

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз можливості зменшення питомого споживання електричної енергії сталеплавильним виробництвом в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»

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

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Літвішко А. В.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., доц., Коваленко В.Л.

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

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

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

Запоріжжя

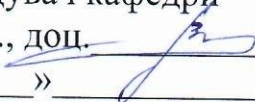
2023

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

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень _____
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко
« _____ » _____ 2023 року

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

Літвішко Андрій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз можливості зменшення питомого споживання електричної енергії сталеплавильним виробництвом в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»

керівник роботи Коваленко В.Л., д.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с

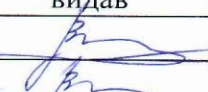
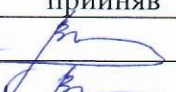


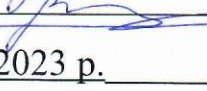
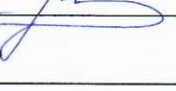


2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи 3 переходом на ринкові відносини складова енергетичних витрат у собівартості металургійної продукції зростає з 8% до 32%; значення коефіцієнта несиметрії склали від 5,8 до 6,1% , за коефіцієнтами гармонійних складових за межі нормально допустимих значень також виходить ряд гармонік.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз показників якості електроенергії на межі балансової приналежності ПрАТ «Дніпроспецсталь» 2) Дослідження ККД системи електропостачання обладнання основного виробництва 3) Техніко-економічні розрахунки щодо підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь» 4) Охорона праці та техногенна безпека.

- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Встановлена потужність цехів основного виробництва 2) Схема однолінійна
3) Дослідження показників якості в СЕП 4) Аудит реактивної потужності
5) Ступінь компенсації реактивної енергії 6) Заходи з реконструкції 7) Техніко -
економічні показники заходів 8) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Коваленко В.Л. д.т.н., доцент		
Розділ 2	Коваленко В.Л. д.т.н., доцент		
Розділ 3	Коваленко В.Л. д.т.н., доцент		
Розділ 4	Коваленко В.Л. д.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

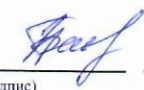
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз показників якості електроенергії на межі балансової приналежності ПрАТ «Дніпроспецсталь»	30.09.2023	
2	Дослідження ККД системи електропостачання обладнання основного виробництва	15.10.2023	
3	Техніко-економічні розрахунки щодо підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь»	25.10.2023	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	10.11.2023	

Студент  А. В. Літвішко
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  В.Л. Коваленко
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  І.І. Бандуренко
 (підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Літвішко А. В. Аналіз можливості зменшення питомого споживання електричної енергії сталеплавильним виробництвом в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь».

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

У дослідженні був проведений докладний аналіз параметрів, які мають найбільший вплив на втрати електроенергії в системах промислового електропостачання. Визначені основні фактори, які суттєво впливають на розмір втрат електроенергії, та вирішено завдяки їх усуненню. Експериментальна перевірка основних положень роботи проведена на прикладі системи електропостачання промислового підприємства ПрАТ "Дніпроспецсталь".

Ключові слова: ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, МІНІМІЗАЦІЯ ВТРАТ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

ABSTRACT

Litvishko, A. V. Analysis of the possibility of reducing the specific consumption of electric energy by steelmaking in the conditions of PJSC "Dniprospetsstal".

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

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

The study carried out a detailed analysis of the parameters that have the greatest impact on electricity losses in industrial power supply systems. The main factors that significantly affect the amount of electricity losses have been identified and solved by eliminating them. Experimental verification of the main provisions of the work was carried out on the example of the power supply system of the industrial enterprise PJSC "Dniprospetsstal".

Keywords: ELECTRICITY LOSSES, LOSS MINIMIZATION, POWER SUPPLY SYSTEM, REACTIVE POWER COMPENSATION

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз показників якості електроенергії на межі балансової приналежності ПрАТ «Дніпроспецсталь»	11
1.1 Теоретичні відомості щодо показників якості електроенергії..	11
1.2 Законодавчі вимоги до нормування якості електроенергії....	12
1.3 Вимоги до якості електроенергії на підприємстві.....	13
1.4 Норми якості електроенергії, що досліджуються на підприємстві.....	14
1.5 Організаційні заходи щодо вимірювання показників якості на підприємстві.....	17
1.6 Вибір пунктів вимірювання та експлуатаційний контроль якості електроенергії	18
1.7 Засоби вимірювання показників якості електроенергії.....	20
1.8 Дослідження якості електроенергії на межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь».....	24
1.8.1 Аналіз системи внутрішньозаводського електропостачання.....	24
1.8.2 Експериментальні дослідження якості електроенергії.....	27
2 Дослідження ККД системи електропостачання обладнання основного виробництва	43
2.1 Постановка задач дослідження.....	43
2.2 Попередні випробування.....	44
2.3 Визначення ККД системи електропостачання обладнання...	46
2.4 Визначення рівня економічно доцільної компенсації реактивної потужності на підприємстві	48

2.5	Аналіз споживання реактивної потужності до і після реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв.....	52
3	Техніко-економічні розрахунки щодо підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь».....	56
3.1.	Обґрунтування доцільності впровадження заходів зі зниження споживання реактивної енергії.....	56
3.2	Визначення економічних показників впровадження компенсації реактивної потужності фільтрокомпенсуючими пристроями....	58
3.3	Аналіз вартості споживання реактивної потужності до і після реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв	59
3.4	Визначення фінансово-економічних показників варіантів реконструкції та заміни ФКП.....	65
4	Охорона праці та техногенна безпека	67
4.1	Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища.....	67
4.2.	Технічні рішення з виробничої санітарії електросталеплавильного цеху.....	73
4.2.1	Опалення і вентиляція.....	73
4.2.2	Природне і штучне освітлення	74
4.2.3	Санітарно - побутові приміщення.....	76
4.3	Заходи з поліпшення умов праці.....	77
4.4	Заходи з пожежної безпеки.....	79
4.5	Захисні заходи з електробезпеки.....	80
4.6	Засоби індивідуального захисту.....	81
4.7	Рішення щодо захисту навколишнього середовища.....	82
4.8	Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітрообміну.....	83
	Висновки.....	87
	Перелік посилань.....	88

ВСТУП

В сучасному суспільстві питання економії енергетичних ресурсів є надзвичайно актуальним. На сьогоднішній день в Україні спостерігається зменшення запасів енергоресурсів, і процес їх видобутку стає складним та небезпечним. Використання нетрадиційних джерел енергії поки не отримало широкого поширення в Україні. Єдиний вихід - це раціональне використання енергоресурсів. У світовій енергетиці спостерігається стабільна тенденція до збільшення виробництва та споживання енергії, зокрема електричної. Навіть при впровадженні енергоефективних технологій та структурних змін в промисловості очікується подальше зростання потреб у тепло- та електроенергії в найближчі десятиліття.

У більшості країн світу енергозбереження визнається одним з ключових пріоритетів енергетичної політики. Питання підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у всіх секторах економіки стає все більш актуальним з кожним роком. Таким чином, головним завданням українського уряду є забезпечення належного рівня енергоефективності національної економіки, що є запорукою її незалежності від інших країн.

Підприємства витрачають багато енергії. Сталеплавильні агрегати перетворюють змінний струм у потужну дугу в системі електропостачання металургійних підприємств. Такі агрегати здатні «генерувати» вищі гармонійні складові, що означає зниження якості електроенергії. Для інших споживачів електроенергії така якість може бути неприйнятною. Тому на межі балансової належності підприємства-споживача вводяться суворі стандарти на відхилення показників якості електроенергії, які регулюються ГОСТ 13109-97, міждержавним стандартом. Проблема підвищення якості електроенергії є однією з основних проблем, яку повинні вирішувати енергослужби ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Випрямні агрегати серій обладнання підключені до фільтрокомпенсуючих пристроїв, щоб покращити якість електроенергії шляхом зниження коефіцієнта несинусоїдальності та вищих гармонійних складових, а також компенсації реактивної потужності. Ця робота була виконана на початку дев'яностих років. У першій частині першої системи шин були встановлені фільтри типового пристрою ТКРМ; у третій і четвертій частинах першої системи шин були встановлені спеціально розроблені пристрої БК-3, БК-5, БК-4 і БК-6. Через особливості трансформатора Т-2 підстанції ПрАТ «Запоріжобленерго» фільтрокомпенсуючі пристрої на другій секції першої системи шин не були встановлені. За останні кілька років відбулися зміни в обладнанні підстанції, способі роботи внутрішньозаводської системи електропостачання ДСП, а також в самих фільтрокомпенсуючих пристроях і їх підключенні. Компанія також проводить потужні однофазніДля цього необхідно провести вимірювання якості електроенергії, виявити відхилення показників якості електроенергії, що перевищують нормовані значення, дослідити ефективність існуючих фільтрокомпенсуючих пристроїв і виробити рекомендації щодо нормалізації якості електроенергії.

Об'єкт дослідження — система електропостачання промислового підприємства ПрАТ «ДСС». Дослідження стосується впливу роботи обладнання цехів основного виробництва на показники якості електроенергії та ефективність системи електропостачання на конкретному об'єкті. Завданням роботи є вимірювання та вимірювання показників якості електроенергії системи електропостачання ПрАТ «ДСС»; дослідження ефективності фільтрокомпенсуючих пристроїв для підвищення якості електроенергії та компенсації реактивної потужності; розробка рекомендацій щодо нормалізації якості електроенергії; розрахунок втрат потужності та електричної енергії в системі внутрішньозаводського електропостачання; дослідження впливу на ККД системи електропостачання ПрАТ «ДСС».

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА МЕЖІ БАЛАНСОВОЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ПРАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

1.1 Теоретичні відомості щодо показників якості електроенергії

Під якістю електроенергії (ЯЕ) розуміють сукупність її параметрів (властивостей), що задовольняють потребам різних електроприймачів відповідно до їх призначення.

Забезпечення якості електроенергії на необхідному рівні - одна з найважливіших задач електроенергетики.

У зв'язку з нерозривністю виробництва і споживання електроенергії її якість визначається не тільки виробником (його генеруючим, трансформуючим, що передає і розподіляє обладнанням), але і споживачем електроенергії, характеристиками електроприймачів. Тому внаслідок різноманітності характеристик електроприймачів якість електроенергії в різних частинах навіть однієї енергосистеми може бути різним. Більше того, зміна якості електроенергії, що виникає у розглянутого електроприймача внаслідок його особливих характеристик, може відобразитися на якості електроенергії інших ділянок мережі, до яких приєднані електроприймачі, що мають інші характеристики.

Оскільки електроприймачі, електрообладнання та системи електропостачання проектуються і конструюються виходячи з того, що споживачі повинні мати на затискачах електроприймачів електроенергію певної якості, необхідно нормування якості електроенергії.

Нормування значень показників якості електроенергії (ПЯЕ) відноситься до числа головних питань проблеми ЯЕ. Систему ПЯЕ утворюють кількісні характеристики повільних (відхилення) та швидких (коливання) змін діючого значення напруги, його форми і симетрії в трифазній системі, а також змін частоти. Так як персонал енергетичних

служб підприємств не може впливати на рівень частоти мережі (виняток становлять випадки живлення від автономних джерел, не зв'язаних з енергосистемою), далі будуть розглядатися тільки питання, пов'язані з ЯЕ по напрузі на межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь».

1.2 Законодавчі вимоги до нормування якості електроенергії

Принципи нормування ПЯЕ за напругою ґрунтуються на техніко-економічні передумови і полягають у наступному:

ПЯЕ по напрузі має енергетичний сенс, тобто характеризує вплив енергосистеми і споживача - ПрАТ «Дніпроспецсталь» один на одного: ступінь негативного впливу енергії спотворення на електрообладнання та технологічні процеси порівнюється зі значенням ПЯЕ. Гранично допустимі значення ПЯЕ вибираються з техніко-економічних міркувань. Допустимі значення ПЯЕ вказуються в ГОСТ 13109-97 в залежності від класу напруги, де проводять виміри.

При проектуванні або модернізації системи електропостачання важливим є визначення ПЯЕ і правильний вибір методів і засобів нормалізації ПЯЕ, а також місця їх установки з метою зниження втрат потужності електроенергії, підвищення рівня технологічних процесів та дотримання нормованих показників на межі балансової належності з енергосистемою [1].

Відповідно до ГОСТ 13109-97 ПЯЕ є:

- стале відхилення напруги δU_y ;
- розмах зміни напруги δU_t ;
- доза Флікера P_t ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги K_u ;
- коефіцієнт n-ої гармонійної складової кривої напруги $K_u(n)$;

- коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} ;
- коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю K_{0U} ;
- відхилення частоти Δf ;
- тривалість провалу напруги U_{mn} ;
- імпульсна напруга U_{imp} ;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{перU}$.

1.3 Вимоги до якості електроенергії на підприємстві

Значення ПЯЕ в нормальному режимі роботи електричної мережі повинні не виходити за значення нормально допустимих відхилень, зазначених у ГОСТ 13109-97 протягом не менше 95% часу кожної доби, і не повинні виходити за гранично допустимі значення [2].

Значення ПЯЕ в післяаварійному режимі роботи електричної мережі повинні не виходити за гранично допустимі значення, вказані в ГОСТ 13109-97.

При аварійних порушеннях електропостачання допускається короткочасний вихід значень ПЯЕ за встановлені межі, у тому числі зниження напруги аж до нульового рівня, відхилення частоти до ± 5 Гц, з подальшим їх відновленням до значень ПЯЕ, встановлених для післяаварійного режиму [3].

На входах приймачів електричної енергії, що є джерелами електромагнітних перешкод, допускаються значення ПЯЕ в більш широких діапазонах, ніж встановлені у стандарті, якщо це не призводить до порушення стандарту в інших приймачів електричної енергії, і на межі балансової належності підприємства-споживача.

1.4 Норми якості електроенергії, що досліджуються на підприємстві

Усталене відхилення напруги: Відхилення напруги (δU_y) у відсотках визначаються за формулою [4]:

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

Відхилення напруги характеризується показниками сталого відхилення напруги:

- нормально допустимі значення усталеного відхилення напруги δU_y на вводах приймачів електричної енергії становлять $\pm 5\%$ від номінальної напруги;
- гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги δU_y на висновках приймачів електричної енергії становлять $\pm 10\%$ від номінальної напруги електричної мережі;
- нормально і гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги. Нормально допустиме відхилення напруги $\pm 5\%$, гранично допустиме відхилення напруги $\pm 10\%$.

Якість електричної енергії по сталому відхиленню напруги вважається відповідною вимогам [5], якщо всі виміряні за кожну хвилину протягом 24 годин значення усталеного відхилення напруги не перевищують $\pm 10\%$, а 95% виміряних за той же період часу значень знаходиться в межах $\pm 5\%$.

Коливання напруги: Коливання напруги характеризується:

- розмахом зміни напруги;
- дозою флікера.

Гранично допустимі значення розмаху напруги δU_t при коливаннях напруги залежать від частоти повторення змін напруги або інтервалу між змінами напруги. Методика визначення гранично допустимого розмаху

напруги наведена в ГОСТ 13109-97. Гранично допустимі значення для короткочасної дози Флікера P_{st} при коливаннях напруги дорівнює 1,38, а для тривалої дози Флікера P_{lt} при тих же коливаннях напруги дорівнює 1,0. Метод розрахунку короткочасних і тривалих доз Флікера при коливаннях напруги наведено в ГОСТ 13109-97 [6].

Несинусоїдальність напруги: несинусоїдальність напруги характеризується наступними показниками [7]:

- коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги;
- коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги.

Нормально допустимі та гранично допустимі значення коефіцієнта спотворення синусоїдальної кривої напруги відповідно рівні 5% і 8%. Якість електричної енергії за коефіцієнтом n-ої гармонійної складової напруги вважається відповідним вимогам, якщо найбільше з усіх виміряних протягом 24 годин значення коефіцієнта n-ої гармонійної складової напруги не перевищує гранично допустимого значення, а значення n-ої гармонійної складової напруги з імовірністю 95% не перевищує нормально допустиме значення [8].

Якість електричної енергії за коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги вважається відповідним вимогам, якщо найбільше з усіх виміряних протягом 24 годин значення коефіцієнта спотворення синусоїдальної кривої напруги не перевищує 8%, і з імовірністю 95%, не перевищує значення 5%.

Несиметрія напруги: несиметрія напруги характеризується наступними показниками:

- коефіцієнтом несиметрії напруги по зворотній послідовності;
- коефіцієнтом несиметрії напруги нульової послідовності.

Нормально допустимий і гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності рівні відповідно 2% і 4%. Якість електричної енергії за коефіцієнтом несиметрії напруги по зворотній послідовності вважається відповідною вимогам, якщо найбільше з усіх

вимірних протягом 24 годин значень не перевищує 4%, а значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності, що відповідає ймовірності 95%, не перевищує 2%.

Відхилення частоти: нормально допустиме значення відхилення частоти - $\pm 0,2$ Гц. Гранично допустиме значення відхилення частоти - $\pm 0,4$ Гц. Якість електричної енергії за відхиленням частоти вважається такою, що відповідає вимогам, якщо всі виміряні протягом 24 годин значення відхилення частоти не перевищують $\pm 0,4$ Гц, а не менше 95% всіх вимірних значень відхилення частоти не перевищує $\pm 0,2$ Гц.

Провал напруги: гранично допустиме значення тривалості провалу напруги - 30с. При вимірах визначається час різкого спаду напруги на кожному напівперіоді основної частоти до рівня нижче $0,94 U_{\text{ном}}$. Якість електричної енергії за тривалістю провалів напруги вважається відповідною вимогам, якщо найбільше з усіх вимірних значень протягом року тривалостей провалів напруги не перевищує гранично допустимого значення. Характеристики провалів напруги в електричних мережах напругою 6-10 кВ наведено в ГОСТ 13109-97.

При аварійних порушеннях електропостачання допускається короткочасний вихід значень ПЯЕ за встановлені межі, у тому числі зниження напруги аж до нульового рівня, відхилення частоти до ± 5 Гц, з подальшим їх відновленням до значень ПЯЕ, встановлених для післяаварійного режиму.

