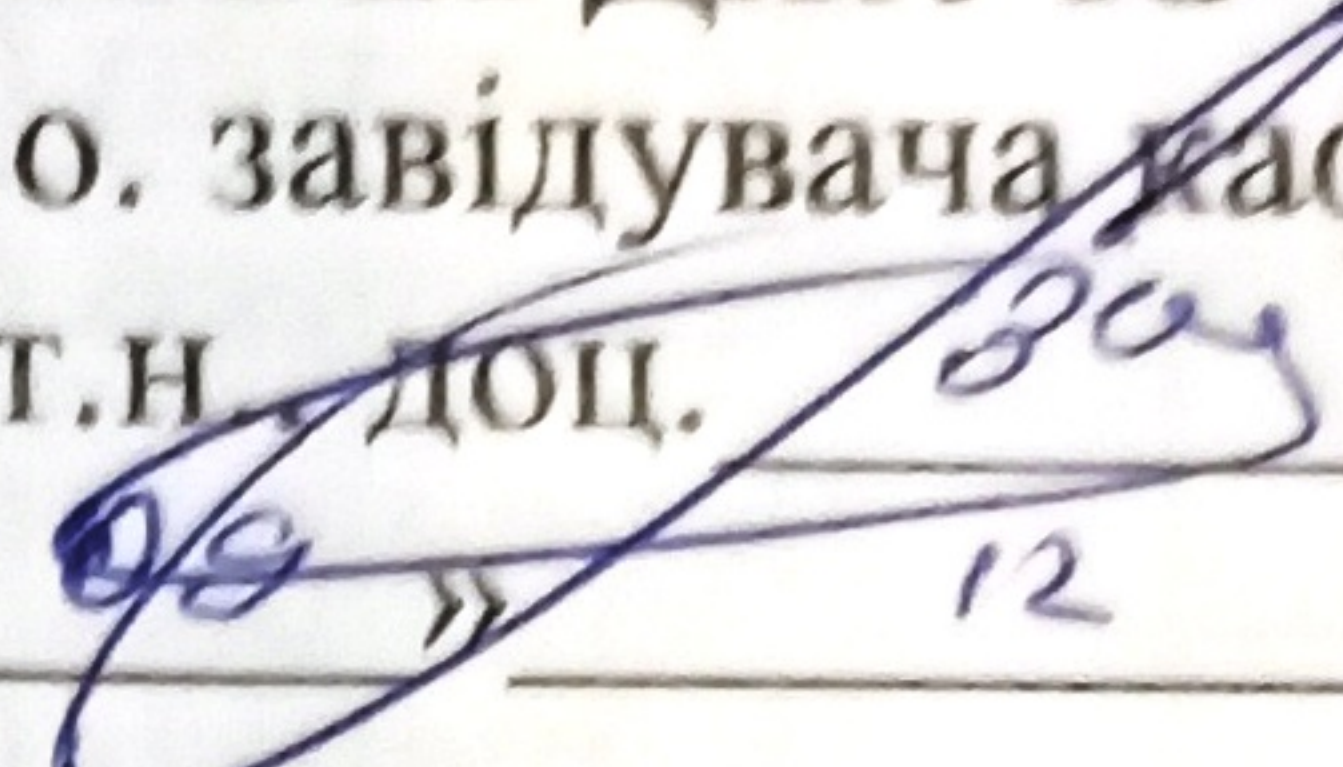
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра _____ електротехніки та енергоефективності _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістрський) 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
« 09 » 12 2020 року

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

_____ Полосарьов Сергій Миколайович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _____ Аналіз впливу окремих показників якості електричної енергії
на _____ економічні _____ показники _____ виробництва _____ в
умовах _____ ПрАТ «Дніпроспецсталь» _____

керівник роботи _____ Левченко Сергій Андрійович, д.т.н., доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 2020 року № 1306-с

2 Строк подання студентом роботи _____ 01 грудня 2020 р. _____

3 Вихідні дані до роботи _____ Показники якості електроенергії системи
електропостачання заводу відмінні від нормативів; розробка рекомендацій щодо
нормалізації якості електроенергії; розрахунок втрат потужності і електричної
енергії в системі внутрішньозаводського електропостачання; дослідження
енергетичних показників якості електроенергії

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) _____ 1) Характеристика ПрАТ «Дніпроспецсталь». 2) Аналіз
електроспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь» 3) Оцінка економічних збитків
при зниженні ЯЕЕ. 4) Охорона праці .

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Структурні підрозділи ПрАТ «Дніпроспецсталь». Плакат. 2) Споживання електроенергії цехами ПрАТ «Дніпроспецсталь». Плакат. 3) Споживання електроенергії за 2019 рік в сталеплавильному цеху №5. Плакат. 4) Однолінійна схема КТП. Плакат. 5) Залежність імпедансу шинопровода системи від частоти. Плакат. 6) Розрахунок збитків електроустаткування. Плакат. 7) Принцип дії активного фільтра. Плакат. 8) Активний фільтр гармонік. Плакат.

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання _____ 01.09.2020 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика ПрАТ «Дніпроспецсталь»	30.09.2020	
2	Аналіз електроспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь»	30.10.2020	
3	Оцінка економічних збитків при зниженні ЯЕЕ	19.11.2020	
4	Охорона праці.	30.11.2020	

Студент _____ С.М. Полосарьов _____
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ С.А. Левченко _____
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

ВСТУП

ПрАТ «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» - ключовий виробник сортового нержавіючої сталі на ринках СНД, а в Україні - безперечний лідер в даному сегменті.

ПрАТ "Дніпроспецсталь" виробляє більше 800 марок сталі і сплавів і більше 1000 різних профілів прокату.

Сталеплавильне виробництво підприємства представлено трьома електросталеплавильними цехами, оснащеними відкритими вісьмома основними дуговими електропечами ємністю від 30 до 60 тонн, двома індукційними печами ємністю 7 тонн, агрегатом газокисневого рафінування, а також печами електрошлакового і вакуумно-дугового переплавлення ємністю (1-20) і (1 -6) тонн, відповідно.

Для отримання металу з високими якісними характеристиками, сталь, виплавлена у відкритій дуговій печі, обробляється на установці «піч-ківш», а також піддається поза пічного вакуумірованню. Дуплекс-процес дозволяє виплавляти корозійностійкої нержавіючу сталь з низьким вмістом вуглецю. (Дуплекс-процес являє собою виплавку сталі у відкритій дуговій печі з газокисневого рафінування).

Більше 20 років завод виробляє інструментальну і швидкорізальної сталь методом порошкової металургії. Виплавка металу проводиться в індукційній печі ємністю 7 т, а застосовувані у виробництві методи холодного і гарячого ізостатичного пресування при температурі 1100-1150°C і тиску 1000 атм (процес ASEA - STORA) дозволяють отримувати метал з однорідною структурою без слідів карбідної сітки.

Прокатне виробництво. Прокатний цех оснащений обтискному-заготовчих станов «1050» і сортовими станами «550», «325» і «280». ПрАТ "Дніпроспецсталь" виробляє круглий прокат діаметром 8-250 мм, квадратний прокат зі стороною 10-250 мм, квадратну заготовку, блюми [18, 19].

Квадратна заготовка і блями поставляються з абразивної зачисткою поверхні. На сортових станах освоєно виробництво смугових, шестигранних профілів і профілів спеціального призначення, прокочується широкий марочний сортамент, в тому числі жароміцні сплави леговані нікелем і швидкоріжуча сталь.

У калібрувальному цеху проводиться холоднотягнута сталь, прутки зі спеціальною обробкою поверхні з конструкційних, підшипникових, інструментальних, швидкорізальних і нержавіючих марок сталі.

Виробництво прокату із спеціальною обробкою поверхні проводиться в цеху ад'юстажної обробки на обладнанні фірм «Landgraf» (Італія), «SMS» (Німеччина) і «CMS» (Франція).

Ковальсько-пресове виробництво ковальсько-пресовий цех виробляє сортові великогабаритні поковки з різних марок сталі. У ньому встановлені гідравлічні преси з номінальним зусиллям 60 і 32 МН, оснащені маніпуляторами вантажопідйомністю відповідно 10 і 5 тонн. є ділянки для термообробки, правки і обробки поковок, а також для ультразвукового контролю якості продукції [18, 19].

Ковальський цех виробляє продукцію з нержавіючих, інструментальних, швидкорізальних марок сталі і сплавів, також спеціалізується на виробництві прутків з важко деформуються легованих марок сталі. У цеху встановлено дві радіально-кувальні машини номінальним зусиллям 10 МН і 3,4 МН.

Термообробка в термічному цеху і на відповідних ділянках передільних цехів виконуються різні види відпалу металопродукції, нормалізація, гарт аустенитної нержавіючої сталі, термо-покращення прокату і поковок з конструкційної і нержавіючої сталі.

У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч ємністю 4 тонни. Для виробництва більш ніж 30 марок швидкорізальної та інструментальної сталі, яка відповідає вимогам стандартів ГОСТ, DIN,

ASTM, застосовується процес ASEA-STORA (холодне і гаряче ізостатичне пресування при температурі 1100-1150 °С і тиску 1000 атм.).

У сталеплавильному цеху №2 виплавка сталі ведеться у відкритій печі електродуги, з наступною продувкою в аргонкіслородном конвертері і обробкою на установці піч-ківш. Цей процес дозволяє отримати низкоуглеродню корозійностійкої нержавіючу сталь. Цех обладнаний індукційної піччю ємністю 8 тонн для виробництва жароміцних сталей і спеціальних сплавів.

У сталеплавильному цеху № 3 отримують високоякісну сталь шляхом обробки напівпродукту на установці піч-ковш фірми Danieli з подальшим вакуумуванням розплаву в вакууматора фірми Mannesmann Demag.

Сталеплавильний цех №5 обладнаний печами ЕШП і ВДП різної ємності, що дозволяють виробляти сортові злитки вагою 0,9-6,0 тонн і листові злитки вагою 9,3-20,0 тонн. Технологія ЕШП забезпечує отримання стали і спеціальних сплавів, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: авіаційної, оборонної, а також теплової та атомної енергетики.

Цех ад'юстажної обробки металу виробляє механічну обробку поверхні прутків діаметром 20-200 мм, остаточна обробка прутків зі спецотделкой до кола 160 мм проводиться на верстаті RPS 327. У цеху встановлено дві лінії для обточування і спеціальної обробки поверхні. Тут проходять заключну обробку прутки, що надходять з прокатних станів 1050, 550, 325 і 280, а також ковальського і ковальсько-пресового цехів [19, 10].

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПрАТ "ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ"

1.1 Загальні відомості про ПрАТ "Дніпроспецсталь"

ПрАТ «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» - ключовий виробник сортового нержавіючої сталі на ринках СНД, а в Україні - безперечний лідер в даному сегменті.

Будучи найбільшою міжнародною компанією, ПрАТ "Дніпроспецсталь" розробляє, виробляє і реалізує металопродукцію з неіржавіючих, інструментальних, швидкорізальних (в т. ч. виготовлених методом порошкової металургії), підшипникових, конструкційних легованих і вуглецевих сталей.

Застосовувані на заводі технології дозволяють отримувати високоякісні сталі і сплави, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості - машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні, авіакосмічній та нафтогазовидобувній галузях [18].

З нашого металу виготовляють деталі машин і механізмів, безшовні труби і підшипники, інструмент для подальшої обробки металів і сплавів.

Географічне розташування компанії дає значну перевагу у виході на ринки СНД та ЄС. Продукція ПрАТ "Дніпроспецсталь" затребувана більш ніж в 60 країнах. Зберігаючи позиції лідера на внутрішньому ринку, "Дніпроспецсталь" розширює свою присутність в Росії, Європі, Америці та Азії, співпрацюючи з партнерами і дистриб'юторами в 15 країнах світу.

Система менеджменту якості ПрАТ "Дніпроспецсталь" сертифікована на відповідність міжнародному стандарту ISO 9001 діє до: 2015 органом по сертифікації TÜV Thüringen (офіційний представник органу в Україні ТОВ "Інтерсерт-Україна").

Щороку, з моменту заснування заводу, ознаменований подіями, значущими не тільки для "Дніпроспецсталі", але і для всієї металургійної галузі в цілому[18].

1932 рік - перша плавка - народження заводу;

1933 рік - освоєно виробництво шарикопідшипникової сталі;

1934 рік - освоєно виробництво нержавіючої кислотостійкої хромонікелевої сталі;

1941 рік - евакуація заводу в період Великої Вітчизняної війни в Сибір;

1945-1953 роки - відновлення заводу після Великої Вітчизняної війни;

1948 рік - перша післявоєнна плавка;

1955 рік - вперше в СРСР освоєно вакууміровання сталі в ковші;

1956 рік - освоєно виробництво жароміцних сплавів;

1957 рік - освоєно виробництво каліброваної сталі;

1958 рік - вперше в світі освоєно електрошлаковий переплав;

1959 рік - вперше в СРСР освоєно переплав сталі і сплавів у вакуумних дугових печах;

1966 рік - побудований найбільший в той час в Європі спеціалізований цех для виплавки злитків ЕШП і ВДП;

1972 рік - освоєно виробництво великогабаритних поковок на потужностях пущеного в експлуатацію ковальсько-пресового цеху;

1980 рік - вперше в СРСР освоєно виробництво інструментальної та швидкорізальної сталі методом порошкової металургії;

1987 рік - вперше в СРСР запроваджено газокисневого рафінування сталі;

1996 рік - освоєна сучасна технологія виробництва конструкційних і підшипникових сталей з пуском в експлуатацію установки «піч-ківш» італійської фірми «Danieli»;

1996 рік - впроваджена і сертифікована система якості за стандартом ISO 9002: 1994;

1998 рік - освоєна технологія позапічної обробки стали з введенням в експлуатацію вакууматора німецької фірми «Mannesmann-Demag»;

2002 рік - введений в експлуатацію цех фінішної обробки готової продукції;

2002 рік - впроваджена і сертифікована система якості за стандартом ISO 9001: 2000;

2003 рік - впроваджена ресурсозберігаюча технологія виробництва корозійностійкої сталі з введенням в експлуатацію печі-ковша в сталеплавильному цеху №2;

2006 рік - запущена установка «прес-ножиці» в копровому цеху;

2007 рік - побудований цех з переробки шлаків;

2008 рік - планують і сертифікована система якості за стандартом ISO 9001: 2008;

2009 рік - Впроваджено в експлуатацію лінія фінішної обробки прокату 120/280 Loeser RPS 377 на ділянці обробної лінії прокатного цеху;

2012 рік - введена в експлуатацію пилогазоочистка CVS Makina продуктивністю 1200 тис. Куб. м / год в сталеплавильному цеху №3;

2012 рік - введений в експлуатацію ділянку з виробництва ферромолібдена в сталеплавильному цеху №2;

2015 рік - побудована ділянка кіслородохраніліща фірми ПАТ "Лінде Газ Україна"[10].

1.2 Структура виробництва ПрАТ "Дніпроспецсталь"

12 основних цехів (3 електросталеплавильних цехи, цех порошкової металургії, прокатний цех, термічний цех, калібрувальний цех, пресовий цех, ковальський цех, цех ад'юстажної обробки металу, копровий цех, інструментальний цех).

11 допоміжних цехів (цех підготовки виробництва, цех випробувань, 2 транспортних цеху, 3 ремонтних цеху, 2 енергопостачальних цеху, цех контрольно-виміральної апаратури та автоматики, склад готової продукції, лабораторії).

У лютому 2010 р Дніпроспецсталь підписала контракт з компанією Siemens VAI Metals Technologies GmbH на поставку нової дугової сталеплавильної печі (ДСП-60) вартістю близько EUR10 млн, введення якої в експлуатацію намічений на перший квартал 2012 року. Нова піч призначена для виплавки спеціальних марок сталі. маса плавки ДСП складе 60 тонн, загальна продуктивність рідкої сталі - до 540 тис. тонн на рік, потужність пічного трансформатора - 60 МВА [19].