Імпульс напруги: імпульс напруги характеризується показником імпульсної напруги. Значення імпульсних напруг для грозових і комутаційних імпульсів, що виникають у мережах електропостачальної організації наведено в ГОСТ 13109-97.

Тимчасове перенапруження: тимчасове перенапруження характеризується показником коефіцієнта тимчасової перенапруги. Амплітудне значення перенапруги визначається на кожному напівперіоді

основної частоти при різкому перевищенні рівня напруги рівного $1,1U_{ном}$. Коефіцієнт тимчасової перенапруги визначається [9]:

$$K_{пер\ U} = \frac{U_{a\ max}}{\sqrt{2}U_{ном}}, \quad (1.2)$$

де $U_{a\ max}$ - амплітуда напруги в період перенапруги.

1.5 Організаційні заходи щодо вимірювання показників якості на підприємстві

Для електропостачання обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь» застосовуються випрямні агрегати на номінальні струми 12,5 і 25 кА, які виконані у вигляді трифазної мостової схеми і забезпечують 12-фазний режим випрямлення. Така система випрямлення є джерелом вищих гармонійних складових в напругах і струмах змінного струму, причому найбільше значення мають 11-та і 13-та гармоніки, а потім 23-тя і 25-та, 35-та і 37-ма, інші гармоніки, номер яких визначається співвідношенням $12n + 1$ (де n - натуральне число). Критерій оцінки якості електричної енергії в даному випадку це коефіцієнт несинусоїдальності і рівень вищих гармонійних складових напруги [10-11].

Наявність високих рівнів вищих гармонійних складових у струмі і напрузі приводить до ряду негативних явищ - збільшуються втрати в електричних мережах, в силових трансформаторах, скорочується термін служби ізоляції електричних машин і високовольтних апаратів. Крім того, ускладнюється робота пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки.

Наявність вищих гармонік в напрузі супроводжує виникнення і впливає на перебіг іонізаційних процесів в ізоляції трансформаторів, зростає рівень часткових розрядів, утворюються об'ємні заряди. Нейтралізація цих зарядів призводить до впливу на навколишній діелектрик, що сприяє виникненню місцевих дефектів ізоляції, зниження електричної міцності і зростанню діелектричних втрат. Крім того, при впливі вищих гармонійних складових виникає підвищений нагрів ізоляції і незворотні фізико-хімічні процеси, що призводить до її прискореного старіння. Отже, при несинусоїдальному напрузі знижується термін служби електрообладнання системи електропостачання. Як показує досвід експлуатації, в мережах з великою питомою вагою вентильних навантажень частіше виникають однофазні замикання на землю в кабелі [12].

При роботі силових трансформаторів в умовах несинусоїдальної напруги і струму зростають втрати на вихрові струми в магнітопроводі і збільшуються втрати в обмотках трансформаторів за рахунок поверхневого ефекту, що веде до зростання втрат активної потужності. Такі ж втрати мають місце в трансформаторах перетворювальних агрегатів. За рахунок цього знижується коефіцієнт корисної дії (коефіцієнт перетворення) випрямних агрегатів. При несинусоїдних режимах мережі знижується точність обліку енергії. При коефіцієнті несинусоїдальності КНС $\approx 7-10\%$ може мати місце підвищена похибка. Клас точності датчиків інформації - трансформаторів струму і напруги при таких режимах також не гарантується.

1.6 Вибір пунктів вимірювання та експлуатаційний контроль якості електроенергії

Вимоги до якості електроенергії, встановлені в ГОСТ 13109-97, поширюються на точки електричних мереж, до яких приєднуються приймачі

або споживачі електричної енергії. В останньому випадку вимоги до якості електричної енергії встановлюються на межі розділу балансової належності електричних мереж енергопостачальної організації і споживача і фіксуються в договорі на використання електричної енергії [13].

Допускається в обґрунтованих випадках в договорі вказати вимоги до якості електроенергії не на межі розділу, а для інших пунктів мережі, прийнятих за погодженням між енергопостачальною організацією та споживачем. Однак слід зазначити, що не у всіх точках електричної мережі, зазначених вище, допускається проводити контроль ПЯЕ.

Вибір характерних точок в електричній мережі роблять таким чином, щоб за результатами вимірювань у цих точках оцінити якість електроенергії по всій розглянутій електричній мережі [14].

Для проведення контролю показників якості електроенергії на ПрАТ «Дніпроспецсталь» вибрані характерні пункти вимірювання на вводах напругою 10кВ, відповідних кордонів балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь»: Т11, Т12, Т13, Т14, Т15, Т16, Т17, Т18, Т19, Т110.

Контроль ПЯЕ проводиться з метою перевірки відповідності значень показників по нормам ГОСТ 13109-97. При невідповідності ПЯЕ нормативним вимогам на підставі результатів контролю встановлюються причини невідповідності і розробляються заходи, спрямовані на нормалізацію параметрів якості електроенергії.

Результати контролю дозволяють також перевірити відповідність проектних розрахунків фактичним даними експлуатації, розрахувати параметри технічних засобів і заходів, призначених для поліпшення ПЯЕ.

Контроль ПЯЕ, як і інших режимних параметрів, здійснюється постійно, періодично або епізодично [15]. Для виробництва вимірювання необхідно використовувати спеціальні прилади, які визначають характеристики ПЯЕ за період вимірювання.

1.7 Засоби вимірювання показників якості електроенергії

Для проведення вимірювань ПЯЕ на ПрАТ «Дніпроспецсталь» використовувався реєстратор показників якості електроенергії «ПАРМА РК 3.01». Реєстратор РК 3.01 призначений для вимірювання і реєстрації ПЯЕ, оцінки відповідності якості вимірюваної електроенергії нормам, встановленим ГОСТ 13109-97 та видачі протоколу відповідності.

У реєстратора ПЯЕ реалізовано визначення перевищень нормально-та граничнодопустимих значень вимірюваних величин за період реєстрації, а також виділяються максимальні і мінімальні значення вимірюваних ПЯЕ [16]. Є можливість похвилинного перегляду зареєстрованих значень вимірюваних величин, визначення поточних значень. Величинами, контрольованими за допомогою реєстратора ПЯЕ під час проведення вимірювань, є:

- діючі значення напруги змінного струму фазних чи лінійних напруг (залежно від підключення приладу) - U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , наведені до вторинної обмотки трансформатора напруги в діапазоні від 0 до 520В;
- діюче значення напруги основної частоти $U_{(1)}$, наведене до вторинної обмотки трансформатора напруги в діапазоні від 30 до 520 В;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_u - в діапазоні від 0 до 30%;
- коефіцієнт n-ой гармонійної складової напруги $K_u(n)$ (де $n = 2 \div 40$) - в діапазоні від 0 до 30%;
- коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} - від 0 до 30%;
- коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю K_{0U} - від 0 до 30%;
- частота напруги f - від 40 до 70 Гц.

Тимчасові інтервали реєстрації можуть бути нерівномірними і при необхідності можна виділити окремий час доби для реєстрації ПЯЕ і при цьому кожному інтервалу можна зіставити свій набір уставок. Набір уставок для кожного ПЯЕ задається або стандартний, або встановлюється розрахунковий.

Нормовані метрологічні характеристики реєстратора представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1- Нормовані метрологічні характеристики засобу вимірювання показників якості електроенергії

Величина, що вимірюється, X	Діапазон вимірювання, $X_{макс}-X_{мин}$	Інтервал усереднення, секунд	Межі допустимих похибок реєстратора	
			абсолютної ΔX	відносної δX
1	2	3	4	5
Діюче значення напруги U,В	від $0,7 U_{ном}$ до $1,3 U_{ном}$	60	-	$\pm 0,2\%$
Стале відхилення напруги $\delta U, \%$	від -30 до +30	60	$\pm 0,2\%$	
Стале діюче значення напруги основної частоти $U_{(1)}, В$	від $0,7 U_{ном}$ до $1,3 U_{ном}$	60	-	$\pm 0,2\%$
Стале відхилення діючого значення напруги основної частоти $\delta U_{(1)}, \%$	від -30 до +30	60	$\pm 0,2\%$	-
Відхилення частоти $\Delta f, Гц$	від -5 до +5	20	$\pm 0,2\%$	-
Коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності основної частоти $K_{2U}, \%$	від 0 до 30	3	$\pm 0,3\%$	-

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Коефіцієнт несиметрії напруги по нульовій послідовності основної частоти $K_{0U},\%$	від 0 до 30	3	$\pm 0,5\%$	-
Коеф. спотворення синусоїдальності кривої напруги $K_U,\%$	від 0 до 30	3	при $K_U < 1\%$ $\pm 0,1\%$	$\pm 0,2\%$
Коеф. n-ої гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$ при n від 2 до 40, $\%$	від 0,05 до 30,00	3	при $K_{Un} < 1\%$ $\pm 0,05\%$	$\pm 0,2\%$
Коеф. тимчасової перенапруги $K_{перU}$	до 1,3	-	$\pm 2,2/U_{но}$	-
Глибина провалу $\delta U_n,\%$	до 100	-	$\pm 220/U_H$	-
Тривалість провалу $\Delta t,мс$	від 10 до 59960	-	при $\Delta t_n < 20с$ $\pm 10 мс$ при $\Delta t_n \geq 20с$ $\pm 20 мс$	-
Тривалість перенапруги $\Delta t_{пер},мс$	від 40 до 59960	-	при $\Delta t_{пер} < 20с$ $\pm 10 мс$ при $\Delta t_{пер} \geq 20с$ $\pm 20 мс$	-
Астрономічний час	-	-	$\pm 1 с/доб$	-

Після проведення вимірювань на кожному часовому інтервалі і за кожен день йде статистична обробка отриманих вимірних величин:

- інформація про нештатні ситуації (відключення живлення, аварійні ситуації тощо);
- середнє, максимальне і мінімальне значення за часовий інтервал або день вище перелічених величин;
- відносний час виходу вимірних величин за гранично допустимі значення протягом тимчасового інтервалу або днів;
- висновок про відповідність кожного ПЯЕ протягом аналізованого часового інтервалу або днів;
- шістнадцять зареєстрованих провалів напруги або перенапруги за кожен мить. У реєстратора реалізована можливість вибору номінальної напруги або при трансформаторному включенні - 57,74 В, 100В, або при прямому включенні в мережу 0,4 кВ - 220В, 380В. У концепції «особливі ситуації» реєстратора фіксуються такі значення: коливання напруги, провал напруги, перенапруги, вихід за межі вимірювання [17-20]. Ці величини реєструються окремо і не відображаються в щохвилинні перегляди реєстратора і не включаються в статистику. Реєстратор має послідовний канал, при якому реалізований фізичний інтерфейс RS232, до якого можна підключити будь-який пристрій і обмін відбуватиметься по логічному протоколу ModBus. При виконанні даної роботи обробка експериментально отриманих даних проводилася на персональному комп'ютері за допомогою програми «Trans Data». Зареєстровані дані зберігаються в незалежній Flash пам'яті.

Обробка результатів проведених вимірювань проводиться як безпосередньо реєстратором ПЯЕ, як це описано вище, так і за допомогою персонального комп'ютера за програмою Trans Data. Програмне забезпечення дозволяє зчитувати результати вимірювань з пам'яті реєстраторів, відображати їх у вигляді таблиць, графіків і зберігати у файлах власного формату.

Програмне забезпечення дозволяє:

- одночасно прочитувати свідчення з одного реєстратора за різні інтервали часу;
- одночасно працювати з декількома реєстраторами незалежно від способу їх підключення;
- керувати процесом зчитування;
- перегляд ПЯЕ у вигляді графіків, як в процесі зчитування інформації, так і після зчитування;
- відображення на графіках екстремальних точок, перегляд графіків в тривимірному просторі, тривимірне обертання графіків;
- автоматичний контроль за якістю передачі даних;
- можливість створення «бази даних» реєстраторів.

1.8 Дослідження якості електроенергії на межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь»

1.8.1 Аналіз системи внутрішньозаводського електропостачання

На першу секцію першої системи шин 10кВ ПрАТ «Дніпроспецсталь» в нормальному режимі роботи подається живлення по введенню Т11 - від трансформатора Т1 підстанції «269» ПрАТ «Запоріжжяобленерго». Від першої секції першої системи шин отримують живлення трансформатори, мережева підстанція КП-4 і трансформатор власних потреб ТСН-3. За розподілом потужності навантажень з першої секції першої системи шин 97% становить потужність першої серії обладнання [21]. Тому живлення споживачів щодо вводу Т11 можна розглядати як систему внутрішньозаводського електропостачання обладнання.

Система внутрішньозаводського електропостачання основного обладнання складається з розподільних мереж 10 кВ (перша секція першої системи шин 10 кВ і відходять фідера). Кожна підстанція складається з трансформаторів потужністю 40000 кВА з однією первинною обмоткою, включеної по схемі «зірка», і чотирьох вторинних обмоток, дві з яких включені за схемою «зірка», а дві - за схемою «трикутник».

До кожної з обмоток підключена випрямляюча шафа, що представляє собою 6-фазну випрямні систему. Крім того, в резерві знаходиться «малий» випрямний агрегат - НПА -23 на струм 12,5 кА з трансформатором потужністю 25000 кВА, які мають одну первинну обмотку, з'єднану по схемі «зірка» і дві вторинні обмотки, з'єднані за схемою «зірка» і «трикутник». У коло змінного струму 0,8 кВ включені дроселі насичення, за допомогою яких здійснюється регулювання випрямленої струму. З точки зору завантаження мережі дроселі насичення є індуктивний опір, який збільшує споживання з мережі додаткової реактивної електроенергії. Цю реактивну електроенергію необхідно компенсувати за допомогою фільтрокомпенсуючих пристроїв [22].

Як було сказано раніше, самі випрямні агрегати надають небажаний вплив на живильну мережу: форма кривої напруги, що живить випрямні агрегати відрізняється від синусоїдальної через процеси комутації вентилів. Ступінь впливу випрямних агрегатів на мережу залежить від багатьох факторів. Один з них - це співвідношення потужності випрямних агрегатів і потужності системи електропостачання, яке відбивається внутрішнім опором джерела живлення відносно точки підключення випрямних агрегатів. Як буде показано нижче, навантаження живить трансформатора Т1 підстанції «269» складає 95-96%.

Для зниження рівня вищих гармонійних складових ефективно застосувати резонансні L, C-контури, настроєні на частоти гармонік випрямних агрегатів, тобто фільтрокомпенсуючого пристрою. Так як випрямні агрегати виконані за 12-фазною випрямною системою, то для них характерна генерація в мережу змінного струму вищих гармонійних

складових $12n \pm 1$ (де $n = 1, 2, 3, \dots$). З урахуванням того, що амплітуда вищої гармонійної складової обернено пропорційна номеру гармоніки, а також в ГОСТ 13109-97 регламентується оцінка вищих гармонійних складових від 2-ї до 40-ї, то необхідно вжити заходів щодо зниження рівня вищих гармонійних складових 11-ї і 13-ї, 23-ї і 25-ї, 35-ї і 37-ї [23-25].

За проектом системи електропостачання споживачів, підключених до першої секції першої системи шин, обрано в якості фільтрокомпенсуючого пристрою фільтри 3-ї, 5-ї, 7-ї і 11-ї гармонік тиристорного компенсатора реактивної потужності типу ТКРМ сумарної реактивної потужністю 25,6 МВАр. Генерована реактивна потужність ТКРМ розрахована на компенсацію реактивної потужності, споживаної системою внутрішньозаводського електропостачання обладнання основного з урахуванням дроселів насичення. Фільтр 11-ї гармоніки ефективно знижує рівень 11-ї і 13-ї гармонійних складових, а так само впливає на 23-ю і 25-ю, 35-ю і 37-ю гармоніки. В результаті рівень цих гармонійних складових опинявся в нормально допустимих межах.

Негативним властивістю резонансних фільтрів ТКРМ є те, що ефективно «пригнічуючи» гармонійні складові на які вони налаштовані і знижуючи рівень більш високих гармонік, вони резонують нижчі гармонійні складові. Це і є однією з основних причин установки фільтрів 3-ї, 5-ї і 7-ї гармонік. Так фільтр 11-ї гармоніки знижуючи рівень 11-ї, 13-ї та інших вищих гармонік резонує 7-ю гармонійну складову. Для зниження рівня цієї гармоніки встановлюється фільтр 7-ї гармоніки. У свою чергу фільтр 7-ї гармоніки резонує 5-ю гармоніку. Для зниження рівня 5-ї гармоніки встановлений фільтр 5-ї гармоніки, який резонує третю гармоніку. Для зниження рівня 3-ої гармоніки встановлений фільтр 3-ої гармоніки. З точки зору надійності роботи в процесі експлуатації були часті пошкодження конденсаторних батарей. Ймовірною причиною пошкодження конденсаторів була перевантаження вищими гармонійними складовими і можливу появу на них перенапруг.

В даний час в робочому стані знаходяться тільки фільтри 3-ї і 5-ї гармонійних складових, в яких встановлені конденсатори на більш високий клас напруги, але за своїми параметрами вони не відповідають фільтрам 3-ї і 5-ї гармонік. Так фільтр Ф-3 налаштований на частоту 214 Гц (що відповідає номеру гармоніки - 4,31), а фільтр Ф-5 - 440 Гц (номер гармоніки 8,8).

1.8.2 Експериментальні дослідження якості електроенергії

Експериментальні дослідження якості електроенергії проводилися в липні-серпні 2013 року. Схема електропостачання споживачів щодо введення Т11 під час проведення досліджень була нормальною. Від трансформатора Т1 підстанції «269» ВАТ «Запоріжжяобленерго» подавалося напруга на першу секцію першої системи шин, від якої отримували живлення випрямні агрегати основного обладнання: НПА -18, НПА -19, НПА -20, НПА -21, мережева підстанція КП-4, трансформатор власних потреб ТСН-3, фільтрокомпенсуючі пристрої - Ф-3 і Ф-5.