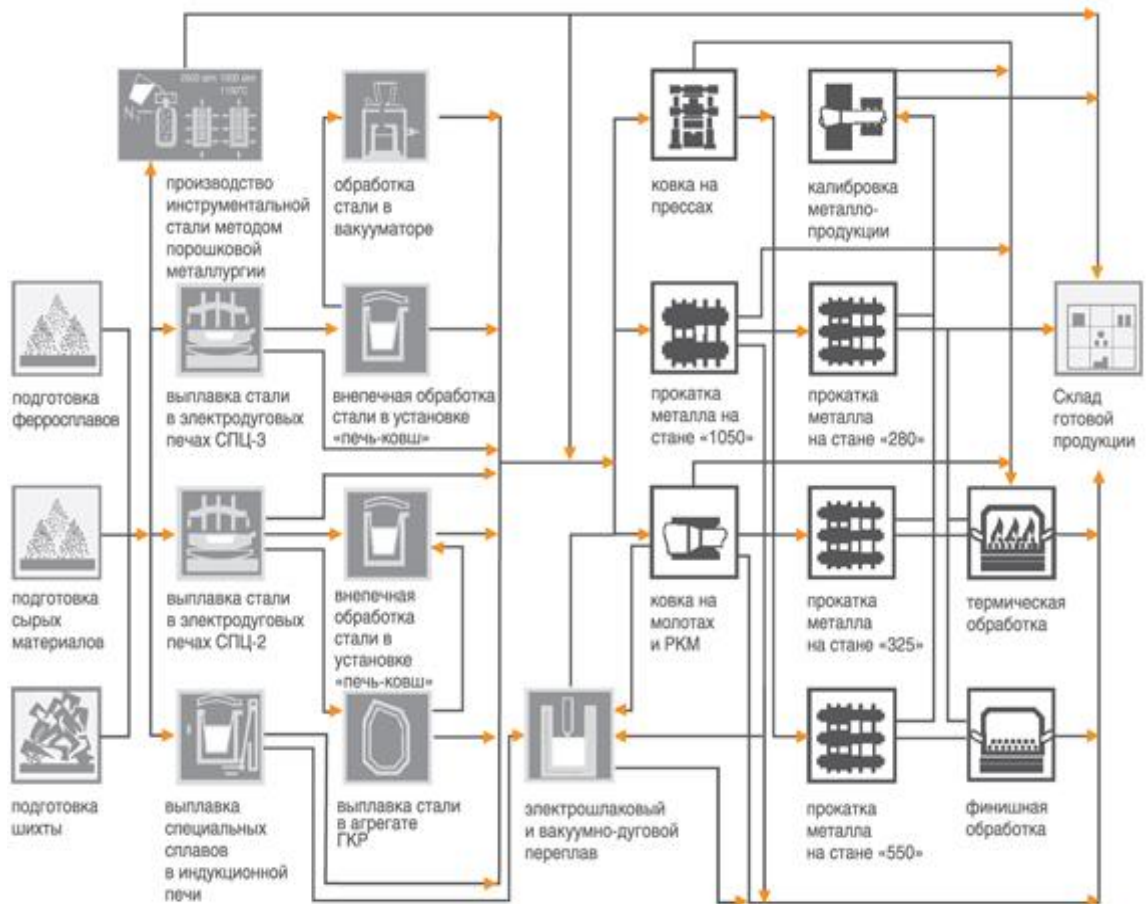


Рисунок 1.2 Структура виробництва ПрАТ "Дніпроспецсталь"

ПрАТ "Дніпроспецсталь" виробляє більше 800 марок сталі в 1200 профілерозмірів. Компанія постійно модернізує виробничі потужності,

освоює нові технології, встановлює новітнє обладнання, що дозволяє випускати високоякісну продукцію.

Технологічна схема виробництва включає в себе оптимальне поєднання різних процесів, що дозволяють отримувати якісну продукцію з заданими властивостями за індивідуальними замовленнями наших клієнтів [1. 18].

Передільного виробництва ПрАТ "Дніпроспецсталь" представлено прокатним, калібрувальних, ковальським, ковальсько-пресовим, термічним цехами і цехом ад'юстажної обробки металу.

На сорто-заготівельних стані 1050 прокатного цеху отримують заготовку для подальшої прокатки на сортових станах, а також виробляють прутки діаметром 130-280 мм. Сортіві прокатні стани 550, 325 і 280 випускають продукцію діаметром від 8 до 130 мм, з поверхнею в стані після прокатки або механічно оброблену. Обробка поверхні продукції здійснюється на безцентрових обдирні верстатах в ході повністю механізованого процесу. На ділянці обробної лінії прокатного цеху, на верстаті Loeser RPS 377 відбувається обробка прутків діаметром 120-280 мм всього марочного сортаменту заводу вагою до 2,6 тонн. В обладнанні застосована технологія мокрого шліфування на «контактному колі» або «вільної стрічкою». Вся продукція, діаметром від 20 мм і більше, підлягає ультразвуковому контролю відповідно до стандарту EN 10308, ASTM A388 або SEP 1 921.

У калібрувальному цеху виробляють круглі холоднотягнуті прутки діаметром 2-45 мм, круглі прутки зі спеціальною обробкою поверхні діаметром 1,9-50 мм і калібровані прутки шестигранного перетину, діаметром вписаного кола 12-46 мм (для ринку СНД) [18].

Великогабаритні поковки круглого, квадратного і прямокутного перерізу з різних марок сталі є продукцією ковальсько-пресового цеху. У цеху встановлено гідравлічні преси зусиллям 60 МН і 32 МН, оснащені 5-ти і 10-ти тонними маніпуляторами. У цеху знаходяться ділянки для

термообробки, правки і обробки поковок, а також для ультразвукового контролю якості.

Ковальський цех виробляє продукцію з нержавіючих, інструментальних, швидкорізальних марок сталі і сплавів, також спеціалізується на виробництві прутків з важко деформуються легованих марок сталі. У цеху встановлено дві радіально-кувальні машини номінальним зусиллям 10 МН і 3,4 МН.

У термічному цеху і на відповідних ділянках передільних цехів виконуються операції по термообробці металопродукції.

Цех ад'юстажної обробки металу виробляє механічну обробку поверхні прутків діаметром 20-200 мм, остаточна обробка прутків зі спецотделкой до кола 160 мм проводиться на верстаті RPS 327. У цеху встановлено дві лінії для обточування і спеціальної обробки поверхні. Тут проходять заключну обробку прутки, що надходять з прокатних станів 1050, 550, 325 і 280, а також ковальського і ковальсько-пресового цехів [18].

1.3 Загальний технологічний процес виробництва сталі та сплавів

ДСС виробляє більш ніж 800 марок сталей та сплавів. Виробництво сталі на ДСС представлено чотирма сталеплавильними цехами, де встановлені основні електродугові печі відкритого типу ємністю від 30 до 60 тонн, індукційні печі ємністю 4 і 8 тонн, печі електрошлакового (ЕШП) і вакуумно-дугового переплаву (ВДП) [18].

У сталеплавильному цеху №2 встановлений аргоно-кисневий конвертер для виробництва сталі дуплексним методом: виплавка ведеться у відкритій печі електродуги, після чого продування в конвертері і обробка на установці піч-ківш, що дозволяють отримати низьковуглецеві

корозійностійкої нержавіючі сталі. Цех обладнаний індукційної піччю ємністю 8 тонн для виробництва жароміцних сталей і спеціальних сплавів.

У сталеплавильному цеху №3 отримують високоякісну сталь шляхом обробки напівпродукту на установці піч - ківш фірми Danieli з подальшим вакуумуванням розплаву в вакууматора фірми Mannesmann Demag. Застосовуючи ці технології, ДСС отримує злитки вагою від 0,6 до 7,4 тонн і листові злитки вагою від 8,9 до 14,7 тонн.

У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч ємністю 4 тонни. Для виробництва більш ніж 30 марок швидкорізальної та інструментальної сталі, що задовольняє вимогам стандартів ГОСТ, DIN, ASTM. Застосовується процес ASEA - STORA: холодне і гаряче ізостатичне пресування при температурі 1100-1150°C і тиску 1000 атм.

Сталеплавильний цех №5 обладнаний печами ЕШП і ВДП різної ємності, що дозволяють виробляти зливки вагою 0,9-6,0 тонн і листові злитки вагою 9,3 - 20,0 тонн [18. 10].

Технологія ЕШП передбачає переплав із застосуванням хімічно активного шлаку, що забезпечує отримання сталі і спеціальних сплавів, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: авіаційної, оборонної, а також теплової та атомної енергетики. Даний виробничий процес широко застосовується більшістю європейських виробників і дозволяє одержати сталь дуже високого ступеня чистоти. Американські виробники сталі віддають перевагу процесу ВДП, що дозволяє виробляти високочислих сталей з однорідною структурою для застосування в авіації, космонавтиці, медицині та інших відповідальних галузях промисловості [3].

Розлив сталі у виливниці відбувається 2 методами:

Зверху і сифоном.

Розлив сифоном має переваги:

- на одному піддоні відливають 4 - 6 злитки вагою 3 - 7 тонн і більше;

- є можливість регулювати швидкість розливу і спостерігати за розливом металу у виливниці;

- краща поверхня злитків;

- менші затрати на зачистку злитків і заготовок в 2.5 - 4 рази.

Недоліки сифонної розливки:

- зменшення введеного металу;

- збільшення витрат вогнетривких виробів;

- сумарні витрати праці на підготовку виливниць і на зачистку металу.

Для відливки виливниць використовують чугун. Стійкість виливниць від 50 до 100 наливів. Виливниці виходять з ладу через тріщини в наслідок високих термічних напруг [3].

Змінне обладнання для розливки.

Відкриті футеровані надставки мають найбільше використання. Вони складаються з чавунного каркасу футеровки. Підготовка надставки до плавки зводиться до підмазки її в гарному стані вогнетривкою масою з послідуною по краскою графітним розчином.

Сталерозливочний ковш.

Форма ковша - зрізаний конус. Об'єм ковша має бути таким, щоб прийняти виплавку. Надлишковий шлак зливають через брусок. Футирують ковші шамотним або високо вуглецевим вогнетривом. Товщина 80 і 120 внизу в залежності від ковша.

Виплавка сталі в установках для мелектрошлакового переплаву.

Електрошлакові печі, використовують принцип переплаву металу в водоохолоджуваних кристализаторах і в футерованих вогнетривами ємностях під шаром електропровідного флюсу (шлаку) призначені для виробництва злитків і фасонних виливків відповідального призначення. Сутність електрошлакового переплаву (ЕШП) полягає в перепаві литих, кованих або катаних витрачених електродів під шаром розплавленого шлаку, розігрівається пропускається по нього струмом до температури 1700-2000°C.

Завдяки спрямованій кристалізації, обробці хімічно активним шлаком і затвердіння в шлаковому гарнисажі, що формується при ЕШП злиток характеризується високою однорідністю структури, високою щільністю, низьким вмістом неметалічних включень і шкідливих домішок і гладкою поверхнею, що не вимагає додаткової механічної обробки. Високі службові характеристики металу ЕШП, конкуруючого в литому вигляді з кованим металом, забезпечують значне (до 2-3 разів) збільшення ресурсу роботи та надійності виробів відповідального призначення, починаючи від мініатюрних приладових підшипників до багатотонних роторів потужних генераторів, і обумовлюють широке застосування в різних галузях промисловості [10].

Вакуумно-дуговий переплав

При вакуумному дуговому переплаві під впливом високих температур, що виникають в зоні електричної дуги між переплавляємим електродом і піддоном кристалізатора, сталь на нижньому торці електрода розплавляється і краплі розплавленого металу падають у ванну, де під впливом охолодження кристалізатора формується злиток. До початку операції піч вакумують (залишковий тиск зазвичай не більше 1,33 Па); вакуумні насоси продовжують працювати протягом всієї плавки. Таким чином, краплі металу падають через вакуумований простір, при цьому забезпечується дуже повне очищення металу від газів, оксидних неметалевих включень (загальний вміст кисню знижується до дуже низьких меж), від деяких домішок кольорових металів і виходить щільний злиток [3].

Індукційні плавильні печі

Індукційні печі призначені для розплавлювання і перегріву сталі. Застосовується в ливарних цехах металургійних заводів, а також в цехах точного лиття та ремонтних цехах машинобудівних заводів для отримання сталевих виливків високої якості. Можлива плавка кольорових металів (бронзи, латуні, алюмінію) і їх сплавів в графітовому тиглі. Індукційна піч працює за принципом трансформатора, у якого первинною обмоткою є водоохолоджуваний індуктор, вторинної та одночасно навантаженням - що

знаходиться в тиглі метал. Нагрів і розплавлення металу відбуваються за рахунок протікають у ньому струмів, які виникають під дією електромагнітного поля, створюваного індуктором.

Технологія виробництва FeMn і SiMn

Марганцева руда використовується для феросплавів, в яких міститься від 10-82% марганцю, а також для чавунів, коли плавку ведуть з збільшенням сірки, щоб отримати якісний переробний чавун, що містить 0,7-0,8% марганцю [3].

2. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

2.1 Електротехнічне обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

В ПрАТ «Дніпроспецсталь» розташовуються багато цехів з різним навантаженням в мережі та різними споживаннями. Цехи та їх споживання електроенергії вказані на рис. 2.1[22].

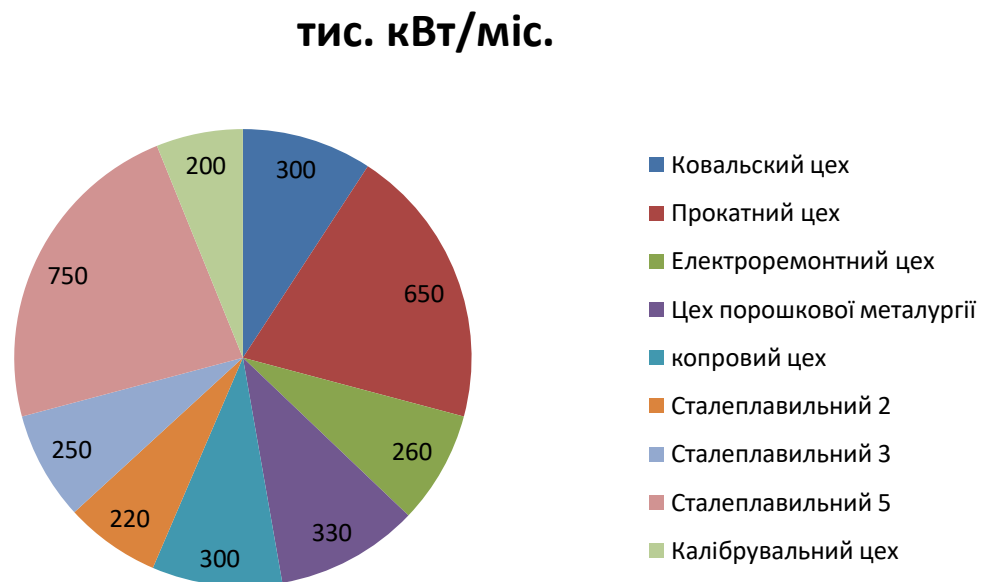


Рис. 2.1 Споживання електроенергії цехами ПрАТ «Дніпроспецсталь»

2.2 Електротехнічне обладнання сталеплавильного цеха №5

Відома установка ЕШП ОКБ-1065 що складається з колони, каретки, електродотримача і механізму переміщення каретки з тросовим приводом. Привід розміщений на нерухомій майданчику, розташованому на верху колони. Він складається з редуктора, електродвигуна і барабана, який охоплюється кількома витками вантажного троса. Трос одним кінцем прикріплений до контрвантажів, інший його кінець проходить через блок, на якому підвішена каретка, і закріплений на верхньому майданчику [18].

Недоліком відомої установки ЕШП є те, що вниз каретка опускається під власною вагою. Наприклад, при упирання електрода в метал, при «твердому старті» і триваючому обертанні приводу трос може зіскочити з блоку. [23].