Таблиця 1.2 - Споживання електроенергії сталеплавильним цехом

Номер доби	Активна потужність, МВт	Реактивна потужність, МВар	Коеф. потужності, %	Коеф. завантаження транс-ра, %
1	56,300	21,233	0,936	95,5
2	56,167	22,633	0,928	96,1
3	56,700	20,233	0,942	95,6
4	56,533	20,767	0,939	95,6
5	55,506	22,077	0,929	94,8
6	56,621	22,523	0,929	96,7
7	56,067	23,367	0,923	96,4

Дослідження проводилися відповідно до вказівок ГОСТ 13109-97 протягом 7 діб. У таблиці 1.2 наведені значення споживаної активної і реактивної електроенергії за кожен добу, усереднені значення активної, реактивної та повної споживаної потужності, а також завантаження силового трансформатора Т-1. Як видно з таблиці 1.2, протягом досліджуваного періоду часу споживається велика реактивна потужність - від 20,2 до 23,4 Мвар і дуже велике завантаження трансформатора Т-1 - від 94,8 до 96,7%, що говорить про недостатній рівень компенсації реактивної потужності [26].

Для визначення ефективності роботи фільтрів Ф-3, Ф-5 проведені дослідження якості електроенергії без фільтрів і з одним фільтром Ф-3, а потім з обома фільтрами по одному часовому інтервалу (6:00) кожен дослід. Дані зведено до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Споживання при увімкнених та вимкнених фільтрах

Номер досліджу	Увімкнені фільтри	Активна потужність, МВт	Реактивна потужність, МВар	Коефф. потужності, %
1	-	56,933	23,600	0,919
2	Ф-3	56,933	22,267	0,931
3	Ф-3, Ф-5	57,066	21,200	0,937

Як видно з таблиці 1.3 фільтри Ф-3 і Ф-5 дозволяють знизити споживання реактивної потужності, але в невеликих межах - в сумі на 2,4 МВар, і тим самим, підвищити коефіцієнт потужності від 0,919 до 0,937. З урахуванням того, що за своїм характером режим роботи обладнання практично незмінний протягом доби, наводити дані по тимчасових інтервалах немає необхідності.

Відхилення напруги. Відповідно до ГОСТ 721-77 номінальна напруга на шинах споживача повинна бути 10кВ (або 100В, наведене по вторинній обмотці трансформатора напруги). З урахуванням того, що шини 10 кВ знаходяться в безпосередній близькості від виводів 10кВ силового

трансформатора і від них подається напруга на виводи високої напруги перетворювальних трансформаторів випрямних агрегатів з номінальною напругою 10,5 кВ (значення, наведене до вторинної обмотки трансформатора напруги-105 В), номінальну напругу необхідно приймати напругу 10,5 кВ. Тому отримані дані наведені в корегованому вигляді.

Відповідно до ГОСТ 13709-97 нормально-допустиме відхилення напруги $\pm 5\%$, тобто від 99,8 В до 110,3 В, а гранично допустиме $\pm 10\%$, тобто 94,5 В до 115,5 В. Як видно з протоколів 1.1-1.10, усі середні значення напруг більше 100В, причому більш 100В також і найменше значення напруги протягом семи діб проведення вимірювань. Найбільші значення напруг в цей же період часу не перевищували 110В, тобто були в межах нормально допустимих значень з імовірністю 100%. Отже, відхилення напруги знаходиться в межах нормованих значень.

Коливання напруги, провал напруги і тимчасова перенапруга. Такі показники якості електроенергії, як коливання напруги, провал напруги і тимчасове перенапруження не є проблематичними для рівномірного і малозмінного навантаження, як безперервний процес електролізу. При перегляді оброблених результатів вимірювань лінійних напруг в закладці «Особливі події» - визначається загальний час і найбільші значення характеристик перенапруг і провалів напруг по фазах. Під час перегляду оброблених результатів протягом періоду часу вимірювань (7 діб) коливань напруги, провалів напруги і перенапруг зафіксовано не було.

Несиметрія напруги. У 12-фазній випрямній системі живлення серії обладнання теоретично завантаження мережі живлення 10кВ по фазах рівномірна. Тому невеликі технологічні відхилення параметрів електромережі по кожній фазі в дуже невеликому ступені можуть вплинути на несиметрію напруг. Виникаюча несиметрія напруг в мережі 10кВ в основному обумовлена системою електропостачання. Як показали експериментальні дослідження (протоколи 1.1-1.7), найбільші значення коефіцієнта зворотної послідовності в досліджуваних тимчасових інтервалах

знаходяться в межах від 1,14% до 1,54%, тобто менше нормально допустимого значення (2%). Ймовірність виходу за нормально допустиме значення дорівнює 0.

Відхилення частоти. Відхилення частоти напруги є параметром системи електропостачання. Відхилення частоти в основному відбувається тоді, коли потужність вироблюваної електроенергії менше споживаної. Під час проведення вимірювань частота напруги змінювалася в межах від 49,95 до 50,03, тобто максимальне значення відхилення частоти в меншу сторону склало - 0,05 Гц, а у велику 0,03 Гц. З урахуванням того, що нормально допустиме відхилення частоти - $\pm 0,2$ Гц, то ймовірність виходу за нормально допустиме значення $T_{нд} = 0$.

Несинусоїдальність напруги. Як було сказано раніше, негативний вплив на живильну електромережу випрямні агрегати надають в частині спотворення синусоїдальної кривої напруги - за коефіцієнтом несинусоїдальності і коефіцієнту вищих гармонійних складових. Найбільші значення коефіцієнта несинусоїдальності в періоди часу проведення вимірювань склали від 5,79 до 6,11. Ймовірність виходу за нормально допустиме значення ($K_U = 5\%$) $T_{нд} = 99,5-100\%$. За гранично допустиме значення виходу не було. Таким чином, результат отриманий незадовільний. Не набагато краще значення коефіцієнтів несинусоїдальності по напруженням U_{BC} і U_{CA} -ймовірність виходу за нормально допустиме значення перевищує 96%.

За коефіцієнтами гармонійних складових за межі нормально допустимих значень також виходить ряд гармонік. Напруга, рівень вищих гармонійних складових якої найбільш високий - U_{AB} . Третя гармонійна складова напруги змінювалася в широких межах. Так діапазон зміни найбільших за окремі інтервали часу значень склав від 1,2% до 1,94% на лінійному напрузі U_{AB} , а ймовірність виходу за нормально допустиме значення ($K_{U(3)} = 1,5\%$) склало від 0% до 96, 2%. Рівень 3-й гармонійної складової в лінійних напругах U_{BC} і U_{CA} значно нижче, а ймовірність виходу

за нормально допустиме значення на багатьох інтервалах часу дорівнює 0. Третя гармонійна складова не є характерною для 12-фазною випрямної системи.

Генератором 3-ої гармоніки можуть бути нелінійна характеристика намагнічування трансформатора випрямного агрегату, нелінійна характеристика дроселя насичення в мережі 0,8 кВ змінного струму або система електропостачання. При цьому фільтр Ф-3, який в даний час реально налаштований на резонансну частоту 214 Гц, резонує третю гармонійну складову. Для дослідження впливу фільтрів Ф-3 і Ф-5 на рівень вищих гармонійних складових проведені дослідження при відключених фільтрах Ф-3 і Ф-5 (таблиця 1.3) при відключеному фільтрі Ф-5 і при включених фільтрах Ф-3 і Ф-5. Як видно з таблиці 1.4, коефіцієнт 3-ої гармоніки при включенні фільтрів зростає.

Таблиця 1.4 - Коефіцієнт 3-ї гармонійної складової

Лінійна напруга	Коефіцієнт 3-ї гармоніки при увімкнених фільтрах		
	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5
U_{AB}	1,09	1,49	1,59
U_{BC}	0,64	0,80	0,85
U_{CA}	0,76	1,01	1,05

Таким чином, рівень 3-ої гармоніки залежить від безлічі випадкових чинників, може приймати різні значення і в загальному випадку перевищує нормовані значення. Рівень 11-ї і 13-ї гармонійних складових напруги, характерних для 12-фазної випрямної системи, значно перевищує не тільки нормально допустимі значення ($K_{U(11)} = 2\%$, $K_{U(13)} = 2\%$), але і гранично допустимі значення ($K_{U(11)} = 3\%$, $K_{U(13)} = 3\%$). Найбільші значення в кожному з розглянутих інтервалів перевищують 3%, ймовірність виходу за нормально припустимі значення -100%, а ймовірність виходу за гранично допустимі значення в багатьох випадках наближається або дорівнює 100% (протоколи 1.1-1.7). Це говорить про недостатню ефективність роботи діючих фільтрів

Ф-3 і Ф-5. При дослідженні впливу фільтрів на рівень вищих гармонійних складових видно, що рівень 11-ї і 13-ї гармонік з включенням фільтрів знижується (таблиця 1.5), але цього явно не достатньо.

Таблиця 1.5 - Коефіцієнти 11-ї та 13-ї гармонійних складових напруги

Лінійні напруга	Коефіцієнти 11-ї гармоніки при увімкнених фільтрах			Коефіцієнти 13-ї гармоніки при увімкнених фільтрах		
	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5
U_{AB}	4,87	4,44	3,16	4,65	4,41	3,47
U_{BC}	4,84	4,54	3,41	4,65	4,40	3,55
U_{CA}	5,14	4,77	3,41	4,28	4,09	3,29

Таким чином, коефіцієнти 11-ї і 13-ї гармонійних складових не задовольняють вимогам нормованих значень. Рівень 23-ї і 25-ї гармонійних складових, а також 35-ї і 37-ї, також характерних для 12-фазної випрямної системи, значно перевищують нормально допустимі значення (для 23-ї і 25-ї гармонік - 1%, для 35-ї і 37-ї - 0,77% і 0,74% відповідно). При чому, імовірність перевищення нормально допустиме значення коефіцієнтів 23-ї і 25-ї гармонік в багатьох тимчасових інтервалах - 100%. Крім того, велика ймовірність перевищення гранично допустимих значень.

Ймовірність перевищення нормально допустимих значень 35-ї і 37-ї гармонік по лінійним напруженням змінюється в широких межах, але в більшості випадків становить більше 40%, а в деяких випадках досягає 100%. Ймовірність перевищення гранично допустимих значень (1,16% для 35-ї гармоніки і 1,11% для 37-ї) невелика.

При дослідженні впливу фільтрів Ф-3 і Ф-5 на рівень 23-ї і 25-ї гармонік (протоколи 1.8-1.10) виявлено, що підключенні фільтрів мало вплинуло на рівень 23-ї і 25-ї гармонік, навіть в невеликому ступені підвищило їх рівень (таблиця 1.5). На 35-у і 37-у гармонійні складові вплив фільтрів також не велике, але їх рівень дещо зменшений (таблиця 1.6). Таким чином, можна зробити висновок про неефективність фільтрокомпенсуючих

пристроїв для зниження рівня 23-ї і 25-ї, 35-ї і 37-ї гармонійних складових. Їх рівень вище нормованого.

Таблиця 1.6 - Максимальні значення 23-ї і 25-ї гармонійних складових

Лінійна напруга	Коефіцієнти 23-ї гармоніки при увімкнених фільтрах			Коефіцієнти 25-ї гармоніки при увімкнених фільтрах		
	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5
U_{AB}	2,05	2,14	2,19	1,56	1,75	1,90
U_{BC}	2,05	2,21	2,24	1,60	1,73	1,86
U_{CA}	2,27	2,45	2,38	1,24	1,43	1,58

Таблиця 1.7 - Максимальні значення 35-ї і 37-ї гармонійних складових

Лінійна напруга	Коефіцієнти 35-ї гармоніки при увімкнених фільтрах			Коефіцієнти 37-ї гармоніки при увімкнених фільтрах		
	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5	-	Ф-3	Ф-3, Ф-5
U_{AB}	1,11	0,98	0,77	1,24	1,12	0,90
U_{BC}	1,17	1,12	0,90	1,32	1,18	0,94
U_{CA}	1,33	1,23	0,95	1,02	0,90	0,67

Крім розглянутих характерних для 12-фазної випрямної системи гармонійних складових і 3-ї гармоніки, проблемними є непарні гармоніки кратні 3-м - 15-а, 21-а, 27-а, 33-а, 39-а. Причиною виникнення цих гармонійних складових і інших непарних гармонік є нелінійні характеристики намагнічування трансформаторів випрямних агрегатів, а також дроселів насичення.

З урахуванням більш жорстких нормативних вимог до непарних гармонік кратним 3-м, зазначені гармоніки перевищують нормований рівень. Так максимальні значення коефіцієнта 15-ї гармонійної складової змінюється в межах від 0,4% до 0,58% на лінійних напругах U_{AB} і U_{CA} (нормально допустиме значення 0,3%, а гранично допустиме - 0,45%). На лінійній

напрузі U_{BC} максимальні значення 15-ї гармоніки змінювалися від 0,12 до 0,22% і відповідали нормованих значень. Максимальні значення 21-ї гармонійної складової на напругах U_{AB} і U_{CA} знаходяться в межах від 0,36% до 0,55%. Так як нормально допустиме відхилення -0,2%, а гранично допустиме відхилення 0,3%, то ймовірність виходу за нормально і гранично допустиме значення дуже велика. Трохи нижче рівень 21-ї гармоніки: на лінійній напрузі U_{BC} - максимальні значення змінюються від 0,18% до 0,32% і в багатьох тимчасових інтервалах також виходили за нормовані значення [27].

Графіки, що відображають експериментальне дослідження якості електричної енергії ПрАТ «Дніпроспецсталь» зображено на рисунках 1.1 – 1.7, а обчислені дані дослідів зведено у відповідні таблиці.