Для усунення вищевказаного недоліку відомої установки ЕШП пропонується конструкція установки ЕШП, що складається з приводу переміщення, тросового барабана, контрвантажів, троса, тензодатчика, системи натягу. Відмітна особливість пропонованої установки ЕШП, що забезпечує її перевага перед відомими конструкціями, полягає в тому, що привід переміщення каретки розташований біля основи колони, з'єднаний з кареткою за допомогою замкнутого троса, один кінець троса проходить через систему блоків, розташованих у верхній частині колони, з'єднаний із затискачем, розташованим на каретці з боку електродотримача, а другий кінець з затискачем, розташованим на каретці з задньої (протилежної) сторони колони, при цьому зажим з передньої сторони каретки забезпечений тензодатчиком. Тензодатчик дозволяє контролювати зусилля, які сприймаються тросом, і при виникненні граничних навантажень зупинить привід, запобігши тим самим ймовірність падіння каретки, крім цього сигнал від тензодатчика можна використовувати в системі управління режимом плавки, безпосередньо визначаючи реальну швидкість плавки, а не

перераховувати її через лінійне переміщення електрода, як це робиться на переважній кількості установок ЕШП.

У-436, призначені для виробництва листових злитків ЕШП масою 9 ... 13 т за схемою заповнення стаціонарного кристалізатора.

КТП характеристика та марка якого наведена в таблицях 2.3, 2.5.

Механічна і електрична схеми реалізації процесу ЕШП, закладені в цих печах, прості і надійні, а технологія процесу стійка і забезпечує високу якість виплавлених слябів. Саме на підставі технічних і технологічних розробок, виконаних при створенні та експлуатації печей цього типу, згодом були створені 20- і 40-тонні листові печі ЕШП [22, 23, 24].

Вдалим рішенням при створенні цих печей було використання біфілярного електричної схеми підключення, яка розроблена в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. біфілярного схема харчування листової печі ЕШП передбачає застосування витрачаються електродів кратне двом. Струмопідведення трансформатора приєднані до двох електродів або більше (попарно) і основний струм проходить через шлак від одного електрода до іншого. На відміну від прямої схеми (електрод-шлак-піддон) біфілярного підключення забезпечує сприятливу тепловому середовищі в зливку і меншу глибину жідкометаліческім ванни.

Крім того, при біфілярного підключенні витрачаються електродів довжина струмоведучих ланцюгів зменшується, що дозволяє звести до мінімуму втрати в короткій мережі печі ЕШП. В результаті знижується витрата електроенергії і ефективно використовується для печей трансформатор.

Ці печі дозволяють і сьогодні переплавляти як електроди-сляби, так і електроди квадратного перетину, отримані прокаткою або на МБЛЗ, а також відлиті в спеціальні виливниці. Саме простота конструкції і експлуатації листових печей дозволила швидко освоїти широке промислове виробництво листових злитків масою до 20 т з конструкційних сталей відповідального призначення. Типи печей встановлених в СПЦ №5 вказані в таблиці 2.4.

Виплавку листових злитків проводили за однофазною біфілярною схемою в короткому кристалізаторі Т-подібного перетину із застосуванням двох або чотирьох електродів. В основу печі покладено ідею зустрічного руху електродів і кристалізатора. На печі виготовляли злитки-сляби товщиною до 700 мм [22, 15].

Таблиця 2.3 Технічна характеристика КТП

№	Найменування параметрів	Розмірність	Значення
1	Тип ТМЗ-1000		
2	Потужність встановленого силового трансформатора	кВА	1000
3	Номінальна напруга на стороні ВН	кВ	10(6)
4	Номінальна напруга на стороні НН	кВ	0,4 - 0,23
5	Струм термічної стійкості на стороні ВН	кА	10
6	Струм електродинамічної стійкості на стороні ВН	кА	25
7	Габаритні розміри		
	довжина	мм	4380
	ширина	мм	2250
	Висота (кабельне введення/ повітряний ввід)	мм	2425/4500
8	Кількість ліній що відходять	шт	7
9	Втрати короткого замикання	кВт	11.6
10	Втрати холостого ходу	кВт	2.75

Підстанція встановлюється на цегельний або бетонний фундамент, виготовлений з урахуванням габаритних розмірів КТПНУ. З'єднання між собою - болтове. Підключення силових трансформаторів виконується кабельними перемичками (гнучка ошиновка).

Споживання електроенергії цехом СПЦ №5 визначається за формулою:

$$W = n \cdot P \cdot t$$

та наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Споживачі електроенергії

№	Споживач - використання	Кількість, шт	Потужність, Р кВт	Час роботи, t год/рік	Електроенергія, W тис кВт год
1	2	3	4	5	6
1	Електрошлаковий переплав, ЕШП ОКБ-1065	9	2500	8760	197100000
2	Електрошлаковий переплав, ЕШП ОКБ-905	3	1000	4380	13140000
3	Вакуумно дуговий переплав ВДП ДСВ-6,3	5	2524	8760	110551200
4	Вакуумно дуговий переплав ВДП ДСВ 3,2	2	1236	4380	10827360
5	Аир 315 М8	10	110	4380	4818000
6	Аир 280 М8	10	75	4380	3285000
7	Аир 200 L6	15	30	8760	3942000
8	Аир 160 М2	24	18.5	8760	3889440
9	Аир 160 М6	35	15	8760	4559000
10	Аир 132 М2	96	11		

Таблиця 2.2 - КТП розташовані в СПЦ №5

№	Марка КТП	Потужність кВт
1	2	3
1	КТП-225/1 ТМЗ-1000	1000
2	КТП-225/1 ТМЗ-1000	1000
3	КТП-226/1 ТМАФ-1000	1000
4	КТП-226/2 ТМАФ-1000	1000
5	КТП-227/1 ТМАФ-1000	1000
6	КТП-227/2 ТМАФ-1000	1000
7	КТП-228/1 ТМАФ-1000	1000
8	КТП-228/2 ТМАФ-1000	1000
9	КТП-244/1 ТМЗ-1000	1000
10	КТП-244/2 ТМЗ-1000	1000
11	КТП-245/1 ТМЗ-1000	1000
12	КТП-245/2 ТМЗ-1000	1000
13	КТП-246/1 ТМАФ-1000	1000
14	КТП-246/2 ТМАФ-1000	1000
15	КТП-243/1 ТМЗ-1600	1000
16	КТП-243/1 ТМЗ-1600	1000

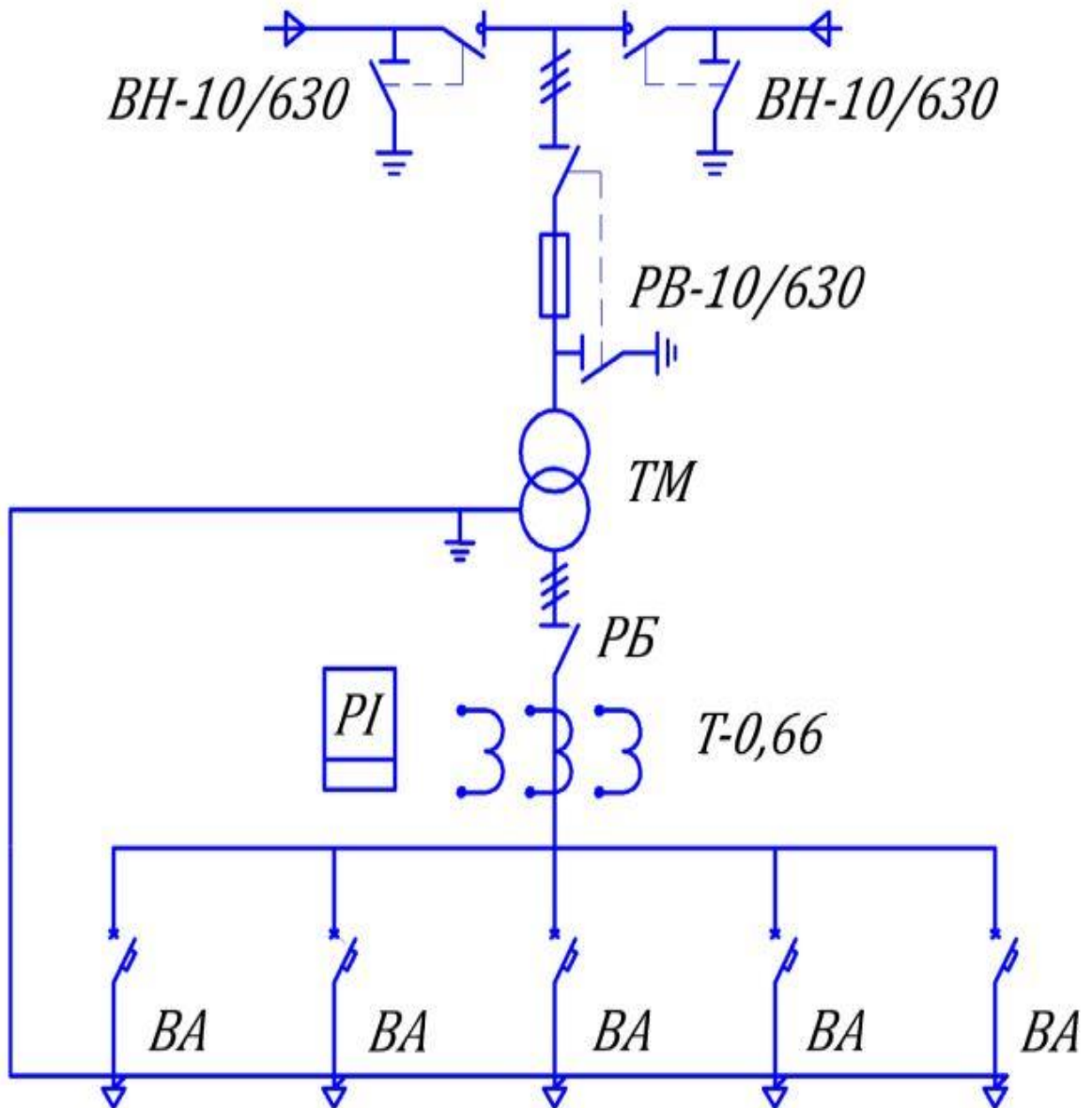


Рисунок 2.6 - Однолінійна схема КТП

Комплектна трансформаторна підстанція (далі КТП) з кабельним введенням на стороні вищої напруги і кабельним виводом на стороні нижчої напруги, потужністю 1000 кВА призначена для прийому електроенергії змінного трифазного струму промислової частоти, напругою 10кВ, перетворення її в електроенергію напругою 0,4 кВ і постачання нею споживачів однолінійна схема показана на рисунку 2.6[23].

КТП призначена для експлуатації на відкритому повітрі в умовах помірного клімату при граничних значеннях температури навколишнього середовища від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Навколишнє повітряне середовище не повинна містити парів, пилу і газів в концентраціях, що руйнують метали, ізоляцію і покриття підстанції [22,23, 24].

2.3 Обсяги споживання електроенергії за останній рік

Протягом останніх років переважною більшістю суб'єктів Оптового ринку електричної енергії України (ОРЕ) в промислову експлуатацію запроваджено автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Це дозволило автоматизувати процеси отримання та оброблення точних та достовірних даних щодо обсягів купівлі-продажу електроенергії в ОРЕ та суттєво скоротити обсяги ручних операцій при проведенні комерційного обліку електроенергії [18].

Данні по споживанню електроенергії ВБД та ЕШП показані на рисунках 2.7 та 2.8

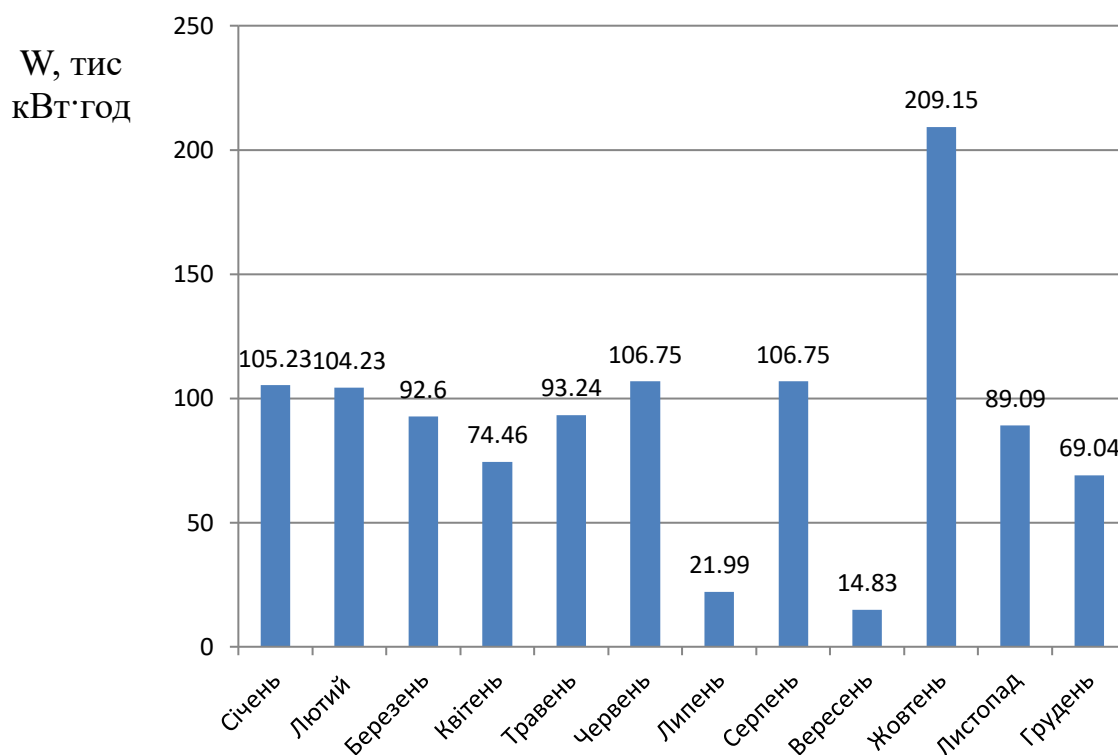


Рисунок 2.7 - Споживання електроенергії ВДП за 2019 рік

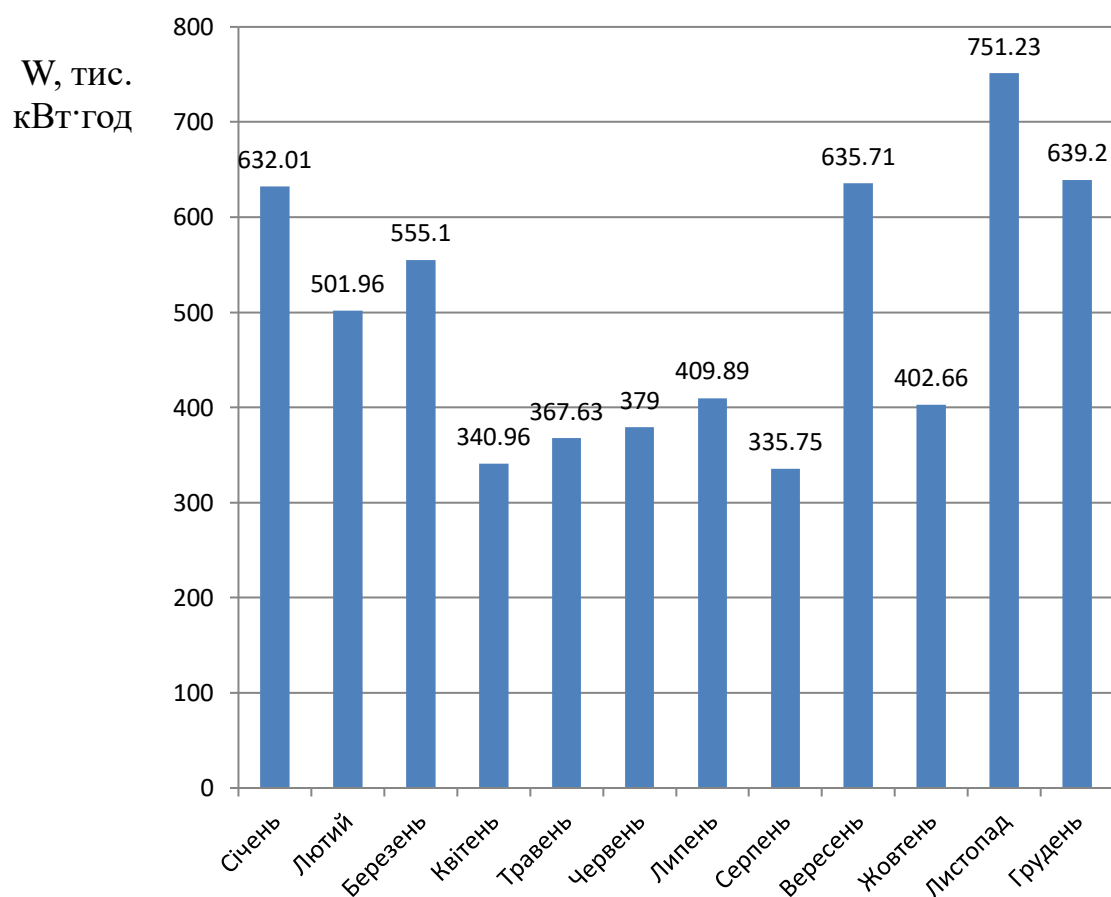


Рисунок 2.8 Споживання електроенергії ЕШП за 2019 рік

Стару термінологічну базу, успадковувати з часів СРСР, швидко поповнюється або витісняється новими термінами з явно вираженою англійською мнемонікою. Ми знаходимося на відрізку часу, де стрімке дію прогресу закриває цілі області, існували раніше, і створює нові [18].