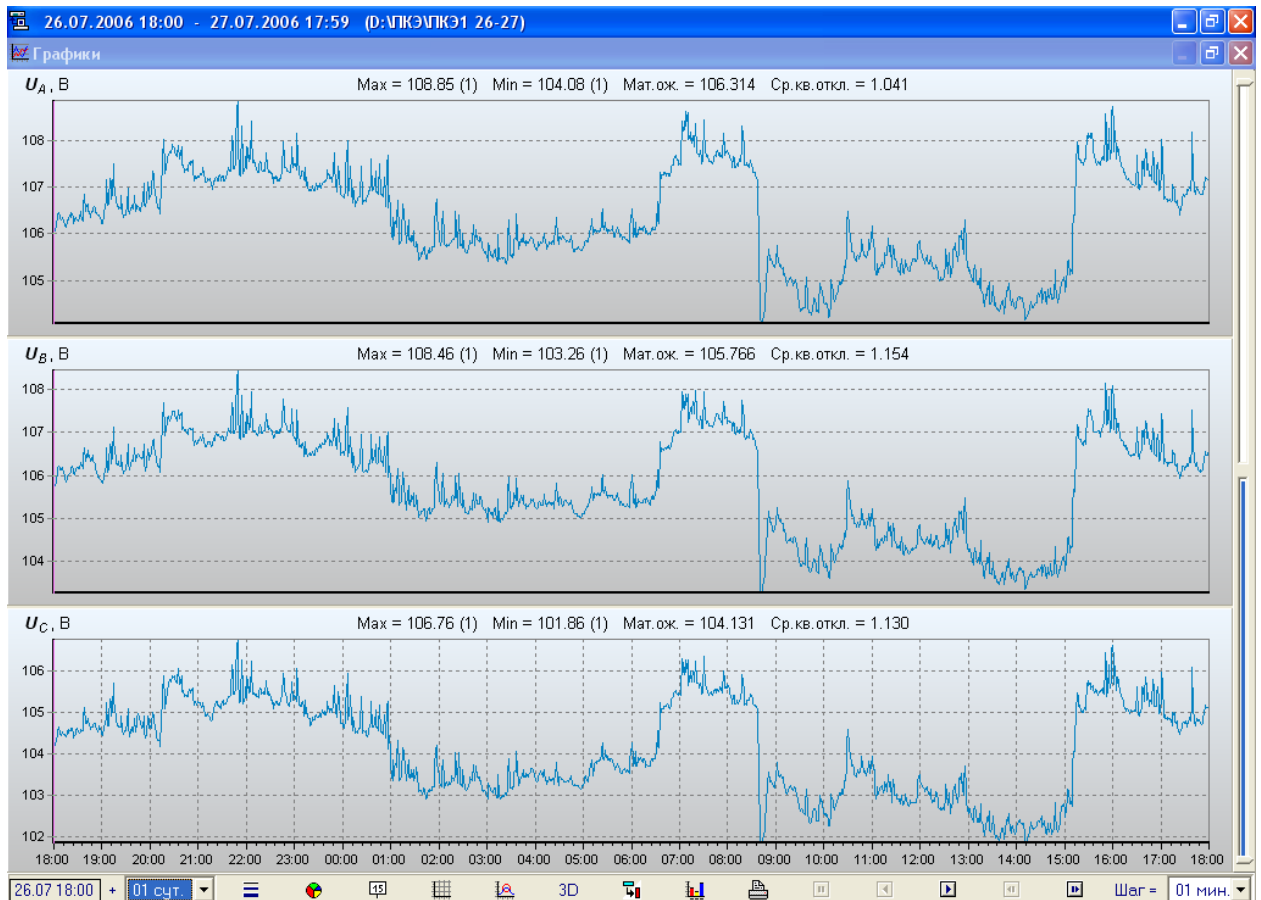


Рисунок 1.1 - Криві напруги на вводі за 1 добу



Рисунок 1.2 - Криві напруги на вводі за 2 добу

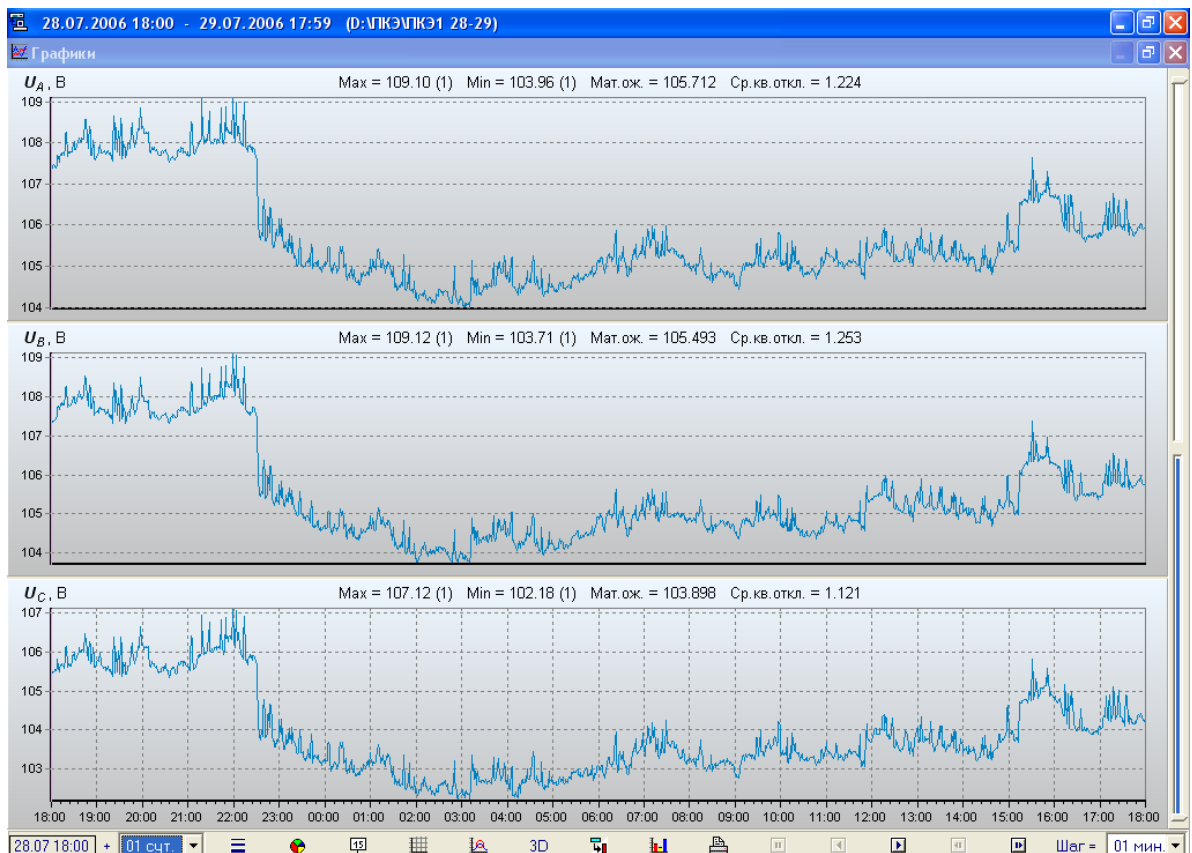


Рисунок 1.3 - Криві напруги на вводі за 3 добу

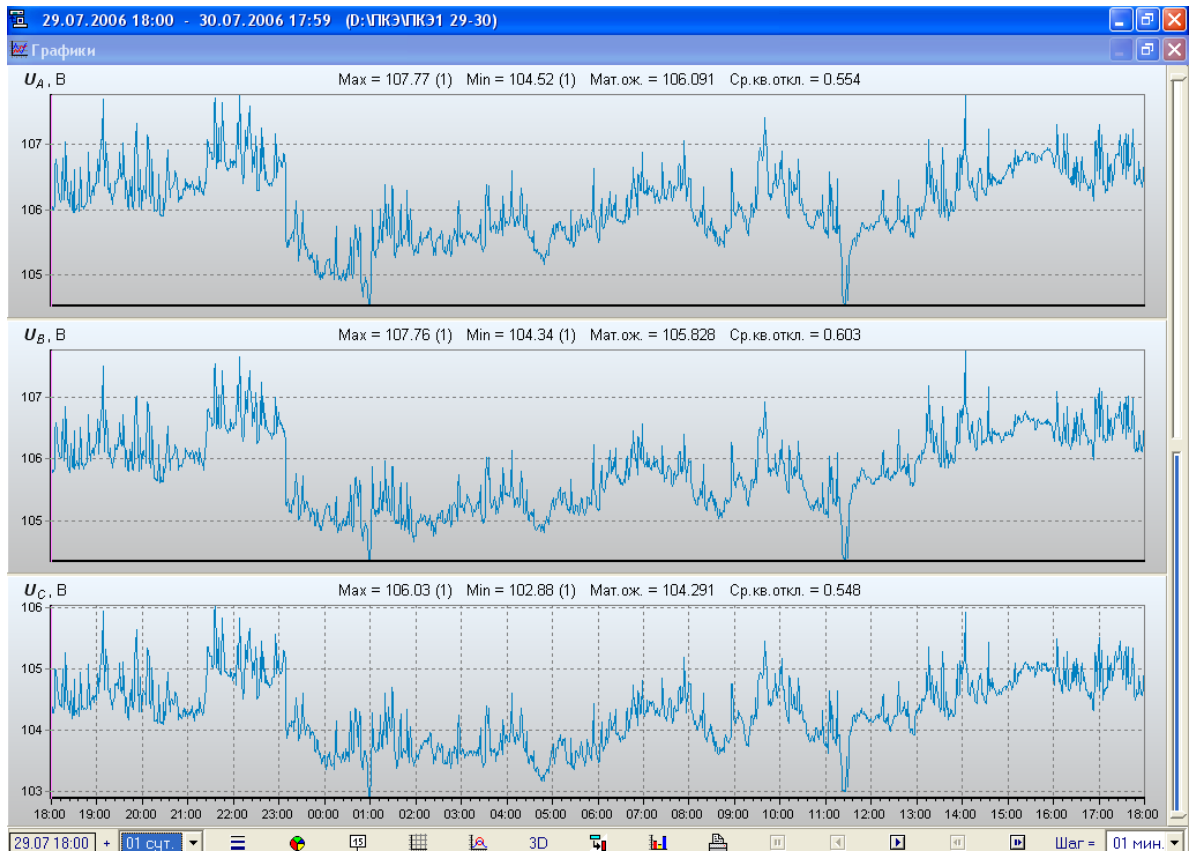


Рисунок 1.4 - Криві напруги на вводі за 4 добу

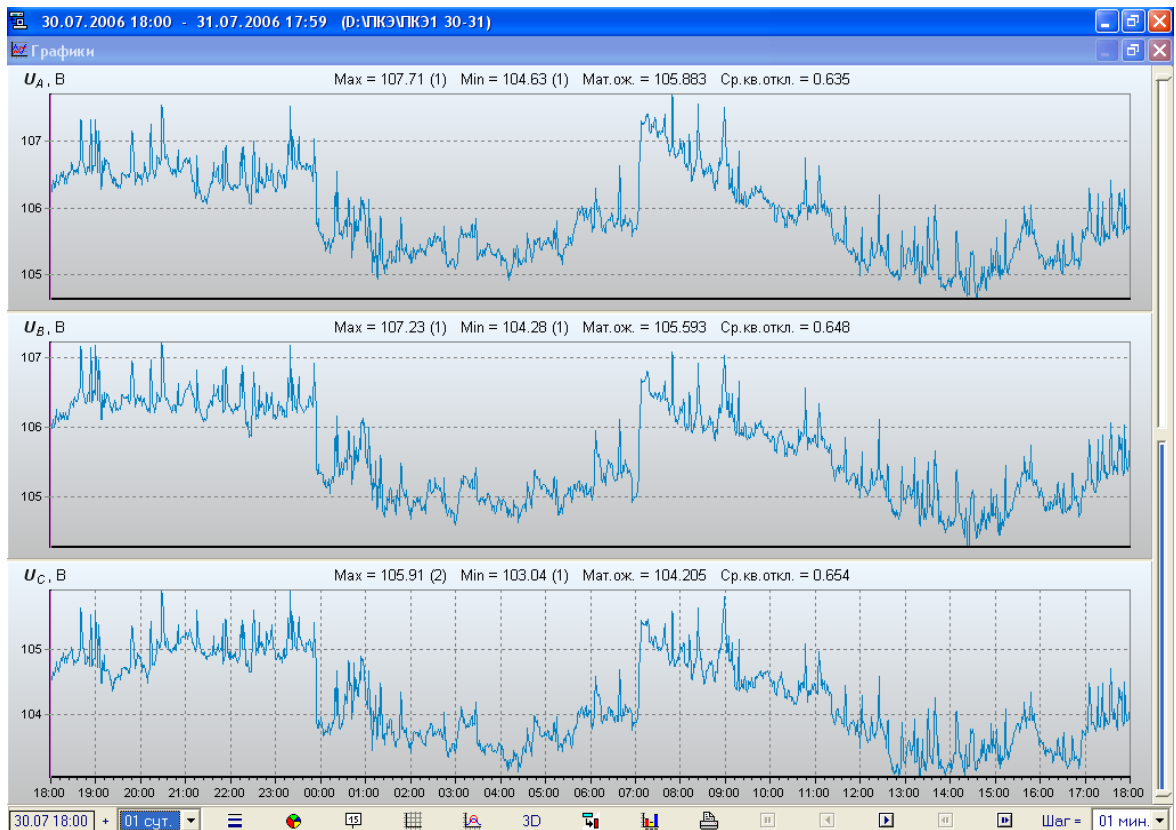


Рисунок 1.5 - Криві напруги на вводі за 5 добу

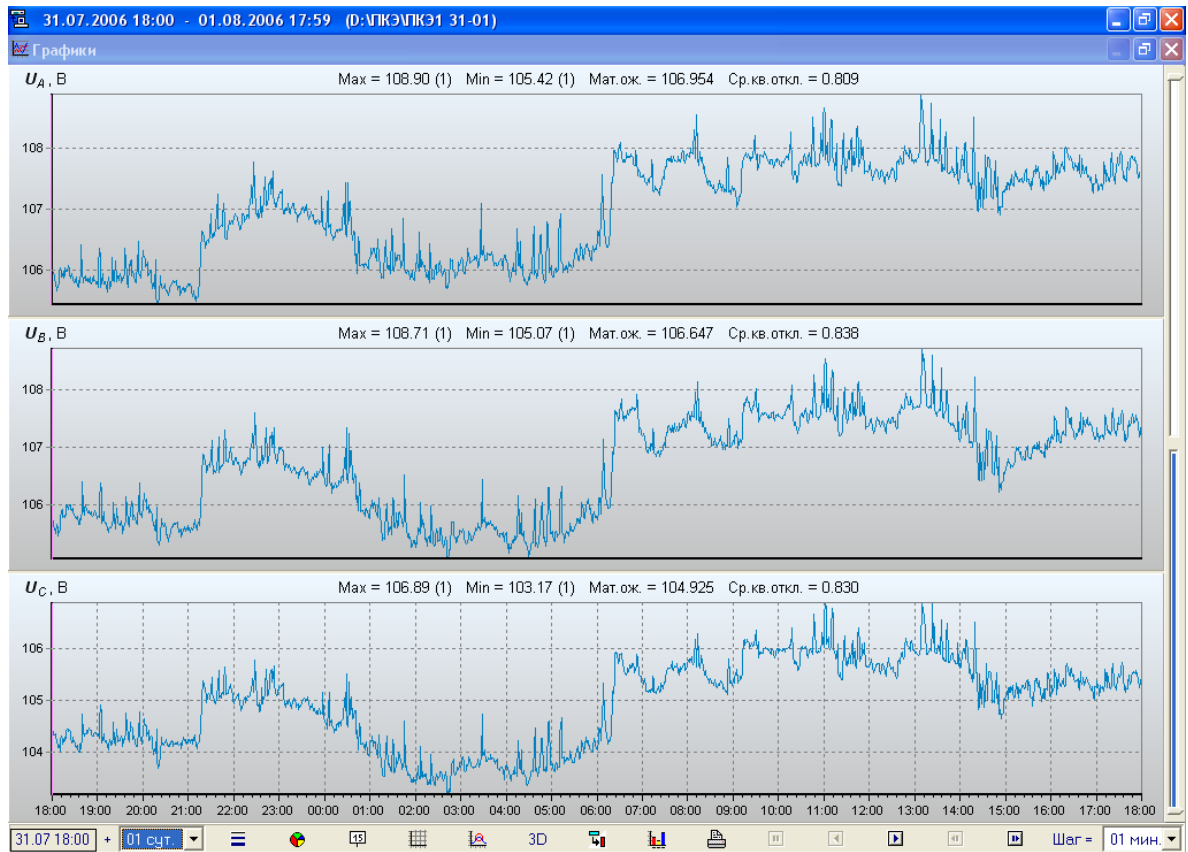


Рисунок 1.6 - Криві напруги на ввіді за 6 добу

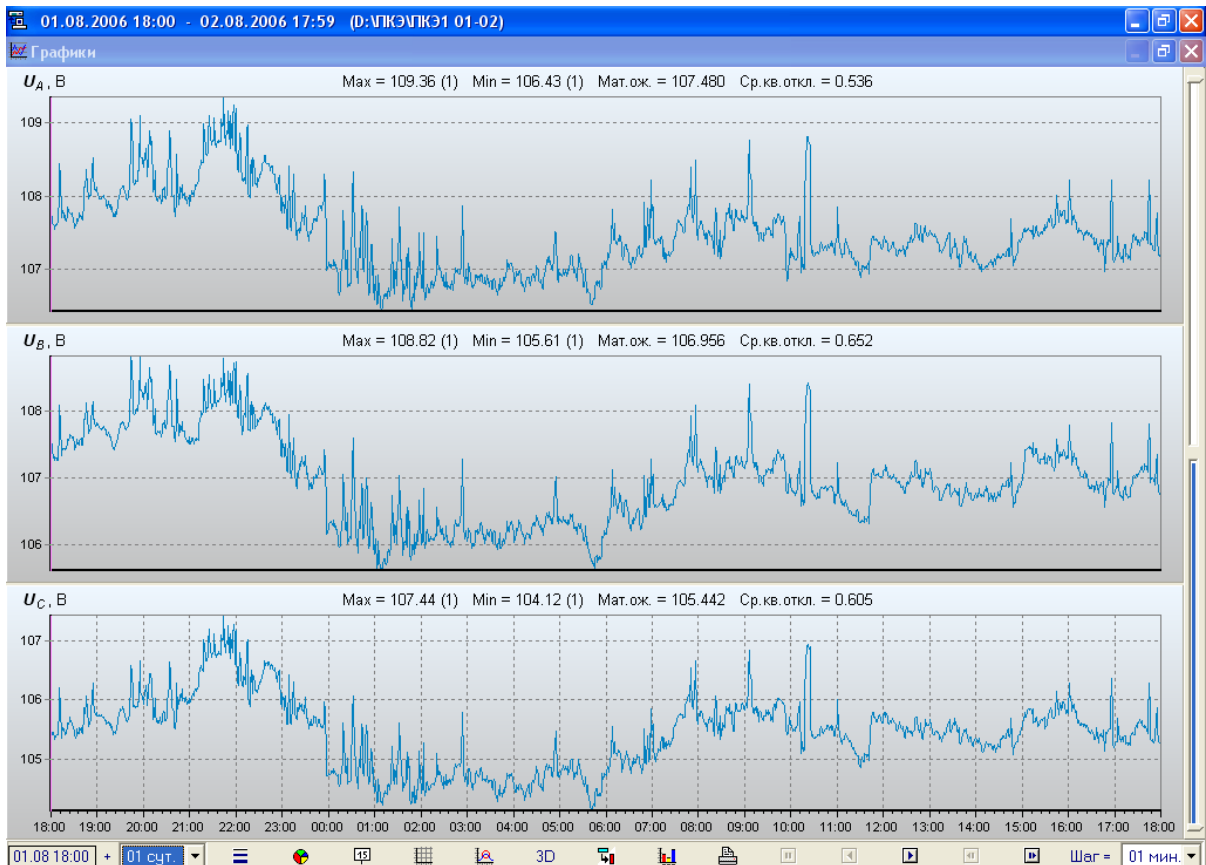


Рисунок 1.7 - Криві напруги на ввіді за 7 добу

Таблиця 1.8 - Вимір показників якості електроенергії

Показник	Значення			Відхилення			Виходи
	СР.,В	НБ, В	НМ, В	СР.,%	НБ,%	НМ,%	НД, %
U_{AB}	105,81	107,8	105,12	0,77	2,67	0,11	0
U_{BC}	105,33	107,39	104,69	0,31	2,28	-0,30	0
U_{CA}	103,45	105,76	102,7	-1,48	0,72	-2,19	0
U_{np}	104,83	106,95	104,17	-0,16	1,86	-0,79	0
$f, Гц$	49,99	50,03	49,97	-0,01	- 0,03	+ 0,03	0
$K_{OU}, \%$		0,02					0
$K_{2U}, \%$		1,54					0
$Ku U_{AB}, \%$		5,89					99,90
$Ku U_{BC}, \%$		5,81					99,51
$Ku U_{CA}, \%$		5,65					97,38

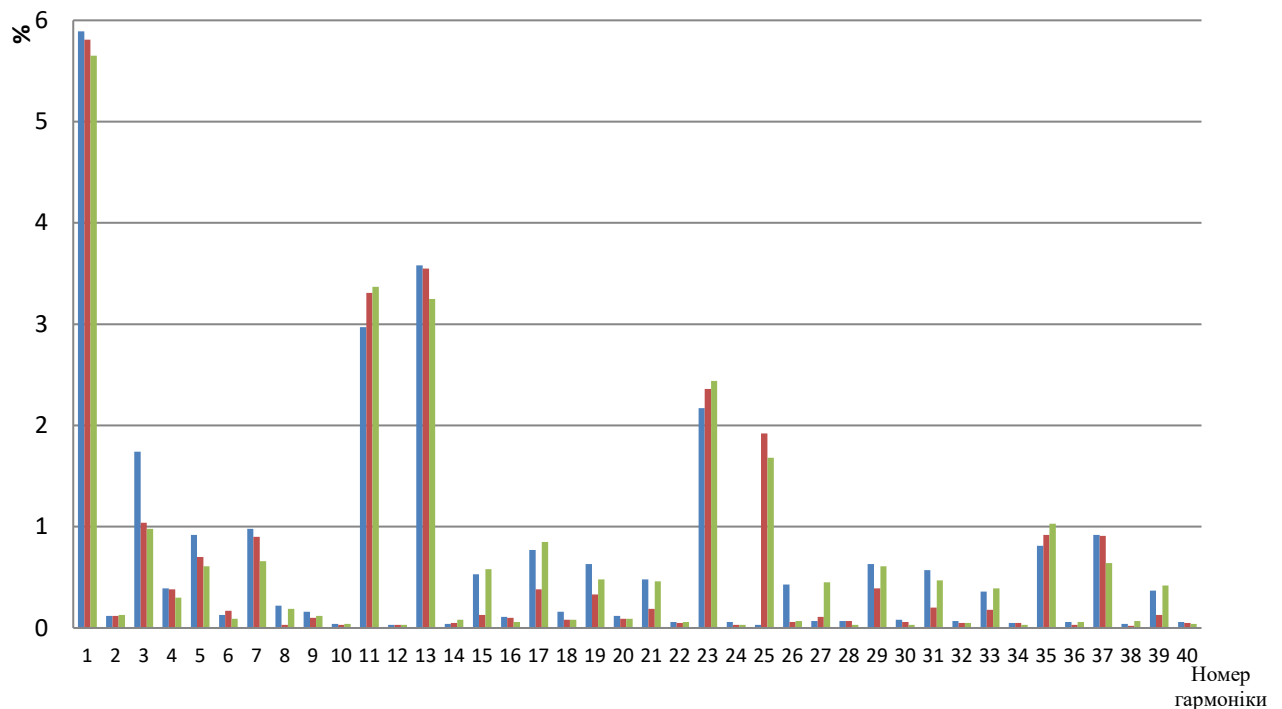


Рисунок 1.8 - Графічне зображення коефіцієнтів гармонійних складових напруги

Дата		Интервал		Всего минут		Статистика за					
		18:00-17:59		1440		1440		(100.0%)			
Показатели	Среднее	Наибольшее		Наименьшее		$T_{нд.}, \%$		$T_{пред.}, \%$			
U_A	105.81	107.80		105.12		100.0		0.0		0.0	
U_B	105.33	107.39		104.69		79.7		0.0		0.0	
U_C	103.45	105.76		102.70		2.2		0.0		0.0	
$U_{1(1)}$	104.83	106.95		104.17		23.9		0.0		0.0	
$f, Гц$	49.99	50.03		49.97		0.0		0.0		0.0	
$K_{0U}, \%$		0.02				0.0		0.0		0.0	
$K_{2U}, \%$		1.54				0.0		0.0		0.0	
№ =	$K_{U(n)} нБ А$	$T_{нд. А}, \%$	$T_{пред. А}, \%$	$K_{U(n)} нБ В$	$T_{нд. В}, \%$	$T_{пред. В}, \%$	$K_{U(n)} нБ С$	$T_{нд. С}, \%$	$T_{пред. С}, \%$		
K_U	5.89	99.90	0.00	5.81	99.51	0.00	5.65	97.38	0.0	0.0	
$K_{U(2)}$	0.12	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.13	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(3)}$	1.74	58.06	0.00	1.04	0.00	0.00	0.98	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(4)}$	0.39	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.30	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(5)}$	0.92	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.61	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(6)}$	0.13	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.09	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(7)}$	0.98	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.66	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(8)}$	0.22	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.19	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(9)}$	0.16	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.12	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(10)}$	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(11)}$	2.97	100.00	0.00	3.31	100.00	99.69	3.37	100.00	99.9	99.9	
$K_{U(12)}$	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(13)}$	3.58	100.00	99.78	3.55	100.00	99.31	3.25	100.00	87.5	87.5	
$K_{U(14)}$	0.04	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.08	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(15)}$	0.53	99.96	55.00	0.13	0.00	0.00	0.58	100.00	78.1	78.1	
$K_{U(16)}$	0.11	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.06	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(17)}$	0.77	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.85	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(18)}$	0.16	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(19)}$	0.63	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.48	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(20)}$	0.12	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(21)}$	0.48	100.00	98.31	0.19	0.00	0.00	0.46	100.00	96.0	96.0	
$K_{U(22)}$	0.06	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.06	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(23)}$	2.17	100.00	91.74	2.36	100.00	95.90	2.44	100.00	99.9	99.9	
$K_{U(24)}$	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(25)}$	2.06	100.00	87.58	1.92	100.00	85.75	1.68	90.47	3.06	3.06	
$K_{U(26)}$	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.07	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(27)}$	0.43	99.62	85.94	0.11	0.00	0.00	0.45	100.00	91.90	91.90	
$K_{U(28)}$	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(29)}$	0.63	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.61	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(30)}$	0.08	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(31)}$	0.57	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.47	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(32)}$	0.07	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(33)}$	0.36	100.00	16.42	0.18	0.00	0.00	0.39	100.00	73.12	73.12	
$K_{U(34)}$	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(35)}$	0.81	0.90	0.00	0.92	19.31	0.00	1.03	100.00	0.0	0.0	
$K_{U(36)}$	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(37)}$	0.92	12.07	0.00	0.91	48.25	0.00	0.64	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(38)}$	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.07	0.00	0.0	0.0	
$K_{U(39)}$	0.37	80.31	5.61	0.13	0.00	0.00	0.42	98.72	11.04	11.04	
$K_{U(40)}$	0.06	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.0	0.0	

Рисунок 1.9 - Експериментальне визначення коефіцієнтів гармонійних складових напруги

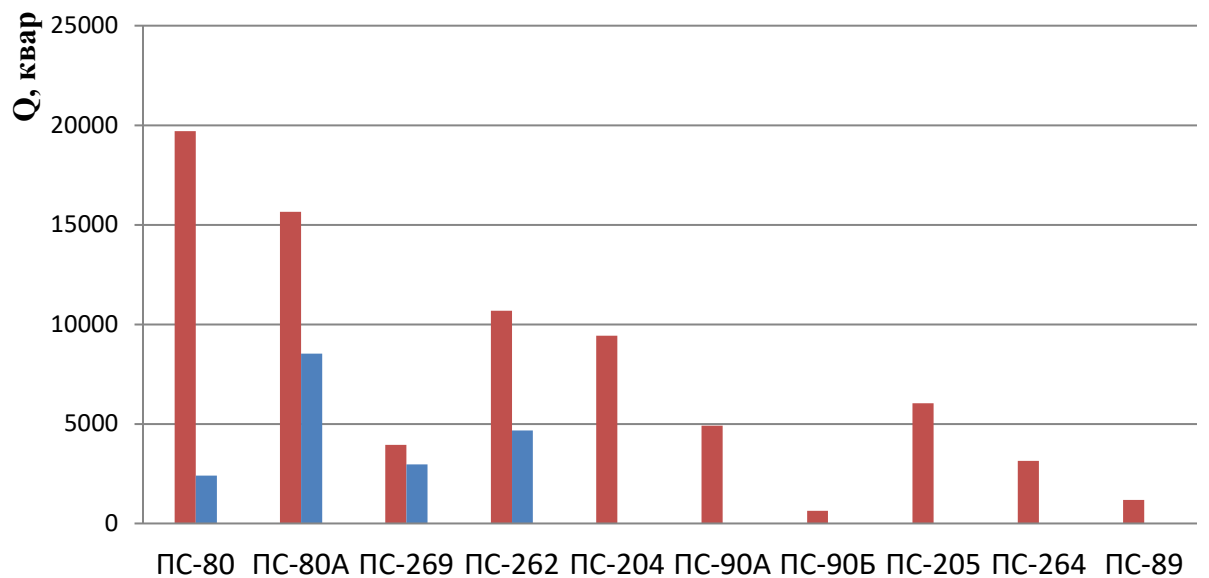
За наведеними даними побудовано відповідний графік, який показує, що перевищено рівень кількох гармонік, представлено на рисунку 1.8.

Отже, аналіз проведених досліджень впливу фільтрокомпенсуючих пристроїв Ф-3 і Ф-5 на 15-у, 21-у, 27-у, 33-ю і 39-у гармонійні складові показав, що ефективність їх недостатня для нормалізації рівня цих гармонік.

Крім того, було досліджено споживання підприємством реактивної потужності. Результати зведено до таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Баланс реактивної енергії на підприємстві

Найменування вводу	Середньогодинне споживання реактивної потужності $Q_{с год}$, кВар·год	Реактивна потужність компенсації ФКП $Q_{ком}$, кВар
ПС-80	19703	2400
ПС-80А	15647	8530
ПС-269	3946	2964
ПС-262	10679	4676
ПС-204	9437	-
ПС-90А	4916	-
ПС-90Б	643	-
ПС-205	6033	-
ПС-264	3137	-
ПС-89	1175	-



Позначення ПС

Рисунок 1.10 – Рівень споживання і компенсації реактивної енергії за вводами

Як видно із таблиці 1.8, рівень компенсації останньої на підприємстві незадовільний. На рисунку 1.9 наведено графічне представлення рівня споживання реактивної потужності.

Отже, після проведеного аналізу можна зазначити, що реактивна потужність існуючих фільтрокомпенсуючих пристроїв Ф-3 і Ф-5 дозволяє знизити споживання реактивної потужності лише на 10-11%, що явно недостатньо.

За коефіцієнтом несинусоїдальності і коефіцієнтам 3-ї, 11-ї, 13-ї, 15-ї, 21-ї, 23-ї, 25-ї, 27-ї, 33-ї, 35-ї, 37-ї і 39-ї гармонійних складових якості електроенергії не відповідає нормованим значенням, що говорить про недостатню ефективність існуючих фільтрокомпенсуючих пристроїв.

Показники якості електроенергії, за винятком коефіцієнта несинусоїдальності і коефіцієнтів вищих гармонійних складових, відповідають нормованим значенням. Встановлена потужність цехів основного і допоміжного виробництва зведено до таблиці 1.10 та зображено на рисунку 1.11.

Таблиця 1.10 - Встановлена потужність цехів основного і допоміжного виробництва

Встановлена потужність, кВт		Назва цеху								
		ЕСПЦ-1	ЕСПЦ-2	ЕСПЦ-3	ЕСПЦ-5	ЦПМ	Копровий	Прокатний	Енергосиловий	КПЦ
Напруга, кВ	0,4	4938,8	6275,2	4794,2	1102,2	8651	3517	44042	22902	1820
	10	200	4300	4800	85718	4200	4000	30500	17150	7000
	35	-	52000	88000	-	-	-	-	-	-

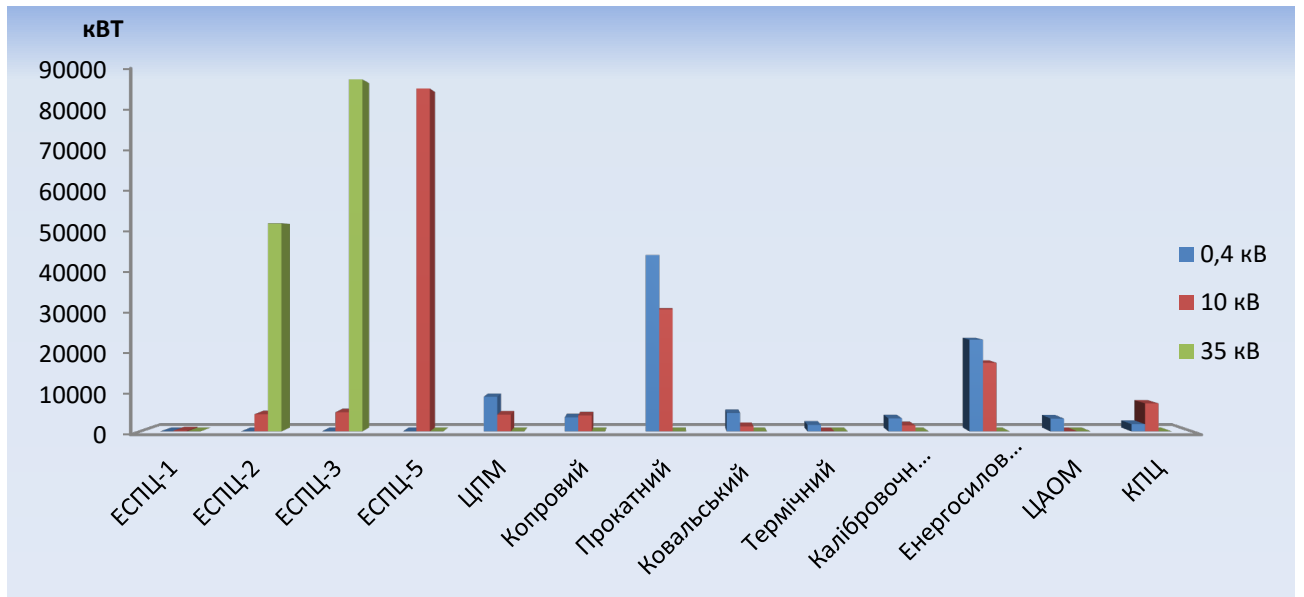


Рисунок 1.11 - Діаграма встановленої потужності споживачів електроенергії переробного та сталеплавильного виробництва

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ККД СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБЛАДНАННЯ ОСНОВНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Постановка задач дослідження

Наявність високих рівнів вищих гармонійних складових у струмі і напрузі приводить до ряду негативних явищ - збільшуються втрати в електричних мережах, в силових трансформаторах, скорочується термін служби ізоляції електричних машин і високовольтних апаратів. Крім того, ускладнюється робота пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки.

Наявність вищих гармонік в напрузі супроводжує виникнення і впливає на перебіг іонізаційних процесів в ізоляції трансформаторів, зростає рівень часткових розрядів, утворюються об'ємні заряди. Нейтралізація цих зарядів призводить до впливу на навколишній діелектрик, що сприяє виникненню місцевих дефектів ізоляції, зниження електричної міцності і зростанню діелектричних втрат. Крім того, при впливі вищих гармонійних складових виникає підвищений нагрів ізоляції і незворотні фізико-хімічні процеси, що призводить до її прискореного старіння. Отже, при несинусоїдальному напрузі знижується термін служби електрообладнання системи електропостачання. Як показує досвід експлуатації, в мережах з великою питомою вагою вентильних навантажень частіше виникають однофазні замикання на землю в кабелі.

При роботі силових трансформаторів в умовах несинусоїдальної напруги і струму зростають втрати на вихрові струми в магнітопроводі і збільшуються втрати в обмотках трансформаторів за рахунок поверхневого ефекту, що веде до зростання втрат активної потужності. Такі ж втрати мають місце в трансформаторах перетворювальних агрегатів. За рахунок цього знижується коефіцієнт корисної дії (коефіцієнт перетворення)

випрямних агрегатів. При несинусоїдних режимах мережі знижується точність обліку енергії. При коефіцієнті несинусоїдальності КНС $\approx 7-10\%$ може мати місце підвищена похибка. Клас точності датчиків інформації - трансформаторів струму і напруги при таких режимах також не гарантується. Метою даної роботи є розрахунок втрат потужності в системі внутрішньозаводського електропостачання сталеплавильного цеху, експериментальне дослідження втрат потужності і ККД системи електропостачання обладнання від межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь» до введення в корпуси сталеплавильного цеху.

Нормовані значення для 27-ї, 33-ї і 39-ї гармонік такі ж, як і для 21-ї гармоніки. Як показали дослідження, їх рівень практично такий же, як і 21-ї гармоніки, а ймовірність виходу за нормально припустимі значення наближається до 100% і в багатьох випадках велика ймовірність виходу за гранично допустимі значення. Аналіз проведених досліджень впливу фільтрокомпенсуючих пристроїв Ф-3 і Ф-5 на 15-у, 21-у, 27-у, 33-ю і 39-у гармонійні складові показав, що ефективність їх недостатня для нормалізації рівня цих гармонік. Крім того, при проведенні досліджень відзначено, що ефективність фільтрів Ф-3 і Ф-5 як пристроїв для компенсації реактивної потужності дуже невисока. Середнє значення споживаної потужності без фільтрів склало 23600 кВАр, з фільтром Ф-3 22267 кВАр, з фільтрами Ф-3 і Ф-5 21200 кВАр.

Отже, необхідне проведення вимірювань та визначення показників якості електроенергії системи електропостачання ВАТ «ДСС»; дослідження ефективності роботи фільтрокомпенсуючих пристроїв для компенсації реактивної потужності і підвищення якості електроенергії; розробка рекомендацій щодо нормалізації якості електроенергії; розрахунок втрат потужності і електричної енергії в системі внутрішньозаводського електропостачання; дослідження впливу на ККД системи електропостачання запропонованих заходів.

2.2 Попередні випробування

Попередні випробування проводилися відповідно до робочої програми. Лічильники пройшли повірку в цеху КВП ПрАТ «Дніпроспецсталь». Перед проведенням випробувань всі контактні поверхні провідників з'єднують шунти постійного струму на виході ШВ з лічильниками ампер-годин були зачищені.

У таблиці 2.1 наведені результати випробувань: середні значення струмів по кожному ШВ. У зв'язку з тим, що в процесі проведення попередніх випробувань виведено в ремонт обладнання печей, його поправочний коефіцієнт не визначався, а в процесі проведення досліджень до шунту обох ШВ були підключені лічильники.

Таблиця 2.1 - Попереднє визначення поправочних коефіцієнтів лічильників

Номер ППА	Дата вимірювань	Проміжок часу, г	Струм ШВ (середнє значення), А				Струм (середнє значення), А	Обраний ШВ	Поправочний коефіцієнт
			ШВ1	ШВ2	ШВ3	ШВ4			
5	13.02.13 16.02.13	74.2	4397	4357	4015	4210	1697	ШВ4	4.033
6	17.02.13 19.02.13	40.0	4333	4628	4448	4543	1795	ШВ3	4.036
7	11.02.13 12.02.13	24.4	4190	4173	3997	4014	1637	ШВ2	3.923
8	06.02.13 09.02.13	78.8	3429	3534	3509	3153	1362	ШВ1	3.973
26	31.01.13 02.02.13	45.7	2714	2394	2396	2414	991	ШВ4	4.109

Таблиця 2.2 – Остаточне визначення поправочних коефіцієнтів лічильників

Номер	Дата вимірювань	Проміжок часу, год	Струм ШВ (середнє значення), А				Струм, А	Обраний ШВ	Поправочний коефіцієнт
			ШВ1	ШВ2	ШВ3	ШВ4			
5	04.06.13 06.06.13	41.1	4380	4409	4068	4236	1709	ШВ4	4.035
6	28.03.13 30.03.13	41.8	3968	4272	4107	4215	1656	ШВ3	4.033
7	02.04.13 03.04.13	16.6	4359	4359	4172	4184	1707	ШВ2	3.917
8	03.04.13 04.04.13	18.0	3765	3865	3848	3505	1498	ШВ1	3.979
26	06.04.13 07.07.13	24.1	3395	3056	3060	3049	1256	ШВ4	4.119

Відповідно до робочої програми такі ж випробування повинні проводитися після досліджень, як завершальний етап, що підтверджує правильність визначення параметрів при випробуваннях. У таблиці 2.2 наведені результати випробувань. Як видно з таблиць 2.1 і 2.2 поправочні коефіцієнти відрізняються незначно, що можна віднести до погрішності проведення випробувань [28].