Енергетичні кордону наших держав зсередини і зовні сьогодні відкриті для неледачих і кмітливих людей - саме вони не потребують контролю і зниженні непродуктивних і нерациональних витрат енергоносіїв.

На діаграмах 2.7 та 2.8 показано, що використовуються печі ЕШП більше ніж ВДП (на ЕШП виплавляються більш важливіша продукція) [18].

У дослідженнях, в якості основних технологічних і енергетичних факторів, що впливають на витрату електроенергії в ЕСПЦ, виділялися такі показники, як середньозважена встановлена потужність печі по ЕСПЦ, частка гарячих простоїв, питома витрата кисню, середня тривалість плавки, середня вага однієї плавки, частка вуглецевої сталі в сортаменті. У проведеному нами дослідженні зі складу можливих чинників були виключені середньозважена встановлена потужність печі і питома витрата кисню (в зв'язку з низькою варіацією його значень в спостережуваному періоді). Крім того, у зв'язку зі значним зменшенням в даний час рівня використання виробничих потужностей сталеплавильних печей в порівнянні з 1960-ми роками, а також завдяки наявності на підприємстві відповідного обліку, в модель як екзогенної змінної додатково було включено тривалість межплавочного простою печі.

3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ПРИ ЗНИЖЕННІ ЯЕЕ

3.1 Вплив ПЯЕЕ

Контроль ПЯЕ здійснюється з метою перевірки відповідності показників нормам ГОСТ 13109-97, а подальший аналіз ЯЕ – визначення винної сторони. При невідповідності ПЯЕ нормативним вимогам на підставі результатів контролю встановлюються причини невідповідності і розробляються заходи, спрямовані на нормалізацію параметрів якості. Результати контролю дозволяють також перевірити відповідність проектних розрахунків фактичним даним експлуатації, розрахувати параметри технічних засобів, призначених для поліпшення ПЯЕ, а також розробити необхідні експлуатаційні заходи режимного характеру.

Визначення показників якості електричної енергії задача нетривіальна, тому що більшість процесів, які відбуваються в електричних мережах швидкоплинні, усі нормовані показники якості електричної мережі повинні бути заміряні – їх необхідно розрахувати, а кінцеве значення можна визначити тільки за статичними опрацьованими результатами.

Максимальний потік вимірювань потрібен для визначення несинусоїдальної напруги. Для визначення всіх гармонік до 40-ї включно і всіх допустимих похибок потрібно робити вимірювання миттєвих значень міжфазних напруг. Для визначення винної сторони одночасно вимірюються миттєві значення струмів і фазовий зсув між напругою та струмом, тільки у цьому разі можна визначити з якої сторони і якої величини зроблена та чи інша перешкода [9].

Контролювати якість електричної енергії треба за допомогою сертифікованих приладів забезпечуючих вимірювання та розрахунок всіх необхідних параметрів, для визначення і аналізу якості електричної енергії.

ГОСТ встановлює періодичність контролю якості електроенергії раз в два роки для всіх ПЯЕ та два рази в рік для відхилення напруги.

Існують задачі безперервного моніторингу якості електроенергії, які вимагають включення приладів якості до АСКОЕ. Між іншим є лічильники електроенергії, прилади якості та білінгової системи, які розраховують суму необхідну до оплати і надбавок за якість[9].

Контроль ЯЕ роблять на границі розподілу балансової приналежності електричних мереж енергопостачальної організації і споживача, в інших пунктах мережі, прийнятих за узгодженням між енергопостачальною організацією і споживачем, в експлуатаційних режимах відповідних нормальній і тривалій ремонтних схемам електропостачання.

ГОСТ 13109-97 рекомендує встановлювати загальну тривалість вимірів усіх ПЯЕ за винятком провалів напруги, імпульсів напруги і тимчасових перенапруг 7 діб з обов'язковим включенням у цей період характерних робочих і вихідних днів, але не менш 24 год.

3.2 Електро-магнітна складова

Електромагнітна складова визначається в основному зміною втрат активної потужності та відповідною зміною строку служби ізоляції електроустаткування. При цьому збитки, пов'язані з несинусоїдальністю, несиметрією і коливанням напруги, будуть рівні нулю при синусоїдальності та симетрії системи лінійних напруг і відсутності коливань напруги у мережі; при відхиленнях напруги збитки приймаються рівними нулю при напрузі, яка дорівнює оптимальній.

Електромагнітна складова при несиметрії напруги визначається збільшенням втрат активної потужності та споживання активної та

реактивної потужностей, інтенсифікацією процесу старіння ізоляції електроустаткування, недовиробкою конденсаторним устаткуванням та синхронними машинами реактивної потужності, необхідністю збільшення номінальних потужностей електродвигунів і трансформаторів, перерізів кабелів та дротів, зниженням освітлення робочих поверхонь та скороченням строку служби світильників [9].

Розрахував параметри, які характеризують несиметрію напруги, значення відхилень напруги від оптимальної для даного виду установок напруги, можливо визначити технологічну складову збитків, пов'язаних зі зниженням продуктивності установок. Знайдено, що зв'язок між параметрами, які характеризують роботу рудно-термічної печі, і коефіцієнтом зворотної послідовності напруги K_{2U} подається поліномом другої степені:

$$G_{\Pi} = aK_{2U}^2 + bK_{2U} + c \quad (3.1)$$

$$W_{уд} = dK_{2U} + eK_{2U} + g \quad (3.2)$$

де G_{Π} – значення продуктивності т/сут; $W_{уд}$ удільної витрати електроенергії, т/(кВт/ч); a, b, c, d, e, g – коефіцієнти, які залежать від типу печі та марки продукції, що випускається.

В основу розрахунку електромагнітної складової збитків, які обумовлені несиметрією напруги, покладено визначення додаткових утрат потужності та скорочення строку служби ізоляції електроустаткування. За розрахунками збитків, які обумовлені додатковим тепловим старінням ізоляції, відносно скорочення строку служби ізоляції подається відповідним відносним збільшенням відрахувань на реновацію електроустаткування [9].

При проектуванні систем електропостачання підприємств належність несиметрії напруг викликає необхідність роботи вибір елементів мережі по найбільш завантаженій фазі, що приводить до деякого збільшення розрахункових значень потужностей трансформаторів, перерізів дротів ПЛ та кабелів. Однак при реально спостережених значеннях коефіцієнту несиметрії

з урахуванням дискретності шкал номінальних потужностей трансформаторів та перерізів кабелів таке збільшення практично не потребується.

При несинусоїдальності напруги електромагнітна складова визначається:

- а) збільшенням утрат активної потужності;
- б) збільшенням споживання активної та реактивної потужностей;
- в) прискоренням старіння ізоляції електроустаткування;
- г) обмеженням області застосування конденсаторних батарей для збільшення коефіцієнту потужності.

3.3 Технологічна складова оцінка збитків

Технологічна складова збитків викликається впливом якості напруги на продуктивність технологічних установок та собівартості продукції, що випускається.

Технологічно складова виникає в основному у результаті зниження продуктивності однофазних електротермічних установок, увімкнених на знижену (по зрівнянню з номінальною) фазну (лінійну) напругу.

Значення технологічної складової в електротермічних установках залежить від виду споживача та, як правило, визначається з урахуванням особливостей конкретного виробництва [9].

Технологічна складова виникає в результаті:

- а) збільшення собівартості продукції за рахунок збільшеної витрати електроенергії при неможливості застосування конденсаторних установок для збільшення коефіцієнту потужності;

б) зниження надійності роботи елементів мережі з-за збільшення імовірностей виникання однофазних замикань на землю у мережах 6-10 кВ та переходу їх у багатofазні короткі замикання на землю;

в) збоїв у роботі систем імпульсно-фазового управління тиристорними перетворювачами приводів технологічних установок.

Як уже було позначено, при установці конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності у мережах 0,4; 6 чи 10 кВ у випадку несинусоїдальної напруги виникає резонанс струму у ланцюзі батареї конденсаторів-мережа на частотах вищих гармонічних; це практично у всіх випадках призводить до перевантаження конденсаторів по струму та потужності та виходу з ладу. В результаті цих явищ виявляється неможливою нормальна експлуатація конденсаторних установок без вживання спеціальних заходів, націлених на усунення перевантаження конденсаторів. При цих умовах можливі два випадки: конденсаторні установки вимкнені; конденсаторні установки захищені спеціальними встановленими реакторами для запобігання виникнення резонансних режимів на вищих гармонічних частотах.

Для зменшення технологічної складової збитку при виробництві целюлози необхідно підтримувати напругу на затисках електродвигуна в межах номінального; ВН повинно бути не більше $\pm 2,5\%$.

Технологічна складова збитку при ВН на електроприводах напруги папероробної машини, що працює із швидкістю 500 м/хв і більше, з достатнім ступенем точності визначається з виразу, тис. USD:

$$Y_{т.б} = -0,3 - 0,2\Delta U \quad (3.3)$$

Залежність $Y(\Delta U)$ визначає так звану економічну характеристику електрифікованого виробництва або його ділянки. Функція $Y(\Delta U)$ має мінімум, відповідний оптимальному значенню ΔU : це значення у всіх випадках знаходиться в межах, регламентованих ГОСТ 13109-97 [9].

Основну частину збитку, що викликається ВН і несиметрією напруги, представляє технологічна складова (90-92%). Електромагнітна складова

збитку, обумовленого наявністю несиметрії, несинусоїдальності та КН, параметри яких не перевищують ГДЗ, невелика для крупних металургійних і хімічних заводів сума щорічного збитку не перевершує декількох десятків тисяч доларів. Різке збільшення збитку відбувається при перевищенні допустимих значень ПЯЕ [9].

До кількості технологічних складових відносяться підвищення собівартості продукції за рахунок збільшення питомої витрати ЕЕ при неможливості застосування БК, зниження надійності елементів мережі через збільшення вірогідності виникнення однофазних замикань на землю в мережах 6-10 кВ і їх переходу в двофазні.

При використанні програмованого електронного устаткування ПН можуть викликати брак продукції не тільки за рахунок зупинки устаткування, але і за рахунок збою в програмі, що в деяких випадках приносить більший збиток, ніж зупинка, оскільки брак можливо знайти лише у самому кінці технологічного процесу або вже у споживача, що переробляє продукцію.

Технологічну складову збитку можна одержати аналогічно електромагнітним складовим. Ця складова складається з наступних компонентів:

- 1) збитку від одержуваного браку (відходів) $У_{отх}$;
- 2) збитку від недовипуску продукції, представленого у вигляді недоотриманого прибутку $У_{приб}$;
- 3) збитку від додаткової витрати сировини, заробітної платні, допоміжних матеріалів і всіх видів енергоресурсів, окрім електроенергії $У_{доп}$.

3.4 Правові питання

В умовах ринкової економіки (або переходу до ринку) значущість правового регулювання взаємостосунків суб'єктів енергоринку

(енергозабезпечуючих організацій, споживачів та ін.) має важливе значення. Це обумовлює необхідність створення правової бази для вирішення питань нормалізації ЯЕ, а також юридичних механізмів для реалізації вимог основних документів – стандартів на ЯЕ. Очевидність цих положень витікає з їх величезних сум щорічних збитків, що обумовлені «поганою ЯЕ» (наприклад, десятки млрд. доларів на рік).

Оцінка пайового внеску споживача в погіршення ЯЕ є одним з основних чинників фінансового регулювання взаємостосунків постачальника і споживача (абонента) ЕЕ. Електроенергія, що відпускається постачальником – енергозабезпечуючою організацією (як правило, ЕС), є товаром, якість якого оцінюється за допомогою ряду показників. Споживачі ЕЕ, що володіють нелінійними, несиметричними і різкозмінними електроприймачами, вносять певний внесок в погіршення ЯЕ, тобто додаткова кількість ЕМП в точці підключення споживача до мережі (шинам) енергозабезпечуючої організації. Наявність економічних взаємостосунків між постачальником і споживачем ЕЕ має на увазі відповідальність споживача за погіршення ЯЕ в розмірах, залежних від його пайового внеску в погіршення ЯЕ. Очевидно при оцінці пайового внеску споживача повинна відніматися частина, обумовлена зниженням ЯЕ з боку ЕС.

Оцінка пайового внеску конкретного споживача дозволяє формувати вимоги до знов підключуючихся споживачів, а також застосовувати штрафні санкції у вигляді знижок і надбавок до тарифів на ЕЕ.

Оцінка пайового внеску в зниження ПЯЕ на межі розділу мереж постачальника і споживача, тобто в точці загального з'єднання мереж, як правило, є багаточинниковою задачею з елементами невизначеності. Це обумовлено складним і нестабільним характером ряду параметрів. Очевидно, що обмеження несинусоїдальності, несиметрії та КН з боку споживача або ЕС є одним з основних заходів, що забезпечують необхідні значення ПЯЕ в ТПС. У тих національних стандартах, в яких нормуються допустимі рівні окремих ВГ і $k_{нс}$ та ін., визначення пайового внеску є необхідним [9].

Основні положення і методика розрахунку внеску споживача по рівнях ПЯЕ в ТПС згідно нормативному методу полягає в наступному:

1. Одним з головних положень методу є допущення про рівний внесок кожної групи споживачів, в значення ПЯЕ в ТПС. В цьому випадку допустимий розрахунковий внесок (ДРВ) кожної сторони визначається по виразу

$$P_p = P_n \alpha \sqrt[2]{2} \quad (3.4)$$

Де P_n – нормоване значення ПЯЕ; α – коефіцієнт, що визначає спосіб підсумовування ПЯЕ від різних джерел, його значення різне для різних типів устаткування.

2. Допустимий внесок конкретного споживача визначається по формулі

$$\Delta P_o = P_p d_n^{1/a} \quad (3.5)$$

де d_n – частка максимального навантаження споживача (тобто 30-хвилинного максимуму) в максимальній потужності, яка може бути передана через підстанції. Значення ДРВ (позначені P_p) даються окремо для різних ПЯЕ залежно від номінальної напруги в ТПС.

Розрахункові вирази для ΔP_o приводяться для кожного ПЯЕ.

Значення ΔP_o не повинні перевершувати деякої величини $\beta = 0,92 \dots 1,88$ в нормальному режимі (максимальні значення в 2 рази більше):

$$\Delta P_o \leq \beta \quad (3.6)$$

При розрахунку на стадії проектування виконання цієї умови дозволяє реалізувати приєднання споживача до мережі загального призначення за умов впливу на ЯЕ.

Інший підхід до визначення пайового внеску споживача і його відповідальності перед постачальниками ЕЕ запропонований в [9]. Він заснований на введенні принципово інших ПЯЕ (автором вони названі «показниками погіршення ЯЕ»), які характеризують потужність (і енергію)

відповідних ЕМП. Наприклад, коефіцієнт несинусоїдальності і коефіцієнти гармонік визначаються потужністю спотворення T_{nc} .

k_{nc} - визначається таким чином.:

$$k_{nc} = z_k \frac{U_1}{U_{ном}} T_{nc} \quad (3.7)$$

Відповідальність і-го приймача перед постачальником за збиток, що завдається, складає

$$O_i = W_{ст.і} - W_{пр.і} \quad (3.8)$$

де $W_{ст.і}$ і $W_{пр.і}$ - стічна (по термінології автора [9]) потужність спотворення, поточна від споживача в ЕС, і приточна, поточна у зворотньому напрямі.