2.3 Визначення ККД системи електропостачання обладнання

Експериментальні дослідження ККД системи електропостачання сталеплавильних печей проводилися за спеціально розробленою методикою.

При проведенні досліджень всі печі отримували живлення від третьої секції першої системи шин. Крім того, до третьої секції першої системи шин було підключено фільтрокомпенсуючий пристрій БК-5. Всі інші навантаження від третьої секції першої системи шин були відключені або переведені на інші джерела живлення. У цьому випадку, електроенергія надходить на ввіді Т13 на третю секцію першої системи шин призначена тільки для живлення електродів.

Визначення втрат потужності і ККД системи електропостачання визначається як відношення електроенергії, що надходить в сталеплавильний цех до активної електроенергії, що надходить ПрАТ «Дніпроспецсталь» від електропостачальної організації для електроживлення обладнання:

$$\eta = \frac{(V_5 + V_6) \times I_{3cp}}{W_{T3}}, \quad (2.1)$$

де W_{T3} -електроенергія виміряна на межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь» по введенню Т13 на третю секцію першої системи шин, від якої живляться печі:

$$W_{T3} = (W_{KT3} - W_{HT3}) K_W, \quad (2.2)$$

W_{HT3} ; W_{KT3} - показання лічильника активної енергії на початку і наприкінці розглянутого часового інтервалу;

K_W - коефіцієнт перерахунку від показань лічильника на межі балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь» до кількості електроенергії (по вводу Т13);

V_5, V_6 - кількість вольт-годин, визначене в плинні розглянутого часового інтервалу на п'ятому і шостому корпусах сталеплавильного цеху.

$$V_5 = V_{к5} - V_{н5}, \quad (2.3)$$

$$V_6 = V_{к6} - V_{н6}, \quad (2.4)$$

$V_{н5}, V_{к5}$ - показання лічильника вольт-годин встановленого на ввіді в п'ятий корпус сталеплавильного цеху на початку і наприкінці розглянутого часового інтервалу;

$V_{н6}, V_{к6}$ - показання лічильника вольт-годин встановленого на ввіді в шостий корпус сталеплавильного цеху на початку і наприкінці розглянутого часового інтервалу;

I_{3cp} - середнє значення струму в розглянутому часовому інтервалі:

$$I_{3cp} = \Sigma I_j \quad (2.5)$$

I_j - середнє значення струму j - і печі,

$$I_j = \frac{A_{кj} - A_{нj}}{\Delta t} \times K_{Aчj} \quad (2.6)$$

$A_{нj}, A_{кj}$ - показання лічильника ампер-годин, підключеного до «середнього» шунту j – і печі на початку і наприкінці розглянутого часового інтервалу;

K_j - поправочний коефіцієнт для перерахунку показань лічильника ампер-годин до струму.

2.4 Визначення рівня економічно доцільної компенсації реактивної потужності на підприємстві

Регулювання струму здійснюється тільки ступінчасто - за допомогою РПН агрегатних трансформаторів, а це в багатьох випадках робить

необхідним використовувати для створення необхідного режиму більше число агрегатів і при цьому завантажувати їх нерівномірно - на різних щаблях РПН, а так ж постійно перемикає РПН агрегатних трансформаторів.

Крім того, для визначення впливу фільтрокомпенсуючого пристрої БК-5 на ККД проведені дослідження зазначених режимів роботи при включеному і вимкненому пристрої БК-5. РПН всіх агрегатів знаходяться в одному положенні і керування перемиканням - одночасно. Таке регулювання, в загальному випадку, не дозволяє з високою точністю виставити струм уставки, тому проводиться розрахунок часу роботи на кожній з підібраних ступенів РПН і постійно виробляються перемикання, щоб у середньому витримати струм уставки. При цьому має місце нерівномірність струморозподілу.

Дослідження режиму роботи проводилися на протязі п'яти часових інтервалів. Загальний час досліджень - 115.84 години. При цьому визначався вплив фільтрокомпенсуючого пристрою БК-5 на ККД системи електропостачання печей. Так в трьох часових інтервалах - БК-5 було включено, а в двох тимчасових інтервалах відключено. Втрати активної потужності на генерацію реактивної енергії невеликі й становлять $\approx 0.16\%$. Значно більший вплив на ККД надають значення струму і напруги.

Так при одній і тій же уставці середнє значення струму залежить від кількості і характеру анодних ефектів, а так само можливості регулювання струму (з урахуванням мінливої у часі напруги енергосистеми - на вводі Т13). Крім того, нестабільна і напруга. Середнє значення напруги при одному і тому ж струмі залежить від режиму роботи електролізерів і регулювання їх параметрів. Середньостатистичне значення ККД склало $\eta = 0.955$.

Крім того, в режимах при відключеному пристрої БК-5 визначена реактивна потужність, споживана системою електропостачання обладнання. У середньому вона склала 16282 кВАр. При включеному пристрої БК-5 споживана реактивна потужність практично повністю компенсується. При

цьому має місце, в певні проміжки часу, невелике споживання реактивної потужності та її невелика генерація.

Інформація, отримана за результатами вимірювань у кожному часовому інтервалі - середнє значення, може сильно відрізнятися від режимів, які мають місце періодично в певні проміжки часу. Дослідження даного режиму роботи проведено в п'яти тимчасових інтервалах. Загальний час проведення досліджень 123,32 години. У двох тимчасових інтервалах пристрій БК5 було включено, а в трьох - було відключено. У середньому споживання реактивної потужності склало 16560 кВАр. При включенні пристрою БК5 практично повністю забезпечувалося компенсація реактивної потужності, і при цьому на протязі часового інтервалу невелика реактивна потужність споживалася, і невелика генерувалася. Так у тимчасових інтервалах 12 - 14.03.2014 (52,38 години) споживана реактивна потужність склала 397 кВАр, а генерована - 382 кВАр.

В середньому ККД. системи електропостачання вийшов найменшим порівняно з іншими режимами роботи $\eta = 0.950$.

Також для комплексного обстеження системи електропостачання було прийнято рішення проаналізувати баланс реактивної потужності на підприємстві. Рівень її компенсації наявними засобами недостатній і необхідні відповідні економічно обґрунтовані заходи.

Крім того, для додержання балансу між витратами підприємства на купівлю реактивної енергії з мережі і капітальних витрат на реконструкцію системи електропостачання за вищенаведеними запропонованими варіантами було визначено рівень економічно доцільної компенсації реактивної потужності і наведено в таблиці 2.3, а також представлено графічно на рисунку 2.1.

Таблиця 2.3 – Визначення рівня економічно доцільної компенсації реактивної потужності на підприємстві

Q _{комп} , %	Вартість ФКП	Вартість втрат електроенергії ВΔР, тис. грн	Сумарна вартість, тис. грн
0	0	9 269,2	9 269,2
10	480,2	8 089,0	8 569,2
20	819,6	7 257,1	8 076,7
30	1139,1	6 675,5	7 814,6
40	1418,7	6 183,9	7 602,6
50	1818,3	5 539,3	7 357,6
60	2277,9	4 830,7	7 108,6
70	2857,5	4 059,1	6 916,6
80	3375,1	3 460,5	6 835,6
90	3816,7	3 281,8	7 098,5
100	4468,0	3 422,7	7 890,7

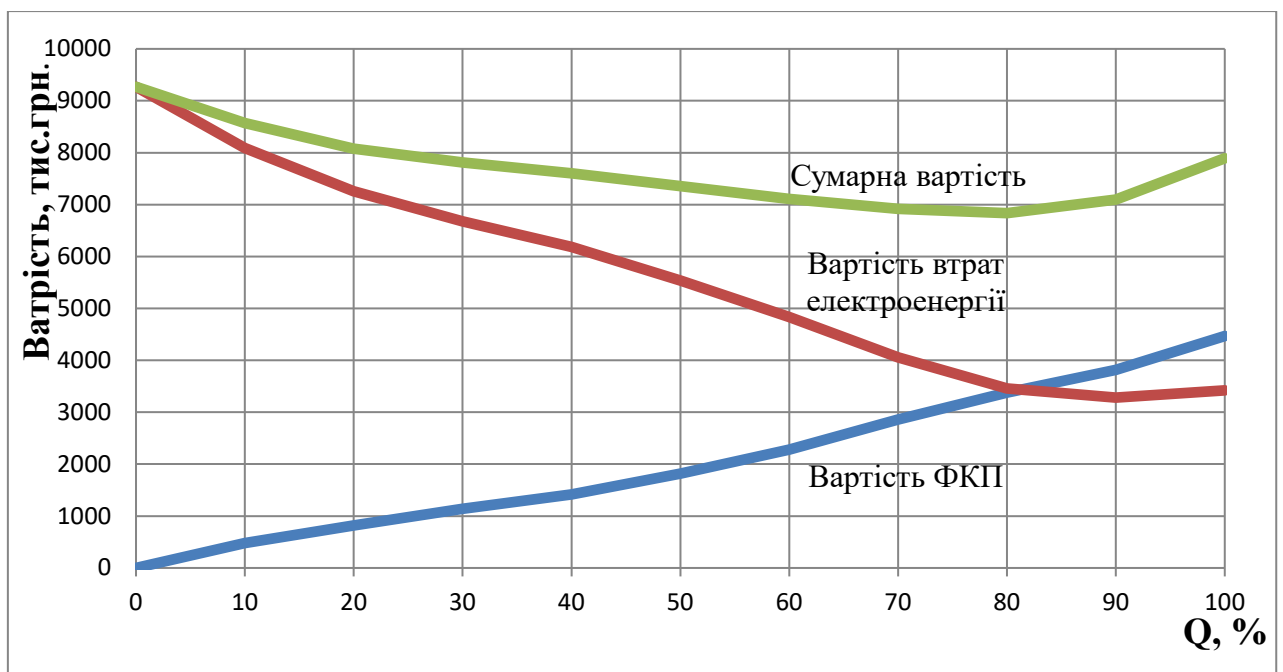


Рисунок 2.1 – Графічне представлення рівня економічно доцільної компенсації реактивної потужності на підприємстві

З графіку на рисунку 2.1 видно, що рівень 82% від загального споживання реактивної потужності є для даного підприємства оптимальним.

Отже, проведено аналіз системи внутрішньозаводського електропостачання обладнання. Проведено розрахунок втрат потужності електроенергії в елементах системи внутрішньозаводського електропостачання при найбільш характерних режимах роботи електрообладнання.

Проведено аналіз втрат потужності системи внутрішньозаводського електропостачання. Найбільші втрати потужності електроенергії в наступних елементах системи електропостачання (в дужках вказано відсоток від споживаної потужності):

- агрегатні трансформатори 409.0 ÷ 462.9 кВт (0.79 ÷ 0.90%);
- випрямні блоки 252.9 ÷ 342.9 кВт (0.49 ÷ 0.66%);
- мережі змінного струму 0.8 кВ 99.3 ÷ 141.5 кВт (0.19 ÷ 0.27%);
- серійна ошиновка випрямленого струму 128.6 кВт (0.25%);
- збірні шини випрямленого струму 73.1 ÷ 90.1 кВт (0.14 ÷ 0.17%).

Експериментально визначено ККД системи електропостачання обладнання при різних режимах роботи електрообладнання. ККД системи електропостачання залежить від режиму роботи обладнання системи електропостачання. В середньому ККД становить $\eta = 0.953$.

2.5 Аналіз споживання реактивної потужності до і після реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв

На підставі аналізу споживання реактивної потужності в 2013 році усереднений тариф за спожиту реактивну електроенергію склав:

- ввід Т-11 0,007247 грн/кВар;
- ввід Т-12 0,004044 грн/кВар;

Розмір оплати за спожиту реактивну електроенергію визначено згідно з актами споживання реактивної електроенергії за 2013 рік. Виходячи з розрахункових значень скомпенсованої реактивної потужності, проведено аналіз споживання реактивної потужності при реалізації перерахованих вище варіантів. Для нормальної роботи системи електропостачання комбінату спільно з енергопостачальною організацією необхідними умовами є відсутність нульових значень споживання реактивної потужності на вводах напруги 10кВ, відповідних кордонів балансової належності ПрАТ «ДСС» (Т-1, Т-2, Т-3, Т-4) і генерації реактивної енергії в мережу.

Визначаємо споживання реактивної потужності за умови відсутності ФКП:

$$Q_{\text{бФКП}} = Q_{\text{с год}} + Q_{\text{ком}},$$

де $Q_{\text{с год}}$ - середньогодинне споживання реактивної потужності, кВар;

$Q_{\text{ком}}$ - реактивна потужність компенсації ФКП, кВар

Для вводу Т-11:

$$Q_{\text{бФКП}} = 19703 + 2400 = 22103 \text{ кВар.}$$

Визначаємо величину споживання реактивної потужності при впровадженні варіантів реконструкції та заміни ФКП:

$$Q_{\text{рек}} = Q_{\text{бФКП}} - Q_{\Sigma},$$

де Q_{Σ} - сумарна реактивна потужність компенсації при реалізації варіантів реконструкції та заміни ФКП.

Для вводу Т-11 (варіант 1-2):

$$Q_{\text{рек}} = 22103 - 21000 = 1103 \text{ кВар}$$

Визначаємо витрати активної потужності на компенсацію реактивної ФКП:

$$P = Q_{\Sigma} \cdot K_p, \text{ кВт},$$

де K_p - коефіцієнт, що враховує додаткові втрати активної енергії на генерацію реактивної; 0,0025 кВт/кВар.

$$P=21000 \cdot 0,0025=52,5 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.4 - Втрати потужності в системі електропостачання сталеплавильних печей

Найменування елемента системи	До впровадження		Після впровадження		Зменшення втрат потужності	
	Втрати потужності		Втрати потужності			
	кВт	%	кВт	%	кВт	%
1	2	3	4	5	6	7
Збірні шини 10 кВ	0.87	0.00	0.77	0.00	0.1	0.000
Мережі 10 кВ: від збірних шин до введів (без кабелів 10 кВ)	9.77	0.02	8.45	0.02	1.32	0.003
Кабелі 10 кВ: від масляних вимикачів до чарунки	42.62	0.08	36.8	0.07	5.82	0.011
Пічні трансформатори	421.68	0.82	409.02	0.79	12.6	0.025
Дроселі урівнюючі	18.9	0.04	11.3	0.02	7.6	0.015
Фільтрокомпенсуючі пристрої	84.8	0.16	80.8	0.16	4	0.008
Коротка мережа	113	0.22	99.3	0.19	13.7	0.027

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7
Гнучкі кабелі	337.1	0.65	252.88	0.49	84.2	0.163
Пакет шин	24.49	0.05	21.9	0.04	2.59	0.005
Трубошини	4.07	0.01	3.63	0.01	0.44	0.001
Електроотримачі	4.78	0.01	4.25	0.01	0.53	0.001
Ділянка: роз'єднувач - збірні шини	48.56	0.09	45.77	0.09	2.79	0.005
Збірні шини	87.65	0.17	82.14	0.16	5.51	0.011
Контактні з'єднання	128.55	0.25	112.55	0.22	16	0.031
Всього	1326.8	2.57	1169.5	2.24	157	0.304

Втрати в системі електропостачання сталеплавильних печей до та після впровадження запропонованих заходів з урахуванням економічно доцільного рівня компенсації реактивної потужності зведено до таблиці 2.4.

Результати дослідження показали, що ККД зазначеної системи збільшується за рахунок зниження впливу вищих гармонійних складових і економічно доцільній компенсації на 0,3%, що при рівні споживання близько 212 МВт, дає економію майже 7,9 млн. грн. на рік.

**3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»**

3.1. Обґрунтування доцільності впровадження заходів зі зниження споживання реактивної енергії

В роботі проведена оцінка заходів, необхідних для зменшення споживання реактивної електричної енергії та дотримання норм показників якості електроенергії ГОСТ 13109 - 97. Для проведення аналізу обраний період січень 2011 р - грудень 2011 р. Аналіз проводився згідно з актами споживання реактивної електричної енергії. Перелік варіантів реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв підключених до вводів 10 кВ фідерних підстанцій цеху наведено в таблиці 3.1 – 3.3.

Таблиця 3.1 - Опис варіантів впровадження реконструкції та заміни ФКП

Номер ФКП	№ вар.	Вид реалізації	Спосіб впровадження	Реактивна енергія, скомпенсована ФКП, кВар	Вартість обладнання, тис.грн
1	2	3	4	5	6
Ф-3	1	Реконструкція існуючого	КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1 -7 шт. Заміна реакторів	4737,36	244,4
	2	фільтра ТКРМ	КЕПФ-7,3-450-2УХЛ1 -5 шт. Заміна реакторів	5074,8	246,5
	3	Заміна існуючого фільтра на фільтр Ф3-10-2400 УЗ-2 шт.		4800	1352,726

Продовження таблиці 3.1

1	2	3		4	5
Ф-5	1	Реконструкція існуючого	КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1-8 шт. Заміна реакторів	5414,1	263,6
	2	фільтра ТКРМ	КЕПФ-7,3-450-2УХЛ1-5шт.	5074,8	246,5
	3	Заміна існуючого фільтра на фільтр Ф5-10-4800 УЗ-1 шт.		4800	1039,977
Ф-7	1	Реконструкція існуючого	КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1 -8 шт. Відновлення реактора, 1,35 ± 0,07 мГн	5414,13	263,6
	2	фільтра ТКРМ	КЕПФ-7,3-450-2УХЛ1-5 шт.	5074,8	246,5
	3	Заміна існуючого фільтра на фільтр Ф7-10-4800 УЗ-1 шт.		4800	1039,977
Ф-11	1	Реконструкція існуючого	КЕПФ-7,3-225-2УХЛ1 -11 шт. на кожну фазу	5571,9	184,8
	2	фільтра ТКРМ	КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1 -8 шт. на кожну фазу	5414,13	153,6
	3	Заміна існуючого фільтра на фільтр Ф11-10-6000 УЗ-1 шт.		6000	1289,572
БК-3, БК-7	1	Установка нової	КЕП2-1,05-125-2У1 - 168 шт., ВЗ-630-0, 5У1-6шт.	15615	639,2
	2	конденсаторної установки	КЕП4-7,3-450-2УХЛ1 - 15 шт. на кожну фазу	15230	519,5
БК-4	3	Переобладн. існуючої БК-4	УКЛ (П) 56М-10,5-3150 У1 - 5 шт. ВЗ-630-0, 5У1-6шт	15750	895
	4		КЕП4-7,3-450-2УХЛ1 - 15 шт. на кожну фазу, ВЗ-630-0, 5У-6шт	15230	519,5
БК-6	1	Відновлення встановленої потужн. БК-6	КЕП4-7,3-450-2УХЛ1 - 15 шт.	15230	519,5

Для визначення доцільності реалізації заходів щодо зниження споживання реактивної потужності, зниження рівня коефіцієнта несинусоїдальності та вищих гармонійних складових розглянуті варіанти реконструкції існуючих фільтрокомпенсуючих пристроїв, а також їх заміни.