Відповідальність має місце, якщо $O_i > 0$.

Упровадження цього підходу жадано, якщо надалі буде визнана його доцільність, розробки нової системи розрахунку і вимірювань ПЯЕ. Також затверджується доцільність даного підходу з метою коректування «Правил».

Достатньо просто визначити пайовий внесок споживачів в рівень несиметрії можна розрахунковим шляхом, якщо відомі взаємні опори зворотної послідовності між точкою підключення несиметричного навантаження і ТПС:

$$d_{ai} = \frac{I_{2i} z_{2(i-ТПС)}}{\sum_{i=1}^n I_{2i} z_{2(i-ТПС)}} \quad (3.9)$$

де I_{2i} - струм зворотної послідовності і-го споживача; $z_{2(i-ТПС)}$ - взаємний опір зворотної послідовності між точкою підключення і-го споживача та ТПС.

Оплата за тарифом із знижкою або надбавкою за ЯЕ робиться за весь об'єм ЕЕ, яка відпущена (спожита) за розрахунковий період.

Загальна формула для визначення розміру тарифної ставки (% від вартості ЕЕ, яка була спожита за розрахунковий період) має вигляд

$$H=0,2(T1-5)+T2, \quad (3.10)$$

де T_1 , – час у відсотках від тривалості розрахункового періоду, у продовж якого ЕЕ споживалась в зонах між нормально допустимими та гранично допустимими значеннями ПЯЕ; T_2 – час у відсотках, коли ЕЕ споживалась за гранично допустимими значеннями ПЯЕ.

3.5 Оцінка економічних збитків

Економічні характеристики електричного устаткування, характеризуються кількістю і якістю продукції, що випускається, яка суттєво залежить від якості електроенергії у системах електропостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь».

При проектуванні та експлуатації систем електропостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь» для вірного вибору методів та засобів покращення якості електроенергії може стати необхідним розрахувати економічні збитки, викликані неякісною електроенергією. Необхідність визначення збитків виникає також для обґрунтування припустимих значень показників якості електроенергії (ПЯЕ) при корекції існуючих та розробці нових стандартів на ЯЕ [9].

У загальному вигляді значення економічних збитків при відсутності коливань напруги виражаються безперервними та функціями, які диференціюються відповідних ПЯЕ по нарузі. При відсутності взаємного зв'язку між окремими ПЯЕ, обумовлений кожним з них, може бути зображений степінним поліномом відносно відповідного показника:

$$Z = \sum_{s=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^3 [a_{sk}^{(e)} + a_{sk}^{(t)}] \Delta U^k + \sum_{p=1}^2 [b_{sp}^{(e)} + b_{sp}^{(t)}] K_{2U}^p + \sum_{l=1}^2 \sum_{v=2}^n [C_{sv}^{(e)} \lambda + C_{sv}^{(t)} \lambda] U \cdot^2 \right\}, \quad (3.11)$$

де $a_{sk}^{(e,t)}$, $b_{sp}^{(e,t)}$, $c_{sv}^{(e,t)}$ ℓ -коефіцієнти, що визначаються електромагнітними (е) та технологічними (т) параметрами

електроустаткування s-го вигляду чи ділянки технологічного потоку чи виробництва; ΔU , K_{2U} , U_{ν^*} , - значення відхилення напруги, коефіцієнту зворотної послідовності напруги та ν -й гармонічної складової у відносних одиницях [9].

3.6 Розрахунок збитків

Розрахуємо гармоніки 5, 7, та 11.

$$Z = n(250T^{(a,d)}P_{\text{м.ном}}^{(a,d)} + 8K^{(a,d)})\left(\frac{U_5^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{U_7^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{U_{11}^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta \quad (3.12)$$

де n кількість двигунів ($P \geq 100$ кВт), T кількість годин на рік, K вартість тис. грн. данні двигуни вказані в таблиці 2.1

$$Z = 10(250 \cdot 8760 \cdot 0.25 + 8 \cdot 55)\left(\frac{0.4^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{0.05^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{0.035^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta = 118 \text{ тис.грн}$$

$$Z = n(250T^{(a,d)}P_{\text{м.ном}}^{(a,d)} + 4K^{(a,d)})\left(\frac{U_5^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{U_7^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{U_{11}^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta \quad (3.13)$$

де n кількість двигунів ($P \leq 100$ кВт), T кількість годин на рік, K вартість тис. грн. данні двигуни вказані в таблиці 2.1

$$Z = 180(250 \cdot 8760 \cdot 18 + 4 \cdot 108100)\left(\frac{0.4^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{0.05^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{0.035^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta = 851 \text{ тис. грн}$$

$$Z = n(610T^{(ц,т)}P_{\text{м.ном}}^{(ц,т)} + 1.2K^{(ц,т)})\left(\frac{U_5^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{U_7^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{U_{11}^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta \quad (3.14)$$

де n кількість цехових трансформаторів ($P \geq 630$ кВА), T кількість годин на рік, K вартість тис. грн. данні двигуни вказані в таблиці 2.1

$$Z = 11(610 \cdot 8760 \cdot 14.35 + 1,2 \cdot 200000)\left(\frac{0.4^2}{5 \cdot \sqrt{5}} + \frac{0.05^2}{7 \cdot \sqrt{7}} + \frac{0.035^2}{11 \cdot \sqrt{11}}\right)\beta = 737 \text{ тис.грн}$$

Вид електроустаткування	Щорічний збиток при $\beta = 0,01$ USD/кВт.г та роботі протягом T тис. год/рік, USD/рік
$10 < P_{ном} \leq 100$ кВт	$(250T^{(a.d)} \Delta P_{м.ном}^{(a.d)} + 8K^{(a.d)}) \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}}$ $З = 118 \text{ тис.грн}$
$P_{ном} > 100$ кВт	$(410T^{(c.d)} \Delta P_{м.ном}^{(c.d)} + 4K^{(c.d)}) \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}}$ $З = 851 \text{ тис.грн}$
Цехові трансформатори $U_{ном} = 6 - 10/0,4$ кВ $S_{ном} \geq 630$ кВ*А	$(610T^{(y.m)} \Delta P_{м.ном}^{(y.m)} + 1,2K^{(y.m)}) \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}}$ $З = 737 \text{ тис.грн}$

У приведені наступні вирази для електромагнітних складових економічного збитку, пов'язані з несиметрією і несинусоїдальністю. [9, 14].

1. Збиток, обумовлений додатковими втратами активної енергії

$$Y_1 = 0,01 \cdot 3_i \sum_{i=1}^n \Delta P_i T_i \quad (3.15)$$

де 3_i - вартість 1 кВт*год втрат ЕЕ; ΔP_i - додаткові втрати активної потужності в i -ої групі однорідних елементів; T_i - кількість годин роботи в році i -ої групи однорідних елементів, год/рік; n - кількість даних груп однорідних елементів.

2. Збиток, обумовлений зменшенням терміну служби електроустаткування

$$Y_2 = \sum_{i=1}^n Z_i \left(\frac{\gamma_i}{1 + E_n} - \frac{1}{T_{ном.i}} \right) \quad (5.7)$$

Z_i - приведені витрати для i -ої групи; $\gamma_i = 1^{k_{\text{vet}}}$ - кратність зниження терміну служби для i -ої групи; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; $T_{ном.i}$ - номінальний термін служби для i -ої групи.

3. Збиток, пов'язаний з недовикористанням передаючих елементів

$$Y_3 = \sum_{j=1}^m (Z_j' - Z_j'') \quad (5.8)$$

де $\Delta Z_j = Z_j' - Z_j''$ - додаткові приведені витрати на посилення i -го передаючого елемента; m - кількість передаючих елементів в СЕП.

Збиток, пов'язаний з несиметрією і несинусоїдальністю напруг і струмів

$$Y_n = Y_1 + Y_2 + Y_3 \quad (5.9)$$

Результуюче значення електромагнітної складової збитку

$$Y = Y_n + Y_{отк} \quad (5.10)$$

де $Y_{отк}$ - збиток, обумовлений ВН.

Як правило, $Y_n \sim (0,3 \dots 0,4)Y$.

Як вже наголошувалося, технологічна складова збитку, пов'язаного з низькою ЯЕ, оцінюється по характеристиках конкретних виробництв. Так, розгляд електроспоживачів різних технологічних ділянок целюлозно-паперових підприємств показує, що «найчутливішою» до ВН є тільки частина технологічних механізмів зі всього потоку виробництва. У безперервному потоці виробництва целюлози такими механізмами є насоси високої концентрації. При ВН виникає технологічна складова збитку, тис. USD [9].

$$Y_{м.ц} = \frac{B n_c s_n k_z (1 - k_U^2) c_T t_T}{\beta} \quad (5.11)$$

де B - коефіцієнт, залежний від концентрації і ступеня щільності маси целюлози; $k_U = U/U_{ном}$ - кратність зниження напруги на затискачах двигуна

насоса; n_c - синхронна частота обертання, об/хв; k_s - коефіцієнт завантаження; s_n - ковзання; c_T - собівартість целюлози; t_T - час роботи потоку; β - передавальне число редуктора насоса.

3.7 Економічний ефект від впровадження фільтра симетричного пристрою

АФГ виконаний за схемою трифазного мостового інвертора з емнісним накопичувачем енергії (ЕНЕ) на стороні постійного струму з середньою точкою, і Т-подібним LCL - фільтром з боку змінного струму.

Основними негативними факторами при експлуатації сучасного електрообладнання є:

1. Гармонійні складові напруги, як правило, обумовлені нелінійними навантаженнями користувачів електричних мереж, що підключаються до електричних мереж різної напруги. Гармонійні струми, що протікають в електричних мережах, створюють падіння напруг на повних опорах електричних мереж. Гармонійні струми, повні опори електричних мереж і, отже, напруги гармонійних складових в точках передачі електричної енергії змінюються в часі [9].

Додаткові втрати - одне з найбільш негативних явищ, що викликається гармоніками в обертових машинах.

Найбільших збитків від вищих гармонік становить збільшення активних втрат і скорочення терміну служби ізоляції електродвигунів і силових трансформаторів.

2. Реактивна потужність. Вплив реактивної потужності на режими енергозбереження полягає в тому, що її наявність в елементах мережі збільшує значення повного струму і, відповідно, впливає на активні втрати електроенергії в даному елементі мережі.

3. Несиметрія. В електроустановках споживачів знаходять все більше застосування однофазні приймачі (великі електропечі, електронні апарати, освітлювальні прилади), що викликає несиметричний режим харчування. Несиметрія струмів обумовлює несиметрію напруги, яка в свою чергу призводить до виникнення додаткових фазних і міжфазних напруг.

Несиметрія тягне за собою появу вогнищ місцевих перегрівів роторів синхронних генераторів, небажані вібрації їх окремих вузлів, в лініях електропередачі і трансформаторах несиметрія знижує пропускну здатність трифазної системи, негативно впливає на роботу асинхронних двигунів, погіршує режим роботи випрямлячів, робить менш ефективним використання регулюючих і компенсуючих установок. При цьому створюються додаткові втрати активної енергії в мережах[9, 14].

Для компенсації вищих гармонік, викликаних дією навантаження, традиційно застосовувалися і застосовуються резонансні фільтри. Для енергетичних установок це, як правило, послідовні індуктивно-ємнісні резонансні ланцюга, налаштовані на відповідні номери гармонік. Зазвичай резонансні L-C фільтри налаштовуються на гармоніки з номерами $n = 5, 7, 11, 13$.

Такі фільтри випускаються, як правило, на значні струми і напруги, їх типоряд істотно дискретний. Для вибору таких фільтрів потрібна інформація про передбачуване спектрі компенсуються гармонік, величинах струмів по кожній гармоніці.

Використання резонансних фільтрів для компенсації широкого спектру вищих гармонійних складових призводить до невиправданого подорожчання і підвищення матеріаломісткості всієї установки. При цьому, номінальні характеристики фільтра можуть або не бути затребувані зовсім, або реальне навантаження буде генерувати спектр гармонік, на який не розраховувався фільтр, і вони не будуть належним чином компенсовані, так як пасивні фільтри не в змозі змінювати регульовані ними параметри в режимі « on-line »у різко змінюється електромагнітної обстановці.

Авторами розроблені активні фільтри гармонік (АФГ), здатні забезпечити заданий коефіцієнт потужності електроустановок і істотно поліпшити якість електроенергії на вході енергетичних комплексів потужністю до 10 МВт в режимі «on-line». Таким чином, АФГ може бути елементом SMART GRID.

АФГ є керованим джерелом струму, що підключається паралельно з навантаженням, що генерує вищі гармоніки (керовані випрямлячі, перетворювачі частоти, приводу електродвигунів, імпульсні джерела живлення). АФГ компенсує вищі гармонійні складові (ВГС) струму навантаження, генеруючи рівні їм по амплітуді, але протилежні по фазі струми, знижуючи, таким чином, коефіцієнт несинусоїдальності струму і напруги мережі [9].

Відповідно до призначення АФГ виконує наступні функції:

Компенсація ВГС до 50-ї гармоніки включно;

Вибір ступеня компенсації від 0 до 100% для окремих гармонік (від 2-ої до 50-ої);

Контроль перевантаження АФГ по току з подальшим автоматичним обмеженням потужності;

Забезпечення переходу в режим холостого ходу при малих токах навантаження.

Компенсація реактивної потужності (повної або до певного значення коефіцієнта потужності);

Споживання або генерація реактивної потужності індуктивного або ємнісного характеру певної величини;

Компенсації реактивної потужності при одночасній компенсації нелінійних спотворень;

Симетрування струмів навантаження в межах потужності АФГ;

Передача інформації про параметри енергії на вході АФ і параметри функціонування АФ в автоматизовану систему управління.

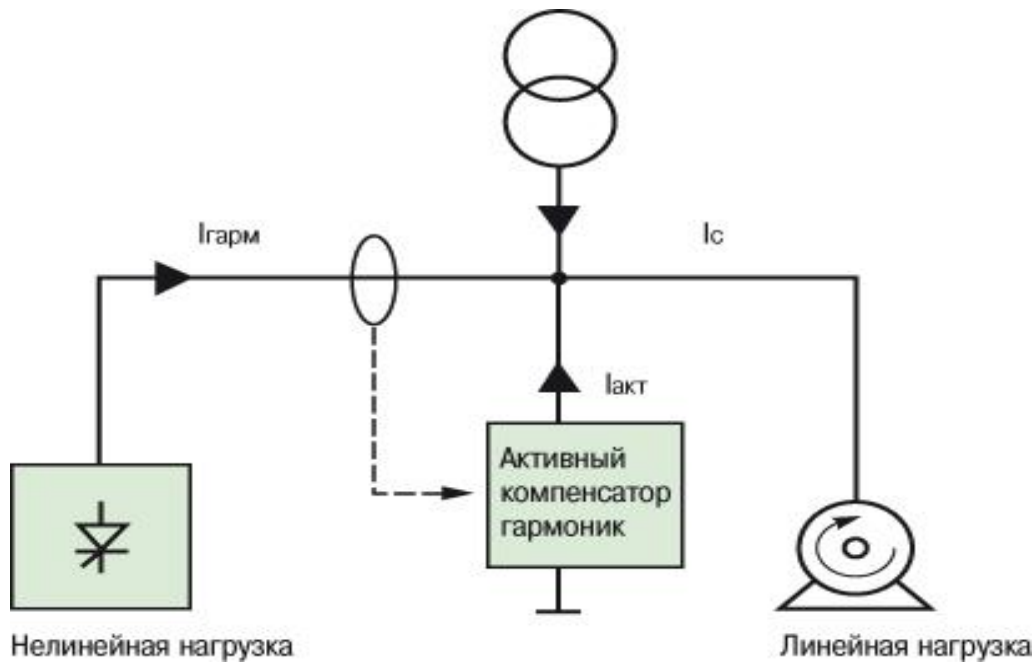


Рис 3.1 Принцип дії активного фільтра

Активний компенсатор гармонік генерує в розподільну мережу гармоніки, споживані відповідно нелінійним навантаженням, але з протилежною фазою. В результаті цього ток в мережі I_c залишається синусоїдальним.