3.2 Визначення економічних показників впровадження компенсації реактивної потужності фільтрокомпенсуючими пристроями

При перевірці варіантів реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв визначаємо сумарну скомпенсовану реактивну потужність на кожному введенні. Для цього визначаємо потужність кожного ФКП, а потім підсумовуємо отримані величини відповідно до схем підключення по вводах 10 кВ.

Ввод Т-11 фільтр Ф-3 ТКРМ.

Згідно з даними варіанту № 1 передбачається збільшення в два рази існуючої ємності шляхом заміни існуючих батарей на конденсатори типу КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1 -14 шт. на кожен фазу.

Так як передбачено підключення ємностей по схемі зірка, приймаємо номінальну напругу конденсаторів $U_{ном}$ 6,33 кВ

Згідно паспортних даних ємність конденсаторної батареї типу КЕПФ-7,3-300-2УХЛ1 $C_{конд}$ 17,93 мкФ.

Реактивна електроенергія, скомпенсована однією конденсаторною батареєю, кВар·год:

$$Q_{кб} = U_{ном}^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot f \cdot C_{конд} \quad (3.1)$$

де f - частота мережі 50 Гц.

$$Q_{кб} = 6,33^2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 17,93 \cdot 10^{-6} = 225,588.$$

Реактивна електроенергія, скомпенсована фільтром Ф-3 ТКРМ на ввіді Т-11, кВар·год:

$$Q_{ском.ф} = 3 \cdot Q_{кб} \cdot n \quad (3.2)$$

де n - кількість конденсаторних батарей в одній фазі 7 шт.

$$Q_{ском.ф} = 3 \cdot 225,588 \cdot 7 = 4737,3.$$

Заходи з реконструкції та заміні ФКП на вводах Т-13, Т-15, Т-16, Т-17, Т-18, Т-19, Т-110 не передбачені.

3.3 Аналіз вартості споживання реактивної потужності до і після реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв

На підставі аналізу споживання реактивної потужності в 2011 році усереднений тариф за спожиту реактивну електроенергію склав:

- ввід Т-11 0,007247 грн/кВар;
- ввід Т-12 0,004044 грн/кВар;
- ввід Т-14 0,005694 грн/кВар.

Розмір оплати за спожиту реактивну електроенергію визначено згідно з актами споживання реактивної електроенергії за 2011 рік. Виходячи з розрахункових значень скомпенсованої реактивної потужності, проведено аналіз споживання реактивної потужності при реалізації перерахованих вище варіантів.

Для нормальної роботи системи електропостачання комбінату спільно з енергопостачальною організацією необхідними умовами є відсутність нульових значень споживання реактивної потужності на вводах напруги 10кВ, відповідних меж балансової належності ПрАТ «Дніпроспецсталь» (Т-1, Т-2, Т-3, Т-4) і генерації реактивної енергії в мережу.

Визначаємо споживання реактивної потужності за умови відсутності ФКП:

$$Q_{\text{бФКП}} = Q_{\text{с год}} + Q_{\text{ком}}, \quad (3.3)$$

де $Q_{\text{с год}}$ - середньогодинне споживання реактивної потужності, кВар;

$Q_{\text{ком}}$ - реактивна потужність компенсації ФКП, кВар

Для вводу Т-11:

$$Q_{\text{бФКП}} = 19703 + 2400 = 22103.$$

Визначаємо величину споживання реактивної потужності при впровадженні варіантів реконструкції та заміни ФКП, кВар:

$$Q_{\text{рек}} = Q_{\text{бФКП}} - Q_{\Sigma} \quad (3.4)$$

де Q_{Σ} - сумарна реактивна потужність компенсації при реалізації варіантів реконструкції та заміни ФКП.

Для вводу Т-11 (варіант 1-2):

$$Q_{\text{рек}} = 22103 - 21000 = 1103.$$

Визначаємо витрати активної потужності на компенсацію реактивної ФКП, кВт:

$$P=Q_{\Sigma} \cdot K_p, \quad (3.5)$$

де K_p - коефіцієнт, що враховує додаткові втрати активної енергії на генерацію реактивної; 0,0025 кВт/кВар.

Для вводу Т-11 (варіант 1-2):

$$P = 21000 \cdot 0,0025 = 52,5.$$

Для порівняння запропонованих варіантів величину споживання реактивної потужності представляємо в грошовому вираженні. Прогнозована оплата за споживання і генерацію реактивної електроенергії за рік складається з оплати за спожиту і генеровану реактивну енергію (на вводі 10 кВ) та оплати за активну електроенергію спожиту ФКП.

Для визначення прогнозованих витрат за спожиту реактивну електроенергію на межі балансової належності при впровадженні раніше запропонованих варіантів визначаємо прогнозований тариф:

$$T_{прог} = D \cdot C_{прог}, \quad (3.6)$$

де D - економічний еквівалент реактивної потужності, який характеризує вплив реактивного перетоку в точці обліку на техніко-економічні показники в розрахунковому режимі. Для розглянутих точок обліку (вводу 10 кВ) становить:

- ввід Т-11 – 0,0366;
- ввід Т-12 – 0,0205;
- ввід Т-14 – 0,029.

$C_{прог}$ - прогнозована середньозакупна ціна (тариф для розрахунку оплати за перетікання реактивної електроенергії), приймаємо 0,26 грн/квар·год

Для вводу Т-11:

$$T_{\text{прог}}=0,0366 \cdot 0,26=0,009516.$$

Для вводу Т-12:

$$T_{\text{прог}}=0,0205 \cdot 0,26=0,00533.$$

Для вводу Т-14:

$$T_{\text{прог}}=0,029 \cdot 0,26=0,00754.$$

Оплата за спожиту реактивну електроенергію, грн:

$$O_T = T_{\text{прог}} \cdot Q_{\text{рек}} \cdot 8760 \quad . \quad (3.7)$$

Для вводу Т-11 (варіант №1-2):

$$O_T = 0,009516 \cdot 1103 \cdot 8760 = 91946,25 \quad .$$

Оплата за активну електроенергію, спожиту ФКП протягом прогнозованого року:

$$O_{T_a} = P \cdot T_a \cdot 8760, \quad (3.8)$$

де T_a - тариф за споживання активної електроенергії, 1,86 грн/кВт.

Для вводу Т-11 (варіант №1-2):

$$O_{T_a} = 52,5 \cdot 1,86 \cdot 8760 = 119574.$$

Очікувану величину оплати за спожиту активну електроенергію існуючими ФКП визначаємо аналогічно. Дані наведені в таблиці 3.2. Результати розрахунку прогнозованого споживання реактивної потужності та оплати за споживання реактивної та активної енергії наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 - Аналіз існуючих витрат на споживання реактивної потужності

Найменування вводу	Середньо годинне споживання реактивної потужності за 2019 рік, кВар·год	Оплата за споживання реактивної електроенергії за 2019 рік, O_T , тис. грн.	Оплата за споживання активної електроенергії існуючими ФКП, O_{Ta} , тис. грн.	Сумарні витрати на споживання і генерацію реактивної електроенергії, ΣO , тис. грн.
T-11	19703	1154,926	12,000	1319,134
T-12	15645	524,619	42,000	640,527
T-14	10679	532,702	23,500	628,75

Таблиця 3.3. - Аналіз витрат на споживання реактивної потужності після впровадження та реконструкції ФКП

Найменування вводу	Номер варіанта	Споживання реактивної потужності при відсутності ФКП, кВар·год	Реактивна потужність компенсації запропонованими ФКП, кВар·год	Витрати активної потужності на компенсацію реактивної, кВт·год	Споживання реактивної потужності при впровадженні запропонованих варіантів, кВар·год	Прогнозова оплата за споживання реактивної потужності за рік, тис. грн. в рік	Прогнозова оплата за споживання активної енергії ФКП за рік, тис. грн. в рік	Сумарні прогнозовані витрати, тис. грн. в рік	Прибуток від впровадження, тис. грн. в рік
Т-11	1-2	22103	21000	52,5	1103	91,946	119,574	211,520	1107,613
	3		20400	51	1703	141,962	116,1576	258,120	1061,014
Т-12	1-2	20977	18430	46,075	2547	118,921	104,9404	223,862	416,665
	3		18950	47,375	2027	94,642	107,9013	202,544	437,983
	4		18430	38,075	2547	118,921	86,71962	205,641	434,886
Т-14	1	15355	10006	25,015	5349	353,304	56,97416	410,278	218,472
	2		15230	38,075	125	8,256	86,71962	94,976	533,774

3.4 Визначення фінансово-економічних показників варіантів реконструкції та заміни ФКП

Для зручності розрахунку розглядаємо однотипні, а також взаємопов'язані варіанти і зводимо до таблиць 3.4 – 3.9.

Таблиця 3.4 - Ввод Т-11 варіант №1-2 (реконструкція існуючих фільтрів ТКРМ).

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	4 013 925
PI	5,10
IRR	813%
PP	1,1229
DPP	1,147

Таблиця 3.5 - Ввод Т-11 варіант №3 (заміна існуючих фільтрів на нові).

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	251
PI	1,00
IRR	20%
PP	4,911
DPP	9,997

Ввод Т-12 варіанти №1, 2 (встановлення нової конденсаторної установки на основі некомплектного обладнання) та ввод Т-14 варіант №1 (перемикання БК-4 з 1с. П с.ш. ФПС-1 к 4 с. П с.ш. ФПС -2) розглядаємо спільно.

Таблиця 3.6 - Ввод Т-12 варіанти №1, 2 (встановлення нової конденсаторної установки)

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	1 615 669
PI	4,57
IRR	404%
PP	1,247
DPP	1,297

Таблиця 3.7 - Ввод Т-12 варіант №3 (встановлення комплектної конденсаторної установки)

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	881 789
PI	2,78
IRR	100%
PP	1,989
DPP	2,226

Таблиця 3.8 - Ввод Т-12 варіант №4 (встановлення некомплектної конденсаторної установки)

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	1 095 929
PI	4,45
IRR	356%
PP	1,28
DPP	1,337

Таблиця 3.9 - Ввод Т-14 (відновлення встановленої потужності БК-6)

Показники ефективності проекту	Значення
NPV	1 436 545
PI	5,52
IRR	2363%
PP	1,042
DPP	1,05

Таблиця 3.10 - Потоки грошових коштів при впровадженні та налагодженні ФКП

№	Потоки грошових коштів, \$ тис.	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
		1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	7Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Зміна перемінних витрат	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7
3	Маржинальний прибуток	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7	43,7
4	Постійні витрати	-0,47	-0,57	-0,77	-0,97	-1,3	-1,67	-2,17
5	поточні та капітальні ремонти	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,2	-1,6	-2,1
6	Амортизація обладнання	-24	-18,2	-13,8	-10,5	-8,1	-6,1	-4,6
7	з урахуванням проекту	-24,1	-18,2	-13,8	-10,5	-8,1	-6,5	-4,6
8	Податки на прибуток	-10,8	-10,7	-10,7	-10,7	-10,7	-10,5	-10,4
9	Додатковий дохід від операційної діяльності	8,5	14,1	18,3	21,5	23,8	25,4	26,6
10	Відшкодування	24,0	18,2	13,8	10,5	8,1	6,1	4,6
11	Додатковий грошовий потік	32,4	32,3	32,2	32,1	31,9	31,6	31,2

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Інвестиції	-100						
14	Залік ПДВ з інвестицій	20						
15	Потік з інвестиційної діяльності	-80	0	0	0	0	0	0
16	Додатковий грошовий потік для бюджетів	-47,5	32,4	32,2	32,1	31,9	31,6	31,2
17	Чистий грошовий потік	-47,5	32,3	32,2	32,1	31,9	31,6	31,2
18	Чистий куммулятивний грошовий потік	-47,5	-15,2	17,1	49,2	81,1	112,6	143,7
19	Коефіцієнти дисконтування	0,91	0,76	0,63	0,53	0,44	0,37	0,31
20	Дисконтований потік інвестицій	-73,1	0	0	0	0	0	0
21	Дисконтований грошовий потік	-43,3	24,7	20,4	16,9	14,1	11,6	9,6
22	Куммулятивний дисконтований грошовий потік (NPV)	-43,4	-18,8	1,7	18,6	32,6	44,2	53,8

Отже, запропоновані технічні рішення щодо компенсації реактивної потужності і одночасного фільтрування вищих гармонік дозволить значно зменшити витрати підприємства на купівлю реактивної енергії з мережі. Крім того, визначено найкращий варіант по кожному із введів на основі техніко-економічного обґрунтування.

Також визначено рівень економічно доцільної компенсації реактивної потужності. Розрахунковим експериментом встановлено, що оптимально компенсувати 82% від загального рівня споживання і, таким чином, знайдено

баланс, який може варіюватися зі зміною таких чинників як вартість реактивної енергії з мережі, вартість обладнання і експлуатаційних витрат і т.ін.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

Для електропостачання потужних споживачів ВАТ «ДСС» застосовуються короткі мережі пічних трансформаторів напруги, агрегати на номінальні струми 12,5 і 25 кА, які виконані у вигляді трифазної мостової схеми. Самі пічні установки є джерелом вищих гармонійних складових в напругах і струмах змінного струму, причому найбільше значення мають 11-та і 13-та гармоніки, а потім 23-тя і 25-та, 35-та і 37-ма, інші гармоніки, номер яких визначається співвідношенням $12n + 1$ (де n - натуральне число). Критерій оцінки якості електричної енергії в даному випадку це коефіцієнт несинусоїдальності і рівень вищих гармонійних складових напруги.

Наявність високих рівнів вищих гармонійних складових у струмі і напрузі приводить до ряду негативних явищ - збільшуються втрати в електричних мережах, в силових трансформаторах, скорочується термін служби ізоляції електричних машин і високовольтних апаратів. Крім того, ускладнюється робота пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки.

Робота дугових сталеплавильних печей також пов'язана з викидом в атмосферу шкідливих речовин. Гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин в робочій зоні обслуговуючого персоналу встановлюється наступна:

- оксид азоту: NO_2 – 5 мг/м³;
- оксид сірки: SO_2 – 10 мг/м³;
- оксид вуглецю: CO – 20 мг/м³;
- триоксид сірки SO_3 – 1 мг/м³.

Для плавильного цеху розроблені наступні заходи з охорони праці.

Проаналізовано потенційно небезпечні шкідливі чинники виробничого середовища, що можуть проявитися при операціях технологічного процесу.

Шкідливі речовини підрозділяються на 4 класи небезпеки. У електролізному залі присутні речовини 3-го і 4-го ступеня небезпеки. Існує небезпека отруєння персоналу оксидом вуглецю (CO), що може потрапити в приміщення залу при порушенні технологічного режиму внаслідок нещільності ущільнювачів, а також небезпека при влученні в зону виділення шкідливих речовин.

Робота дугових сталеплавильних печей пов'язана з виділенням великої кількості канцерогенних речовин.

Вибух - миттєве звільнення енергії речовини і зниження тиску до атмосферного. Причинами вибуху може бути:

- збільшення тиску через несправність запобіжних клапанів;
- зниження інтенсивності охолодження, яке призводить до того, що стінки, котрі нагріваються, перестають охолоджуватися;
- зношеність установки через термін експлуатації;
- порушення технічних умов експлуатації;
- недоліки конструкції і не відповідності матеріалу розрахунковим параметрам.

А також прийняті спеціальні заходи для контролю і обмеження шкідливих викидів та шуму. Розрізняють такі види шумів, що виникають при роботі електросталеплавильного устаткування: корпусний шум, породжуваний механічними вібраціями; повітряний шум, безпосередньо створюваний витяжними системами цеху.

Основними джерелами повітряного шуму, які вимагають у ряді випадків використання спеціального шумопоглинаючого обладнання, є напівпровідниковий перетворювач енергії змінного струму в постійний і система відводу шкідливих виділень. В пічних установках використовуються наступні види шумопоглинаючого обладнання:

- звукопоглинальні підставки;
- звукопоглинальні кожухи;
- глушники шуму.

Джерелом шуму є також вібрація обладнання (насосів, трубопроводів і т.п.). У зв'язку з цим, основним методом боротьби є звукоізоляція джерела, і основні заходи при цьому:

- пристрій віброізолювання бетонного фундаменту під піччю;
- віброізоляція магістральних насосів;
- віброізоляція опорних зв'язків трубопроводів;
- шумоізоляція напівпровідникових пристроїв;
- застосування шумоглушників в каналі викиду шкідливих газів.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у мережах застосовується устаткування в захисному виконанні. Усі частини, що проводять струм, і проводи ізолювані. Опір ізоляції не менш 500 кОм. Застосовується захисне блокування, тобто відключення електричних ланцюгів під час аварійних ситуацій з повним часом спрацьовування 0,2 секунди. Електроустаткування електросталеплавильного цеху живиться від мережі змінного струму напругою 10кВ/1200В/50Гц.