Проблеми, що виникають із-за гармонік, - це, наприклад, перегрів трансформаторів (К-фактор) і обертових машин, перевантаження нейтралі, підвищені напруги між нульовим проводом і землею, вихід з ладу конденсаторних батарей, через спрацювання автоматичних вимикачів і запобіжників, неправильна робота електронного обладнання і генераторів, втрати енергії і втрати пропускної здатності мережі (неефективна передача енергії). Ці проблеми призводять до додаткових витрат, таким як більш високе споживання електроенергії, витрати через більш швидкого старіння обладнання, простой устаткування, підвищені витрати на технічне обслуговування і ремонт, а також до втрат через зниження якості продукції та продуктивності (наприклад, при збільшенні браку у виробництві напівпровідників) [9, 14].

Крім того, зміни в структурі генерації електроенергії в сторону використання енергії вітру і сонячних батарей, які теж генерують гармоніки, також призводять до того, що застосування фільтрів гармонік стає все більш важливим для забезпечення стабільного енергопостачання з прийнятною якістю електроенергії. В сучасних вітряних і фотоелектричних установках використовуються технології перетворення, які створюють гармоніки і вимагають застосування фільтрів гармонік. Вітроелектростанції чутливі до слабо демпфированим резонансам, які можуть привести до посилення гармонік в мережі і збільшити генерацію гармонік в вітроенергетичної установки. Допущення, прийняті при моделюванні гармонік, і відповідні методи непридатні для вітроелектростанцій, так як перетворювачі напруги не є ідеальними джерелами струму і великого значення набуває імпеданс мережі [9].

Можливі способи ослаблення гармонік - це, наприклад, збільшення струму короткого замикання мережі (зниження імпедансу мережі), обмеження продуктивності / кількості одночасно працюючих джерел гармонік, збалансоване підключення однофазних навантажень до трьох фаз і застосування обладнання з більшою пульсністю (наприклад, використання 12- або 18-пульсної частотного перетворювача замість 6-пульсної). Однак найбільш поширеними рішеннями є використання пасивного фільтра, що складається з комбінації конденсаторів, індуктивностей і опорів (RC, RL, LC, LCQ та інших), а також отримують все більш широке поширення активних фільтрів. Також застосовуються гібридні рішення (комбінації активних і пасивних фільтрів).

При використанні пасивного резонансного фільтра його схема налаштовується на певну частоту, тобто резонансні частоти послідовного фільтра дуже близькі до частот наявних гармонік. При проектуванні резонансного фільтра велике значення має ретельний аналіз навантаження і якості електроенергії, також дуже важлива величина імпедансу мережі

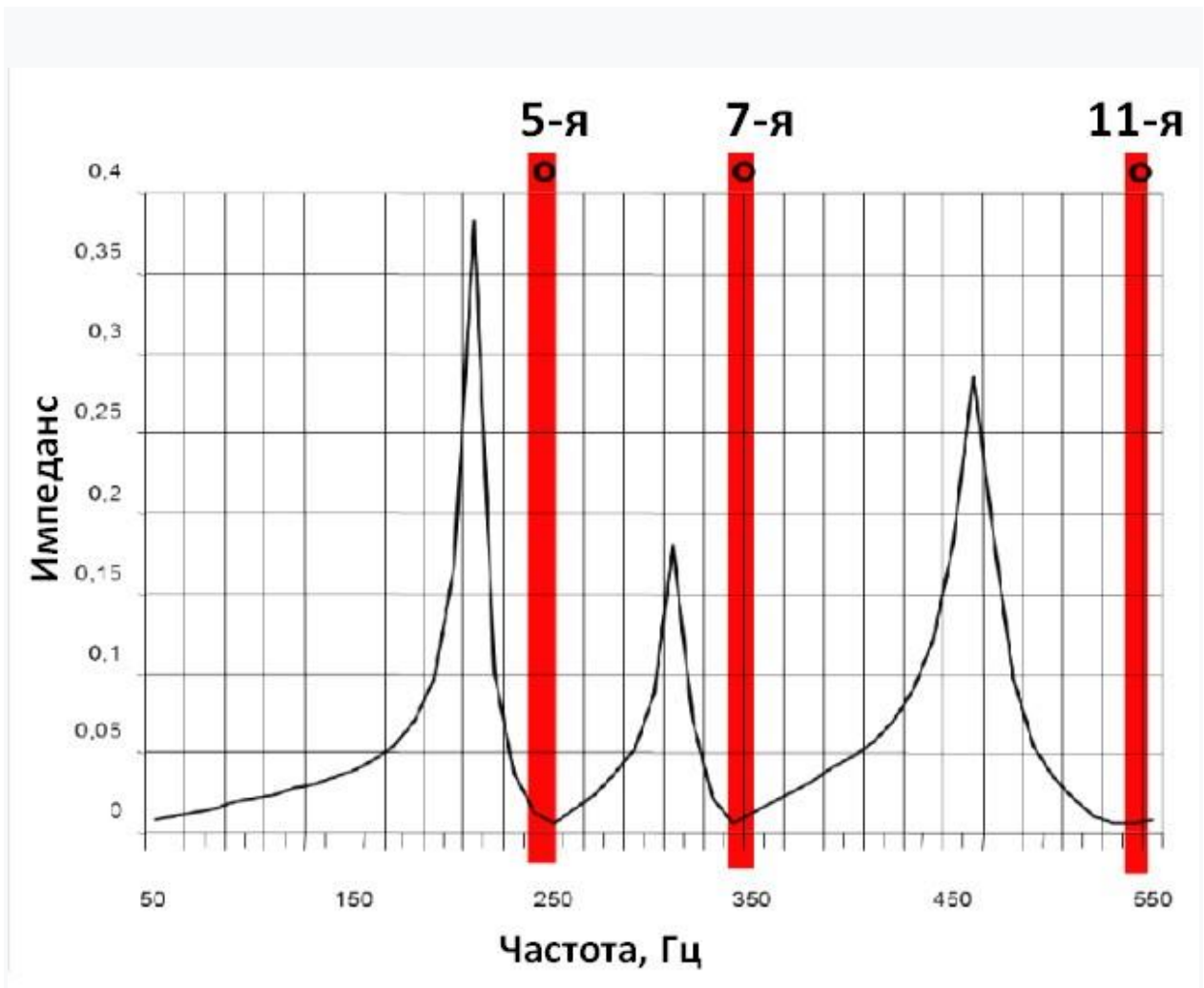
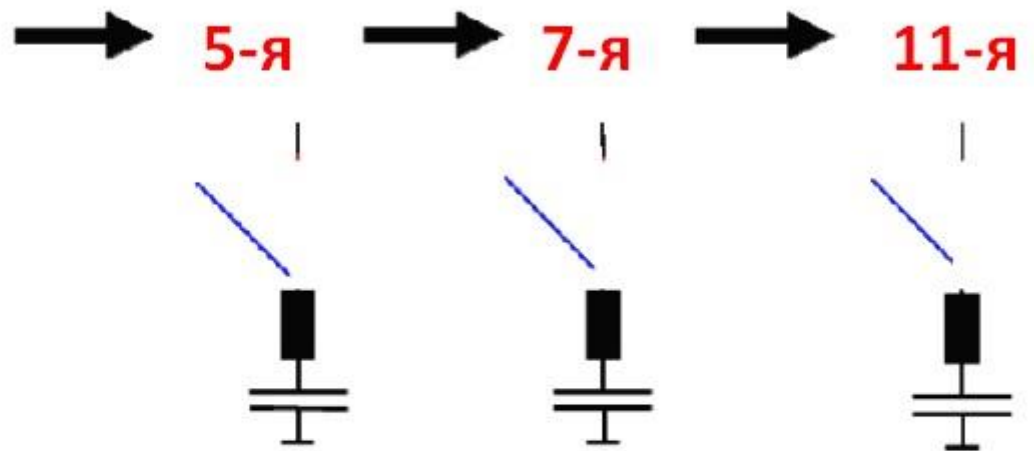


Рис 3.2 Залежність імпедансу шинопровода системи від частоти

Як показано на малюнку 3, для резонансної фільтрації важлива послідовність комутації, вона повинна слідувати правилу LIFO (останнім прийшов - першим вийшов), зворотне може привести до проблем [14].

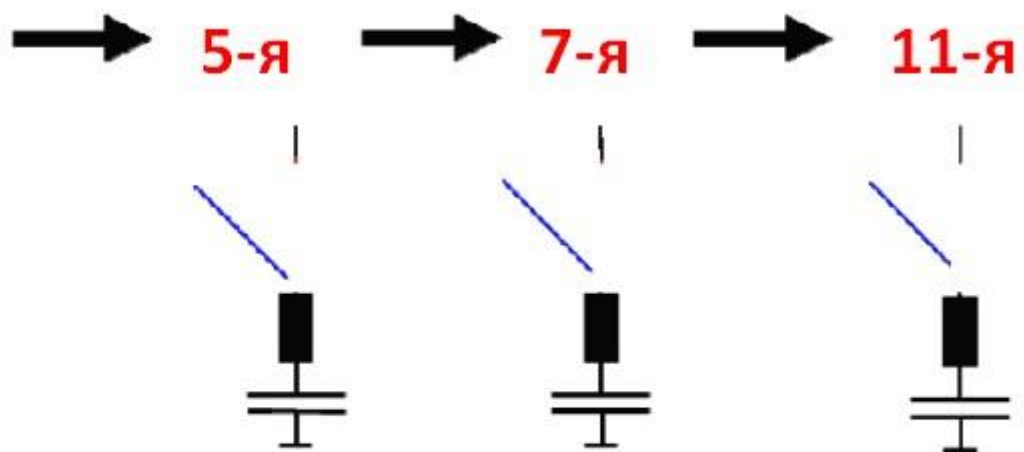
Включеніє



Отключеніє



Включеніє



Отключеніє



Рис 3.3 Послідовність комутації резонансних фільтрів відповідно до правила LIFO

Пасивні системи корекції коефіцієнта потужності можуть компенсувати лише кілька обраних гармонік. При певних умовах роботи мережі пасивні системи корекції коефіцієнта потужності мають тенденцію до резонансу і можуть перевантажитися. Активні фільтри призначені для зменшення рівня гармонік нелінійних навантажень і забезпечують високу динаміку змін реактивної потужності відповідно до потреби. Є різні базові структури активних фільтрів гармонік: послідовне підключення, паралельне підключення і їх комбінація. При паралельному підключенні фільтр являє собою джерело струму; спотворення зменшуються шляхом безпосереднього введення струму.

Перевагою паралельного підключення активного фільтра гармонік є простота модифікації наявних систем і масштабування для стандартних вимірювальних трансформаторів струму. Недоліком є те, що фільтр може впливати на напругу гармонік тільки побічно, а також те, що немає можливості буферизації напруги. При послідовному підключенні активний фільтр гармонік підключається до мережі через обмотку трансформатора. Перевага цього рішення полягає в тому, що можна безпосередньо впливати на напругу гармонік і зменшувати падіння напруги, так як в такій структурі фільтр діє як джерело напруги. Недоліками є значно більш висока вартість в порівнянні з паралельним (шунтувальним) підключенням, утрудненість модернізації наявних систем через необхідність послідовного трансформатора і витратність масштабування через наявність трансформатора [9, 14].

Незважаючи на технічні переваги послідовно підключаються фільтрів гармонік, найбільш часто використовуваних рішенням є застосування паралельних фільтрів через їх економічних переваг і переваг, пов'язаних з простотою модернізації існуючих систем і масштабування. У цій статті основну увагу приділяється паралельно підключається (шунтувальним) активним фільтрам гармонік. Принцип їх роботи полягає в активній генерації компенсуючого струму (ІАНФ) в протифазі з струмом гармонійних

спотворень навантаження (I_{Load}), взаємної компенсації цих струмів і отриманні в результаті струму синусоїдальної форми.

Відповідні гармонійні спотворення в точці підключення нейтралізуються, як показано на рис 3.4.

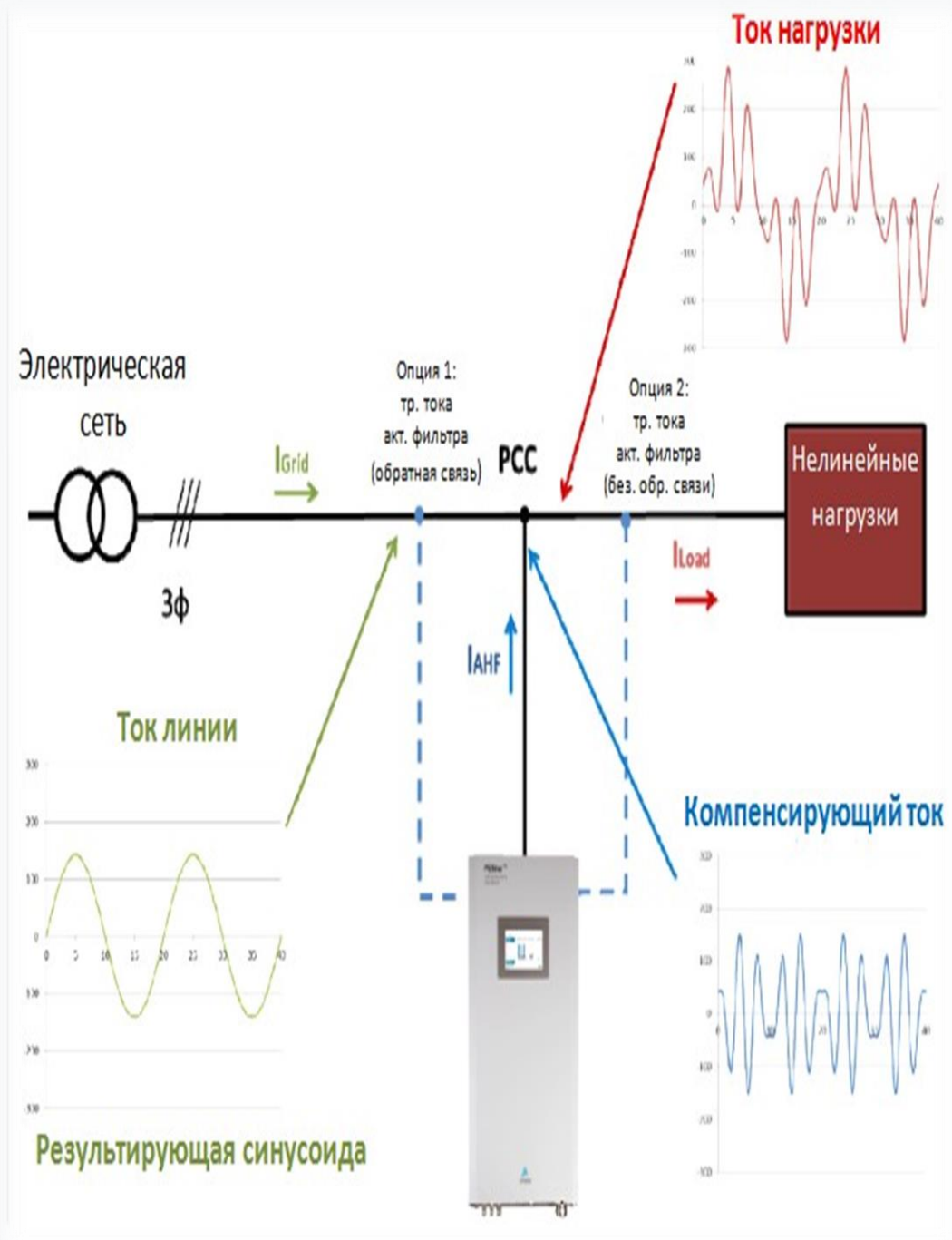


Рис 3.4 Принцип роботи шунтуючого активного фільтра



Рис 3.2 Активный фільтр гармоник

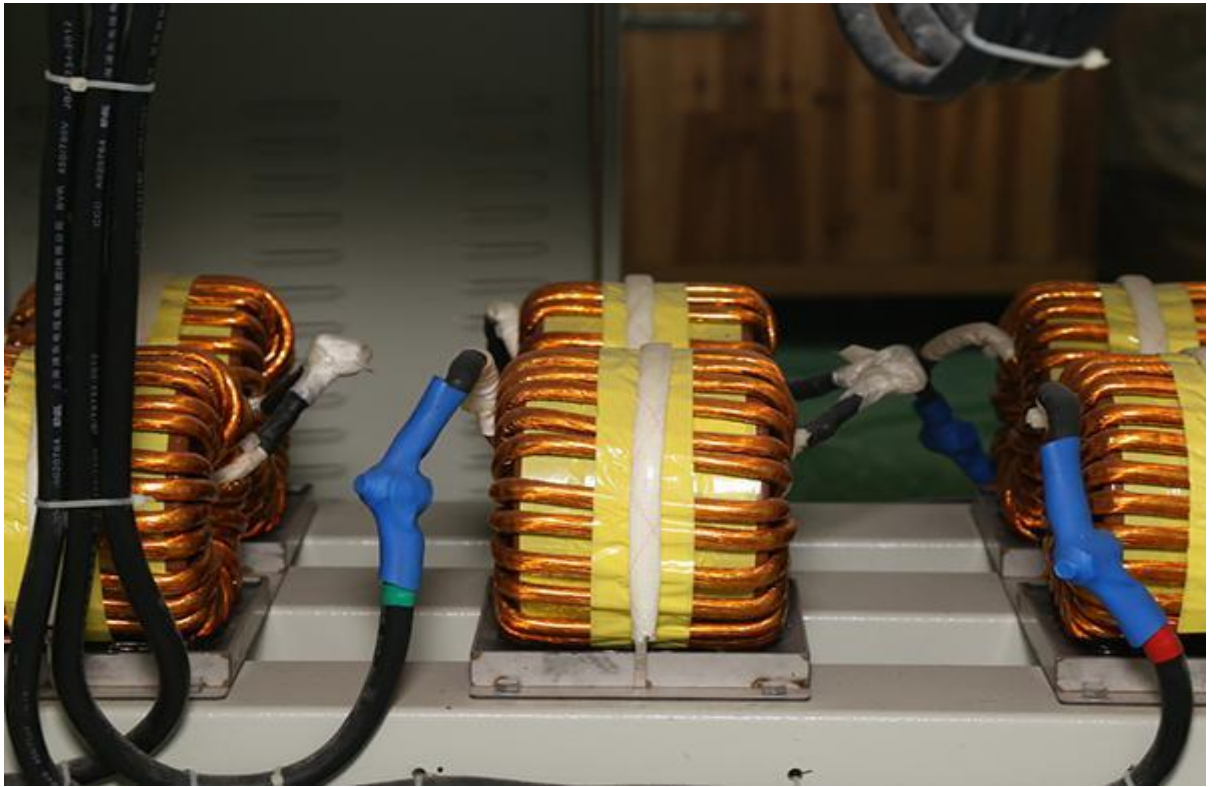


Рис3.3 Високочастотний реактор з магнітним тором

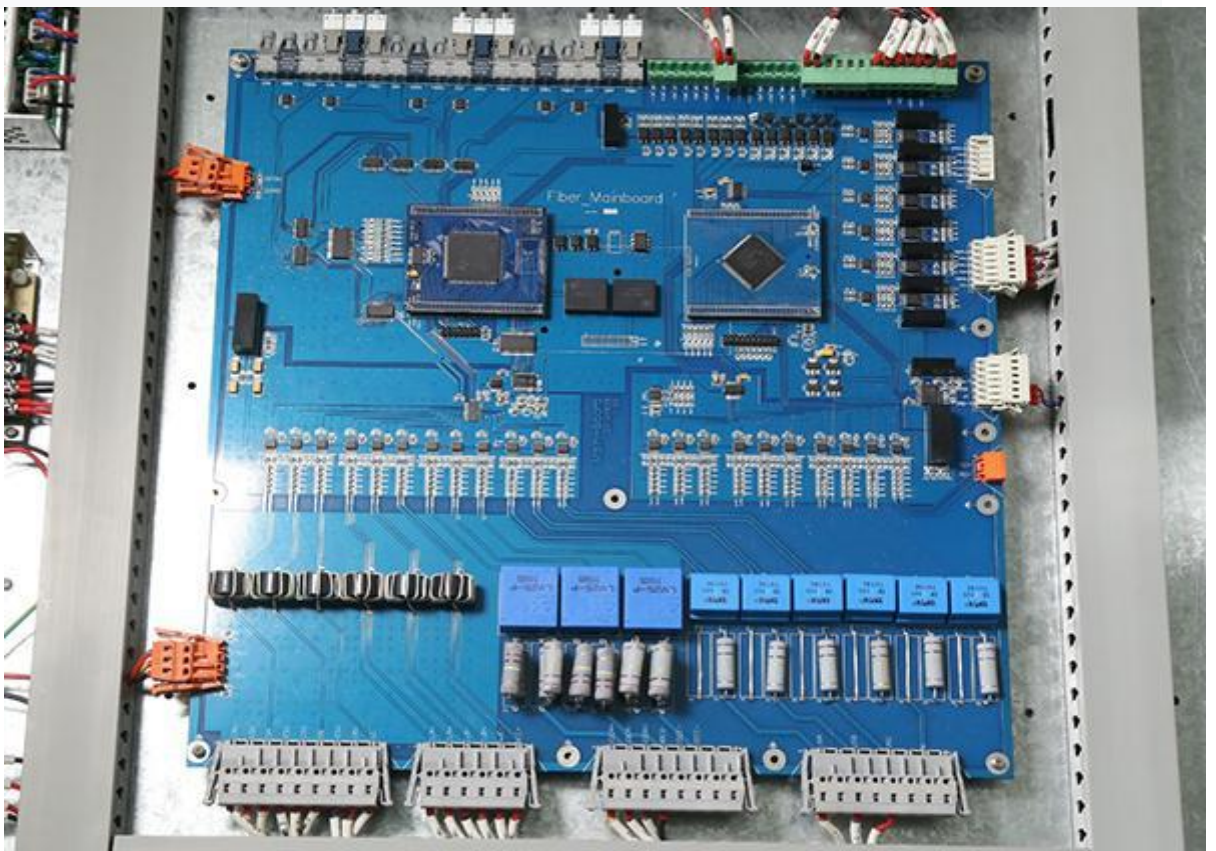


Рис 3.4 Американський чіп DSP

Активні фільтри можуть компенсувати як спотворення одного приводу VLT у вигляді компактного інтегрованого рішення, так і у вигляді окремої установки для одночасної груповий компенсації декількох навантажень. Активні фільтри можуть експлуатуватися на середньому напрузі за допомогою понижувального трансформатора.

$3 \times 380-480 \text{ В}, 50 - 60 \text{ Гц}; 190 \text{ А} - 500 \text{ А IP 21/54}$

Для більшого струму компенсації можна використовувати паралельно до 4-х установок.

Оптимальне рішення для:

Слабких мереж при регенерації

Збільшення навантажувальної здатності мережі

Збільшення потужності генератора

Відповідності звуженим вимогам

Забезпечення безпечної роботи чутливого обладнання

Використання збереженої енергії

Енергозбереження - корекція коефіцієнта потужності і придушення гармонік; збільшення ККД трансформатора

Надійність - продовжує працювати при перевантаженні; модернізація проводиться без демонтажу наявного обладнання

Дружність - та ж знайома і зручна панель управління; автоматична адаптація датчиків струму. специфікації

Мережа живлення: Напруга живлення 380 - 480 В

Частота мережі 50/60 Гц

Максимальна короткочасна асиметрія фаз 3% від номінальної напруги (фільтр працює і при більшій асиметрії, але з погіршенням характеристик)
Максимальні предискаження напруги 10% - з підтриманням номінальних характеристик придушення. Зниження показників придушення при великих предискаженієм
Характеристики придушення гармонік: Загальна спотворення синусоїдальности струму, THiD Кращий результат - 4%.

Залежить від співвідношення типорозміру фільтра і рівня спотворень
 Індивідуальне придушення гармонік: в% від номінального струму фільтра

5-я 70%

7-я 50%

11-я 32%

13-а 28%

17-я 20%

19-я 18%

23-тя 16%

25-я 14%

Всього по току гармонік 90%

Компенсація реактивного струму:

cos Управляється в діапазоні 1,0 ... 0,5

Реактивний струм, % від номінального струму фільтра 100%

Дискретні входи:

Кількість програмованих дискретних входів 2 (4)

Номери клем 18, 19, 27 *, 29 *

Логіка PNP або NPN [9, 14]

3.8 Зниження несиметрії напруг

Несиметрія. В електроустановках споживачів знаходять все більше застосування однофазні приймачі (великі електропечі, електронні апарати, освітлювальні прилади), що викликає несиметричний режим харчування. Несиметрія струмів обумовлює несиметрію напруги, яка в свою чергу призводить до виникнення додаткових фазних і міжфазних напруг.

Несиметрія тягне за собою появу вогнищ місцевих перегрівів роторів синхронних генераторів, небажані вібрації їх окремих вузлів, в лініях

електропередачі і трансформаторах несиметрія знижує пропускну здатність трифазної системи, негативно впливає на роботу асинхронних двигунів, погіршує режим роботи випрямлячів, робить менш ефективним використання регулюючих і компенсуючих установок. При цьому створюються додаткові втрати активної енергії в мережах [9].

Гармоніки напруги і струму, що накладаються на основну гармоніку, викликають комбіновану дію на обладнання та пристрої, що підключені до електричної мережі.

Гармоніки напруги можуть заважати роботі пристроїв управління, які використовуються в електронних системах. Просто подумайте про помилки, викликаних зсувом нуля, або збуреннями в пристроях управління, які використовують частоти, близькі до частот гармонійних складових.

Електродинамічні сили, створювані миттєвими струмами, що містять гармоніки, викликають вібрації і акустичні збурення, особливо в електромагнітних пристроях (трансформатори, реактори і т. д.). Крім того, наявність гармонік в обертових полях може створюють коливання в обертових машинах.

Прилади, які викликають гармоніки, присутні як в промисловому, так і в третинному секторах, а останнім часом і в побутовому секторі: гармоніки в основному виникають від нелінійних навантажень або тих, які викликають поглинання струму з іншою тенденцією ніж напруги живлення.

Типові «спотворювачі» навантаження: силова електроніка (випрямлячі, інвертори і т. д.), а також зварювальні апарати, дугові печі, варіатори швидкості, оргтехніка, монітори, навіть пристрої, схильні до насичення (трансформатори) можуть викликати гармоніки.

Високі значення гармонійних спотворень і аномальні значення напруги нейтралі по відношенню до потенціалу землі можуть викликати відмови устаткування, що призведе до простоїв виробництва і дорогого ремонту розподільної електромережі.

Дуже важливо, щоб користувач знав про дорогі проблеми і небезпеки, пов'язані з високими рівнями гармонік, особливо з урахуванням істотного збільшення використання нелінійних пристроїв. Гармонійні складові можуть істотно вплинути на електричну розподільну мережу, впливаючи на всі підключені конструкції і устаткування.

Гармонійні спотворення викликають такі проблеми:

- Перегрів провідників, зокрема нейтралі, при наявності однофазних перекручених навантажень;
- Гармонійні спотворення напруги, викликані насиченням трансформаторів;
- Перегрів трансформаторів живлення з подальшим дорогим простоем і ремонтом або заміною трансформатора;
- Резонанс з іншими реактивними компонентами в тій же лінії електропередачі (наприклад, блоки корекції коефіцієнта потужності);
- Поганий коефіцієнт потужності;
- Резонансні перенапруги;
- Збільшення витрат на поставку електроенергії через гармонійні втрати;
- Перешкоди в телекомунікаційних системах та обладнанні;
- Неправильна робота реле управління та захисту;
- Втручання автоматичних вимикачів та інших захисних пристроїв;
- Вихід з ладу або несправність комп'ютерів, приводів двигунів, ланцюгів освітлення і інших чутливих навантажень;

Захистом від гармонійних спотворень у мережі живлення є пасивні та активні фільтри гармонік [20].

ПАСИВНІ ФІЛЬТРИ

на струм від 10 до 800А

Пасивні фільтри характеризуються високою ємністю для зменшення гармонічних порушень і розроблені для застосування в системах, де спотворення струмових гармонік має бути зменшено у визначених межах.

Використання пасивних фільтрів сприяє зменшенню теплових та електричних перевантажень, спричинених гармонічними струмами в установках, що включають приводи двигунів із змінною швидкістю, ДБЖ, випрямлячі потужності та інші нелінійні трифазні навантаження. До типових застосувань відносяться навантаження, присутні в системах кондиціонування повітря, очищенні води, нафтовому секторі та процесах промислової автоматизації в цілому.



Рис. 3.5 Пасивний фільтр гармонік

Пасивні фільтри - це додаткові фільтри, які встановлюються на лінії живлення навантаження. Продуктивність пасивних фільтрів гармонік дуже

висока: вони зменшують гармонічні спотворення в струмі від 100% До типових значень нижче 5%; фільтри складаються з конденсаторів, які утворюють резонансну ланцюг з реактором, який має високий імпедансний шлях на основній частоті і низький шлях імпедансу на більш високих питомих частотах.

Пасивні фільтри частіше підключаються до окремих навантажень в системі, а не до загальної точки з'єднання, оскільки для застосування потрібне послідовне навантаження для ефективного зменшення гармонік.

Пасивний фільтр гармонік встановлюється послідовно з лінією, тому його слід вибирати відповідно до струму, поглинаного вантажем або за групою навантажень. Пасивні гармонічні фільтри гарантують чудове загасання і їх не потрібно налаштовувати з урахуванням параметрів імпедансу місця установки [20].

АКТИВНІ ФІЛЬТРИ

Активні фільтри, також відомі як «активні гармонічні компенсатори», усувають гармоніки за рахунок створення зворотної форми хвилі, яка компенсує спотворення.

Активні фільтри забезпечують оптимальне придушення гармонік незалежно від кількості навантажень та профілю використання. Ці фільтри, встановлені паралельно мережі, мають розмір для усунення заданої кількості гармонічного струму з системи. Типове застосування включає навантаження, наявні в складних промислових підприємствах; в плавильних, прокатних станах і зварювальних установках; у нафтогазовому секторі; в установках генерації, в комерційних і житлових будинках, в системах вентиляції тунелів і в центрах обробки даних.



Рис. 3.6 Активний фільтр гармонік

Активний гармонічний фільтр реалізує процес компенсації вмісту гармоніки: гармонічний струм, що створюється навантаженням, постійно контролюється і формується адаптивна форма хвилі, що відповідає точній формі нелінійної частини струму навантаження. вводить цей адаптивний струм у навантаження в точці з'єднання із часом реакції 50 мкс та часом відгуку 5 мс. На відміну від пасивних гармонічних фільтрів, ці фільтри можуть забезпечувати пом'якшення гармонік у будь-яких умовах навантаження до номінальної потужності [20].

Фільтр активної гармоніки працює паралельно і компенсує струм вмісту гармоніки, його можна вибирати для застосувань, що складаються з одного або декількох навантажень різних типів.

МОДУЛЬНІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ

Фільтри активної потужності в модульній топології є найкращим рішенням для компенсації змінного коефіцієнта потужності та гармонік. Маючи високі показники струму до 1920А, вони адаптовані до будь-якого розміру навантаження для максимальної універсальності використання не тільки компенсує струм гармонік, але й покращує коефіцієнт потужності. Він

також буде коригувати або провідний, або відстаючий коефіцієнт потужності. може компенсувати гармоніки до 51-го порядку менш ніж за 1 мс.



Рис. 3.7 Шафа активного фільтра гармонік

ОСОБЛИВОСТІ

- 3-рівневий перетворювач, заснований на технології управління декількома DSP;
- Конструкція з високою щільністю енергозбереження;
- Одна модель застосовується 3-провідної або 4-провідної системи;
- Може працювати в закритому або відкритому циклі;
- Компенсує до 51-ї гармоніки із часом відгуку менше 1 мс;
- Вибірковий режим - вибір гармонік для компенсації;
- Корекція коефіцієнта живлення;

- Відсутність ефектів перевантаження;
- Інтерфейс розширеного функціонування: 7-дюймовий кольоровий РК-сенсорний екран для встановлення всіх параметрів системи та зчитування журналу файлів 500 рядків;
- SD-карта для завантаження логічного файлу, форми сигналів та параметрів;
- Відображає форму хвилі напруги / струму, параметр і частотний спектр;
- Настроюваний LCD ЖК на кілька мов;
- Повна стандартна комунікація: 3-кратний вихід та 1x вхідний сухий контакт, RS485 ModBus, Ethernet, налаштований сигнал електронної пошти.

СПЕЦИФІЧНІ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО

- модулі живлення з легкою гарячою заміною;
- 60 або 80А на модуль, до 1920А з 24 паралельними модулями;
- 1 РК-екран для всієї паралельної системи;
- 1 модуль управління на 8 модулів живлення;
- Легко встановлюється у стандартній 19-дюймовій стійці [20].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вимоги техніки безпеки до експлуатації електрообладнання

Керівник коледжу зобов'язаний забезпечити утримання, експлуатацію і обслуговування електроустановок відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Для цього він повинен:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електрогосподарства з числа інженерно-технічних працівників, які мають електротехнічну підготовку і пройшли перевірку знань у встановленому порядку (далі - особа, відповідальна за електрогосподарство);

- забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників;

- затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці;

- встановити такий порядок, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, вели ретельні спостереження за дорученим їм обладнанням і мережами - оглядом, перевіркою дії, випробуванням і вимірюванням;

- забезпечити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами ПУЕ і «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕС) ;

- забезпечити проведення протиаварійних, приймально-здавальних і профілактичних випробувань та вимірювань електроустановок згідно з правилами і нормами (ПТЕЕС);

- забезпечити проведення технічного огляду електроустановок.

Технічна експлуатація електроустановок споживачів може здійснюватись за спеціальними правилами, установленими в галузі. Галузеві правила не повинні суперечити ПТЕЕС і ПБЕЕС [10, 23, 24].

До обслуговування електроустановок допускаються особи старше 18 років, придатні за станом здоров'я, що пройшли навчання й стажування і мають кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче II при виконанні робіт у складі бригади, не нижче III при індивідуальному обслуговуванні.

Черговому персоналу електриків дозволяється одноособове обслуговування шаф керування в порядку поточної експлуатації. Ремонтні роботи виконуються ремонтним персоналом тільки за нарядом-допуском з дотриманням організаційних і технічних заходів, передбачених ПБЕЕС.

Так як обладнання тренажерного стенду класифікується як електрообладнання до 1000 В , то необхідно використовувати наступні електрозахистні засоби:

- основні засоби це ті, що впродовж тривалого часу можуть витримати дію робочої напруги. До них відносять: інструменти з ізольованими руків'ями, ізоляція яких витримує робочу напругу, штанги, діелектричні рукавиці, діелектричні та вимірювальні кліщі, індикатори напруги;

- допоміжні засоби не можуть витримати дію робочої напруги, а підсилюють дію основних. До них відноситься: ізоляційні накладки, ізоляційні підкладки, діелектричне взуття, діелектричні килимки та діелектричні підставки[18, 19] .

4.2 Пожежна безпека

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення та будівлі відповідно до норм технологічного проектування (ОНТП 24-86) поділяються на п'ять категорій; А, Б, В, Г, Д:

- Категорія А - (вибухопожежонебезпечна) - приміщення (будівлі), у яких знаходяться горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28 °С у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні

паро-і газоповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа, а також речовини та матеріали, здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.

- Категорія Б - (вибухопожежонебезпечна) - це приміщення (будівлі), в яких знаходяться горючий пил або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28 °С та горючі рідини в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило- або пароповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа.

- Категорія В - (пожежонебезпечна) - це приміщення (будівлі), в яких знаходяться горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, речовини та матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним лише горіти, за умови, що вони не належать до категорій А чи Б.

- Категорія Г - це приміщення (будівлі), в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

- Категорія Д - Це приміщення (будівлі), в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

Вибір електроустаткування повинен здійснюватися залежно від умов, в яких експлуатуватимуть електричні пристрої. При цьому потрібно враховувати пожежо - і вибухонебезпечні виробничі приміщення [23, 24].

Весь пожежний інвентар і устаткування повинні знаходитися в справному стані, знаходиться на видних місцях, і до них повинен бути забезпечений безперешкодний доступ. Використання пожежного інвентарю і

устаткування для господарських, виробничих і інших потреб, не зв'язаних пожежогасінню, категорично забороняється.

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

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

Також одним із джерел пожежної небезпеки є місця з'єднань з поганим контактом які перегріваються. Щоб уникнути перегріву в місцях з'єднання дротів, необхідно застосовувати спеціальні наконечники з більшим перетином, ніж дроти; ретельно зачищати їх з метою видалення оксидів металу і забезпечити належну щільність затисків.

Електрична дуга, що має температуру вище за 3000 °С, представляє велику пожежну небезпеку. Тому конструкція, способи монтажу і режим експлуатації електричних пристроїв повинні виключати можливість утворення електричних дуг. У деяких електричних пристроях (наприклад: рубильниках, вимикачах, контакторах) утворення дуги пов'язане з режимом їх експлуатації, оскільки дуга виникає у момент відключення споживачів електроенергії. У таких випадках застосовують додаткові пружинячі ножі для рубильників і дугогасні пристрої у вигляді судин, що заповнюються трансформаторним маслом, а також дугогасні камери, ґрати, перегородки і т.д [23, 24] .

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

- знати та вміти користуватися протипожежними засобами;
- негайно повідомити про пожежу в пожежну охорону по телефону 101 і диспетчеру заводу;
- попередити людей в будівлі де знаходиться пожежа та людей що знаходяться в суміжних будівлях;
- приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння:
 - вогнегасники:
 - хімічні пінні вогнегасники місткістю 10 л. (ОХП-10). Вони призначаються для гасіння невеликих пожеж загоряння твердих і рідких речовин, за винятком електроустановок, кабелів і електропроводок, що знаходяться під напругою, металевих калюш, калія, натрію, магнію, а також спирту, сірководню, ацетону;
 - вуглекислотні вогнегасники місткістю 2, 5, 8, 25, і 80 л. (ОХП, ОУ-3, ОУ-5), (підрозділяються на ручні (місткістю 2,5 і 8 л.) і пересувні (місткістю 25 і 80 л.) використовуються для гасіння пожеж які знаходяться під напругою до 10 кВ;
 - порошкові ручні (ОП-1, ОП-2, ОП-5, ОП-10). Призначені для гасіння загорянь лужноземельних і лужних металів, нафтопродуктів, розчинників, твердих речовин і електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 1000 В, а також гасіння пожеж на об'єктах з великими матеріальними цінностями.

1 внутрішній пожежний кран;

2 пісок та ін.;

Використання пінних вогнегасників при гасінні пожежі в електроустановках не допускається [23, 24].

4.3 Санітарно-гігієнічні заходи

На території коледжу обов'язково повинні бути: роздягальня, туалет, їдальня.

Кожен працівник повинен суворо дотримувати чистоту і порядок та дотримуватися санітарно-гігієнічних правил:

- пити воду у встановлених питних точках;
- приймати їжу тільки в спеціально відведених для цього місцях;
- перед прийняттям їжі обов'язково добре вимити руки [23, 24].

4.4 Естетика виробництва

Естетика виробництва зобов'язана забезпечити безпеку виконання робіт в цехах та будівлях.

Стелі в аудиторіях фарбують звичайно у світло-блакитний, а при відсутності природного освітлення - у білий колір. Відділення, де відбуваються значні тепловиділення, фарбуються у світло-блакитний; віконні й ліхтарні рами - у білий; верх стін - у світло-блакитний, а міжвіконні стовпи і панелі - у блакитний колір.

У приміщеннях застосовуються розпізнавальне, попереджувальне і відмітне захисне фарбування.

Розпізнавальне фарбування використовують для балонів зі стисненими та зрідженими газами, для відкритих заземлювачів тощо.

Попереджувальне фарбування свідчить про небезпеку (червоний колір) чи безпеку (зелений колір); жовтий колір попереджує про можливість виникнення небезпеки, вимагає підвищеної уваги [23, 24].

Відмітне фарбування служить для розпізнавання однакових за формою, але різних за призначенням предметів (пускові кнопки, арматурні сталі різних марок тощо). Основними для фарбування обладнання є зелений, сірий і близькі до них кольори. Небезпечні частини й деталі машин фарбуються у яскраві попереджувальні кольори (червоний, жовтий).

Стандарт встановлює наступні стандартні сигнальні кольори:

- червоним сигнальним кольором позначаються: кнопки для аварійного відключення і важелі керування, аварійні або стоп сигнали; внутрішні поверхні шаф з струмоведучими елементами електроустаткування; пристрої і засоби пожежогасіння;

- жовтим сигнальним кольором позначаються: елементи будівельних конструкцій, що представляють небезпеку аварій і нещасних випадків; елементи виробничого устаткування; знаки які застерігають про небезпеку;

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

- синім сигнальним кольором позначаються: елементи технічної інформації.

- білим сигнальним кольором позначаються: лампи попередження.

Кольорові відмінності також є в знаках безпеки [23, 24].

Встановлені чотири групи знаків безпеки:

1. Що забороняють - червоний круг з білим полем всередині і символічним зображенням всередині, перекресленим червоною смугою.

2. Що застерігають - жовтий рівносторонній трикутник вершиною до верху з символічним зображенням чорного кольору, а для знаків радіаційної небезпеки і небезпеки електричного струму - червоного кольору.

3. Приписуючі - зелений квадрат з символічним зображенням білого кольору або зелений квадрат з білим кругом всередині і пояснюючим написом чорного кольору.

4. Вказівні - синій прямокутник з білою стрілкою і символічним зображенням або написом чорного кольору усередині білого квадрата.

Для пунктів медичної допомоги і вказівних знаків пожежної безпеки символ або напис потрібно виконувати червоним кольором усередині білого квадрата [23, 24].

Також в електричних установках згідно ПУЕ є розподіл за кольорами.

Шини та провідники мають бути позначеними:

1) для змінного трифазного струму: шини фази А - жовтим кольором, фази В - зеленим, фази С - червоним, нульова робоча шина N - блакитним, цю саму шину, яку використовують як нульову захисну, - подовжніми смугами жовтого і зеленого кольорів;

2) для змінного однофазного струму: шина фази А, приєднана до початку обмотки джерела живлення, - жовтим кольором, а фази В, приєднана до кінця обмотки, - червоним.

Шини однофазного струму, якщо вони є відгалуженням від шин трифазної системи, позначаються як відповідні шини трифазного струму.

3) для постійного струму: позитивна шина (+) - червоним кольором, негативна (-) - синім і нульова робоча М - блакитним;

4) резервна як резервована основна шина; якщо ж резервна шина може замінювати будь-яку з основних шин, то її позначають поперечними смугами кольору основних шин.

Кольорове позначення має бути виконаним по всій довжині шин, якщо воно передбачене також для інтенсивнішого охолодження або для антикорозійного захисту[23, 24] .

Кольорове позначення допускається виконувати не по всій довжині шин; тільки кольорове або тільки буквено-цифрове позначення або кольорове у поєднанні з літерами та цифрами - тільки в місцях приєднання

шин; якщо неізолювані шини недоступні для огляду в період, коли вони перебувають під напругою, то допускається їх не позначати. При цьому не має знижуватися рівень безпеки і наочності під час обслуговування електроустановки [23, 24].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Беліченко, А. Г. Економічне обґрунтування. Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи [Текст] : Для студ. ЗДІА. / А. Г. Беліченко, В. О. Желябін ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2004. - 93 с.

2 Брусилівський, Е. М. Експлуатація систем електропостачання [Текст] / Учеб. посібник. - Е. М. Брусилівський, В. В. Петунин.: Изд-во ДОСААФ, 1983. - 136 с.

3 Глебов, О. Г. Електрошлаковий переплав [Текст] / ізд. О. Г. Глебов, Е. І. Мошкewіч Металургія Київ 1978. - 186 с.

4 ГОСТ 13109-97 “ Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення ” [Текст] / ізд Київ 2007 – 30 с.

5 Д'яков, А.Ф. Мікропроцесорна автоматика і релейний захист електроенергетичних систем [Текст] Навчальний посібник для вузів / А.Ф. Д'яков, Н.І. Овчаренко. - М.: МЕІ, 2010. - 236с.

6 Загірняк, М. В. Електричні машини [Текст] : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невалін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Знання, 2009. – 399 с. - ISBN 978-966-336-644-6.

7.Карпов Ф.Ф, Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий. [Текст] Ф.Ф.Карпов, Л.А Солдаткина М.: Энергия, 1970. 224с. ISBN 5-283-03200-0

8 Качан, Ю. Г. Основи енергозбереження [Текст] / Для студ. ЗДІА спец. 7.000008 "ЕМ": Конспект лекцій / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2005. - 183 с .

9 Левченко С.А. Системи виробництва та забезпечення якості електроенергії. [Текст] Ю.Г Качан, С.А. Левченко /Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 6.000008 «Енергетичний менеджмент» – Запоріжжя, 2014. – 136с.

10 Лейбензон, С.А. - "Очерки історії ПрАТ "Дніпроспецсталь"[Текст] / ізд. С.А. Лейбензон 3вид., Запоріжжя 2000, 152 с.

11 Мінеєв, Р.В. Досвід експлуатації дугових печей малої і середньої ємності [Текст] / Р.В. Мінеєв, О.А. Бадажков, І.А. Ігнатов підручник ГОСТ 2.601:1988 – 80 с. - Минск.: ISBN 5-229-00148-8

12 Мітчелл, А., Математичне моделювання процесу ЕШП [Текст] / Дж. Шекелі, Дж. Ф. Еліот Електрошлаковий перепплав, вип. 2, Наукова думка, Київ, -1974.- с. 19-47.

13 Методіческіе вказівки по контролю і аналізу якості електроенергії в системах електропостачання загального призначення (РД 34.15.501 - 88).

14.Мозгалев В.С., Оцінка ефективності контролю якості електроенергії в ЕЕС. Електричні станції, [Текст] В.С.Мозгалев, В.А.Богданов, І.І.Карташев, І.С. Пономаренко, С.Ю. Сиромятніков 1999, №1

15 Ополева, Г.Н. Схеми і підстанції електропостачання: [Текст] Довідник: Учеб. посібник / Г.М. Ополева. - М.: Форум: інфа-М, 2006. - 480 с.

16 Пірожніков, В. Є. "Автоматизація контролю і управління електросталеплавильними установками" [Текст] / В. Є. Пірожніков, А.Р. Каблуковський : ГОСТ 2.105-74- Київ.: Держстандарт СРСР, 1974.

17 Правила улаштування електроустановок. - X.: [Текст] Видавництво «ІНДУСТРІЯ», 2007.

18 ПрАТ "Дніпроспецсталь" [Електронний ресурс] / Режим доступу \WWW/ URL: <http://www.dss.com.ua> 17.09.2020 р. – Загол. з екрану.

19 ПрАТ "Дніпроспецсталь" [Електронний ресурс] / Режим доступу \WWW/ URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Днепроспецсталь> 20.09.2020 р. – Загол. з екрану.

20 Фільтр гармонік [Електронний ресурс] / Режим доступу \WWW/ URL: <https://plimtex.com.ua/filtri-garmonik/> 14.11.2020 р. – Загол. з екрану.

21 Роберте, Р. Технологія ЕШП, що забезпечує максимальну швидкість плавки при мінімальній витраті електроенергії. [Текст] / Р Роберте Електрошлаковий перепплав. вип. 4. Наукова думка. Київ. - 1971. - с. 106-109.

22 Самойлов, М. В. Основи енергозбереження [Текст] / М. В Самойлов, В.В. Паньовчик, А.М. Ковальов :Учеб. посібник для вузів. Минск. - 2002. - 198 с.

23 Техніко-економічні і технічні документи ПрАТ "Дніпроспецсталь". Технические требования [Текст]. – Введ. 2015-17-08. – М. : Изд-во стандартов, 2015. – 62 с.

24 Техніко-економічні і технічні документи ПрАТ "Дніпроспецсталь" сталеплавильного цеху №5. Технические требования [Текст]. – Введ. 2012-20-05. – М. : Изд-во стандартов, 2012. – 35 с.

25 Шабад, М.А. Захист і автоматика електричних мереж агропромислових комплексів [Текст] / М.А. Шабад. - Л.: Вища школа, 1987. - 120 с.

26 Яцун, М. А. Електричні машини [Текст] :Навчальний посібник / М. А. Яцун. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка», 2001. – ISBN 966-533-126-3.