Для одного робітника (оператора пічної установки) відповідно до гігієнічної класифікації дана гігієнічна характеристика трудового процесу і факторів виробничого середовища, складено карту умов праці (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для оператора дугової печі

№ п/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, та характер праці		
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³					
	2 клас безпеки : SO ₂	1	4,8	4,8р		
	3- клас безпеки: NO ₂	5	5,5	1,1р		
	4- клас безпеки: CO	20	71	3,5р		
2	Вібрація (загальна), дБ	92	95	3		
3	Шум, дБА	80	90	10		

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
4	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, °С	25	37-45			20
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,3			
	- відносна вологість повітря, %	60	70		10	
5	Інтенсивність тепловіддачі, Вт/м ²	140	200	60		
6	Важкість і напруженість праці	Середньої важкості 2б; напружена				

Умови і характер праці належать до II класу. На робочих місцях наявні чотири чинники 1 ступеня, два чинники 2 ступеня і один чинник 3 ступеня.

4.2. Технічні рішення з виробничої санітарії електросталеплавильного цеху

4.2.1 Опалення і вентиляція

Для приміщень електросталеплавильного цеху при категорії робіт середньої важкості приведені в таблиці 4.2. Параметри умов виробничого середовища встановлюються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

У виробничому приміщенні, при кількості виділень тепла, достатньому для обігріву приміщень в холодний період року система опалення не потрібна. У виробничому приміщенні, використовується природна і механічна вентиляція.

Для видалення надлишків тепла передбачається приточно-витяжна загальнообмінна вентиляція приміщень котельні. У теплий період року подача

повітря в робочу зону здійснюється через фрамуги вікон. Витяжка здійснюється з верхньої зони через дефлектори.

Таблиця 4.2 – Нормативні параметри умов виробничого середовища

Характеристики виробничих приміщень з надлишковим тепловиділенням $C > 23 \text{ Вт(м}^3\text{)}$	Категорія роботи	Період року (теплий, холодний)		
		На постійних робочих місцях		
		Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Теплий період року	Середньої важкості-2б	22-25;	40-70;	0.2-0.3;

Природна вентиляція відбувається за рахунок аерації. Аерація здійснюється під дією аеростатичного і вітряного тиску. Для припливу зовнішнього повітря в приміщенні встановлені прорізи в зовнішніх стінах і ліхтарі в «холодних» прольотах, що чергуються з «гарячими», причому прольоти відокремлені один від одного спущеними зверху перегородками, що не доходять до підлоги на 2 - 4 м.

При механічній вентиляції повітрообмін досягається за рахунок різниці тисків, створюваних вентилятором. Механічна вентиляція застосовується у випадках, коли тепловиділення на підприємстві недостатньо для використання протягом цілого року, аерації, а так само, якщо кількість або токсичність шкідливих речовин, що виділяються в повітря приміщення, вимагає постійного повітрообміну незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

4.2.2 Природне і штучне освітлення

Приміщення електросталеплавильного цеху забезпечено достатнім природним світлом, а у нічний час - електричним освітленням. Місця, що з

технічних причин не можна забезпечити природним світлом, забезпечені електричним освітленням. Освітленість відповідає СНіП 2-4-79 «Природне і штучне освітлення».

Характеристика приміщення залу:

- характер робіт	постійне
спостереження	
- розряд зорової роботи	8
- підрозряд роботи	В
- контрастність об'єкта розпізнавання	велика
- тіло	світле
- коефіцієнт природної освітленості E_H	
При верхньому і комбінованому. освітленні	0,9%
- коефіцієнт природної освітленості E_H	
При звичайному освітленні	0,3%

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей, і може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення використовуються для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ).

Штучне освітлення проектується двома системами: загальне (рівномірного або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими і

неосвітленими місцями стомлює око сповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків. Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу ДРЛ-150, або світильники типу «Астра». Для місцевого освітлення використовуються лампи накаливання потужністю 150 Вт і світильники НСП-200.

Аварійне освітлення передбачає найменшу припустиму освітленість.

Для внутрішніх приміщень складає 5 лк, але не менш 2 лк, у проходах і на сходах приміщень не менш 0,5 лк, на відкритих площах не менш 0,2 лк.

4.2.3 Санітарно - побутові приміщення

При улаштуванні санітарно-побутових приміщень у дипломній роботі керуємося СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будинки». Конструкція стін, вікон, стель тощо у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії, і забезпечує сприятливі умови праці робочому персоналу.

До числа побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їхнього перебування на роботі: приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, питного водопостачання і комору для інвентарю. На території підприємства обладнані санітарні пункти, укомплектовані аптечками й іншими медичними препаратами.

4.2.4 Шум і вібрація в електросталеплавильному цеху

Робота устаткування, а також пульсація потужного електричного поля всередині печі створюють у цеху шум і вібрацію. Тому існують різні види шуму. Серед них розрізняють механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи,

насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - у електросталеплавильному цеху, середній - на робочому місці оператора, найменший - у побутових і допоміжних приміщеннях.

Сильний шум має шкідливий вплив на здоров'я людей. Тривалий шум пригнічуючи діє на центральну нервову систему і через неї на весь організм. Це свідчить про необхідність розроблення і впровадження заходів для ослаблення шуму і захисту від нього обслуговуючого персоналу.

З метою зменшення шуму застосовують звукоізолюючі конструкції:

- звукоізоляційна місця керування поста оператора дугової печі;
- звукоізоляція трубопроводу.

Джерелом вібрації в електросталеплавильному цеху слугують насоси, двигуни, тощо. Гранично допустимий рівень вібрації 92 дБ. Вплив вібрації приводить до різних порушень здоров'я людини і може стати причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація впливає на нервову, серцево-судинну систему людини, відбувається порушення у вестибулярному апараті, порушується обмін речовин, виникають головні болі, погіршується сон і та ін.

Як захисні міри використовують віброізоляцію. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводах і трубопроводах, приєднання їх до вентиляторів і насосів відбувається за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини. Під джерелом вібрації встановлений міцний фундамент.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Відповідно до вимог охорони праці виконане компонування устаткування цеху, а також визначено комплекс заходів щодо охорони праці. Застосовано засоби контролю за параметрами системи автоматичного регулювання технологічними процесами, а також системи протиаварійних мір і блокувань.

Електроустаткування і заходи щодо його безпечної експлуатації. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання котельні забезпечено робочою ізоляцією - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом.

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» електротехнічні вироби котельні по способу захисту людини від поразки електричним струмом відносяться до 1 класу в якому є робоча ізоляція, а також є елемент для заземлення. З урахуванням вимог «Правил устрою електроустановок», НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» обладнання котельні забезпечено від перевантажень автоматизованою системою керування. Для запобігання ураження електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, слід використовувати захисне заземлення. Для розподілення електроенергії котельні встановлюють модульну шафу з автоматичним вимикачем, магнітним пускачем.

Перед пуском електродвигунів, подається попереджувальний сигнал. Особи, що обслуговують електроустановки мають кваліфікаційну групу не нижчу 3-ої. Усі частини, які проводять струм, ізолювані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, плівки, емалеві й олійні фарби, а також блокування апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів.

Захисне заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами, опір пристрою, що заземлює, не перевищує 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів чітко зазначені положення «включено» і «виключено». Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники.

У цеху впроваджений комплекс організаційних заходів спрямованих на профілактику аварійних ситуацій. До таких заходів відноситься чіткий розподіл обов'язків між обслуговуючим персоналом, закріплення обслуговування окремих одиниць устаткування за конкретними працівниками, розроблення посадових інструкцій для всіх категорій працівників і періодична перевірка знань персоналу.

З метою профілактики аварійних ситуацій, такий об'єкт, як сталеплавильний цех, підлягає періодичному огляду й іспиту обладнання місцевими органами Держгорпромнагляд. Для запобігання витoku газу через зварні й болтові з'єднання, запірну арматуру, газопровід у зборі проходить іспит Держнаглядохоронпраці України.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.4 Пожежна безпека

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Строительные нормы и правила противопожарные нормы» за ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій цех відноситься до категорії "Г". Проектом передбачається можливість швидкої евакуації людей із приміщення цеху. Сталеплавильний цех має два евакуаційних виходи в протилежних боках будівлі. Двері зі службових і допоміжних приміщень відкривається убік цеху. Мається також два пожежних сходи.

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: пінні вогнегасники ОВП -10, порошкові вогнегасники ОП-5, ОП-7, пожежний інвентар (покривало з теплоізоляційної полотнини, шухляди з піском, діжки з водою, пожежні відра, совкові лопати, багри, ломи, сокири та ін.). У цеху мається внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами і рукавами, а також є пожежні щити, в комплект яких входять: два вогнегасники, шухляда з піском,

два лопати, три багри, дві лопати. Для персоналу цеху проводяться протипожежні навчальні заходи раз у квартал; інструктаж із Охорони праці і пожежної безпеки.

4.5 Електробезпека

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики [16].

Електричний струм, який проходить крізь живий організм, чинить термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна та електролітична дія властива будь-яким провідникам, а біологічна - тільки живій тканині.

Для забезпечення безпеки при експлуатації електроустановок в проекті всі електроустановки заземлюються шляхом їх приєднання не менш ніж у двох місцях до контурів заземлення електрообладнання та блискавкозахисту з урахуванням вимог ПУЕ [13].

Розрахункові струмові навантаження не перевищують максимально допустимі для вибраних перетинів проводів та кабелів. Апарати, прилади дроти, шини і конструкції відповідають нормальним умовам режиму коротких замикань. Заземлення електрообладнання забезпечує безпеку персоналу при експлуатації та ремонті електроустановок. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 і 8 Ом при міжфазних напругах 380 і 220 В, відповідно.

Електроспоживаючі установки, електричні пристрої в певних випадках можуть призвести до ураження електричним струмом. Контакт людини з не теплоізованими поверхнями теплопроводів і обладнання теплової схеми може призвести до опіків різного ступеня тяжкості.

Захист та зони захисту від блискавки

Щоб уникнути небезпеки ураження блискавкою, обладнають захист, яка представляє собою комплекс захисних пристосувань, призначених убезпечити людей, будинки і споруди, обладнання та матеріали від можливих вибухів, загорянь і руйнувань, які виникають при дії блискавки, а в будинках сільськогосподарських підприємств - також для безпеки тварин і птахів.

Пристрої, призначені безпосередньо для прийому електричного розряду блискавки, відводять його струм в землю і називають блискавковідводами. Зоною захисту блискавковідводу називають частину простору, який прилягає до блискавковідводу і захищає споруду від прямих ударів блискавки з достатнім ступенем надійності (99%). Радіус зони захисту обчислюється за конкретними параметрами для того чи іншого громовідводу. Щодо ступеня надійності зони захисту блискавковідводів поділяють на два типи: А - з ступенем надійності 99,5% і вище; Б - 95% і вище.

Блискавкоприймачі повинні бути виготовлені (оцинковані або пофарбовані): стрижневий - перетином не менше ніж 10 мм² і довжиною не менше ніж 200 мм, тросовий (Багатодротовий оцинкований трос) - перетином не менше ніж 35 мм². Встановлюються на димарях, у найвищій точці.

4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні противошуми (антифони). Як зовнішні противошуми рекомендують використовувати шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні противошуми – заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід.

Ступінь ослаблення шуму залежить від конструкції противошуму і частоти. Заглушки послаблюють шум на 5-7 дБ при частотах до 500 Гц і на

15 дБ при частотах понад 3000 Гц. Протишуми конструкції МІОТ послаблюють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах 5000-7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів придатні заглушки – кліпси, які представляють собою гумові пробочки з плоскою торцевою поверхнею, які закріплені на обідку з сталевого дроту, що пружинить, діаметром 1,5-2 мм. Для захисту від тепловиділень на об'єкті застосовують щільні матеріали з тканини, а також захисні рукавички.

Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

4.7 Рішення щодо захисту навколишнього середовища

Електросталеплавильне виробництво є одним з виробництв, що викидає велику кількість пилу та інших забруднюючих речовин. Величина цих викидів залежить від застосовуваної сировини, технологічного режиму плавки, використання інтенсифікаторів і способу відведення газів від печі. Висока температура і дія електричної дуги в робочому просторі печі викликає утворення оксиду вуглецю, оксидів азоту і сірки, ціанідів і фторидів, які викидаються з печі разом з газами. Вихід технологічних газів з електросталеплавильної печей визначається згорянням вуглецю шихти і електродів, розкладанням необпаленої частини вапняку і підсмоктуванням атмосферного повітря в піч.

Зниження вмісту шкідливих речовин забезпечується суворим дотриманням технологічного процесу. Таким чином, основним засобом боротьби із забрудненням навколишнього середовища при процесі плавки є забезпечення правильності технологічного процесу та ефективної роботи газоочисного обладнання.

4.8 Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітряобміну

На сьогоднішній день в електросталеплавильному цеху використовуються дугові сталеплавильні печі марки ДСП. Відповідно до технологічної частини проекту об'єм приміщення цеху дорівнює:

$$V = B \cdot H \cdot L . \quad (4.1)$$

$$V = 39 \cdot 26 \cdot 18 = 18252 \text{ м}^3.$$

де B – ширина приміщення цеху, м;

H – висота приміщення цеху, м;

L довжина приміщення цеху, м.

Для створення необхідного повітрообміну розрахункова кількість вентиляційного повітря визначиться за формулою:

$$L = \frac{Q}{c_v \rho (t_{\text{відх}} - t_n)}, \quad (4.2)$$

де Q – виділення в приміщення явного тепла, кВт;

c_v – теплоємність повітря, $c_v = 1$ кДж/кг К;

ρ щільність повітря, $\rho = 1,2$ кг/м³;

$t_{\text{відх}}$ – температура повітря, що видається, К;

t_n – температура приточного повітря, К.

При допустимій інтенсивності теплового випромінювання 140 Вт/м² [11] і фактичній 200 Вт/м², сумарне тепловиділення від зовнішніх поверхонь устаткування і трубопроводів з площею поверхні $F = 42$ м² дорівнює:

$$Q = F \cdot q . \quad (4.3)$$

де F – площа виділення теплоти, м²;
 q - інтенсивність теплового випромінювання,

$$Q = 42 \cdot 60 = 2520 \text{ Вт.}$$

Для приведення складових формули до співрозмірних одиниць виміру представимо Q як 2,52 кДж/с. Для літнього періоду перепад температур $\Delta t = (t_{yx} - t_n) = 3 \text{ К.}$

Тоді:

$$L = \frac{2.52}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 3} = 0.7 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 3600 \text{ с} = 2523 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У даному проєкті передбачається установка в електросталеплавильному цеху дефлекторів типу ЦАГИ. Ухвалено наступне конструктивне рішення установки дефлекторів - установка по коньку даху необхідної кількості дефлекторів. З приміщення цеху необхідно видаляти дефлекторами 2523 м³/год повітря. Розрахункова швидкість вітру приймається для Запоріжжя – 2 м/с [12]. Користуючись характеристиками дефлекторів при значенні повного тиску в патрубку дефлектора $H = 0,02 \text{ Па}$, попередньо вибираємо дефлектор №7 (діаметр патрубка $D=700 \text{ мм}$, висота $H=1200\text{мм}$, висота патрубка $H_1=900\text{мм}$, зовнішній діаметр $D_1=1300\text{мм}$).

Розрахункова продуктивність дефлектора визначиться за формулою:

$$L_d = \frac{B - \sqrt{B^2 + 4K \cdot H_c}}{-2K}, \quad (4.4)$$

де K – коефіцієнт опору мережі, Па;

B - коефіцієнт опору повітряпроводу.

Динамічний тиск повітря при прийнятій швидкості вітру $v = 2,0$ м/с і $\rho = 1,29$ кг/м³ дорівнює, Па [13]:

$$h_{\text{дв}} = \frac{v^2 \cdot \rho}{2};$$

Тоді,

$$h_{\text{дв}} = \frac{1,29 \cdot 2,6}{2} = 2,58 \text{ Па.}$$

Коефіцієнт опору повітряпроводу визначаємо за виразом:

$$B = 0,0577 \cdot \frac{v_6}{d^2}. \quad (4.5)$$

де v_6 - розрахункова швидкість вітру, 2 м/с;

d - діаметр повітряпроводу, м.

$$B = 0,0577 \cdot \frac{2}{0,7^2} = 0,235.$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів для дефлектора ЦАГИ $\sum \xi = 0,6$.

Опір повітряпроводу H_c до дефлектора:

$$H_c = \sum \xi \cdot h_{\text{дв}}. \quad (4.6)$$

$$H_c = 0,6 \cdot 2,58 = 1,548 \text{ Па.}$$

Знаходимо коефіцієнт опору мережі:

$$K = \frac{H_c}{h_{0e}^2}. \quad (4.7)$$

$$K = \frac{1,548}{2,58^2} = 0,23.$$

Тоді:

$$L_d = \frac{0,235 - \sqrt{0,235 + 4 \cdot 0,23 \cdot 1,548}}{-2 \cdot 0,23^2} = 0,38 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Необхідна кількість дефлекторів, шт:

$$N = \frac{L}{L_d}. \quad (4.8)$$

$$N = \frac{0,7}{0,38} = 1,84 \approx 2.$$

Результати розрахунку підтверджують необхідність установки в приміщенні електросталеплавильного цеху двох дефлекторів №7 ЦАГИ з діаметром патрубка 700 мм.

ВИСНОВКИ

1. Проведено вимірювання показників якості електроенергії на всіх точках межі балансової приналежності ПрАТ «ДСС», а також досліджено ефективність роботи фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП). Встановлено, що реактивна потужність існуючих ФКП дозволяє знизити споживання реактивної потужності на 10 - 40%, що явно недостатньо. За коефіцієнтом несиметрії і коефіцієнтам 3-ї, 11-ї, 13-ї, 15-ї, 21-ї, 23-ї, 25-ї, 27-ї, 33-ї, 35-ї, 37-ї і 39 -ї гармонійних складових якості електроенергії не відповідає нормованим значенням, що говорить про недостатню ефективність існуючих фільтрокомпенсуючих пристроїв.

2. Сформульовано рекомендації щодо зниження споживання реактивної потужності і зниження рівня коефіцієнта несинусоїдальності та вищих гармонійних складових.

3. Визначено рівень економічно доцільної компенсації реактивної потужності. Розрахунковим експериментом встановлено, що оптимально компенсувати 82% від загального рівня споживання.

4. Проведено розрахунок втрат потужності в елементах системи електропостачання основного навантаження підприємства з урахуванням проведеної реконструкції. Визначено ККД системи електропостачання обладнання підприємства до та після впровадження запропонованих заходів з енергозбереження.

5. Результати дослідження показали, що ККД системи електропостачання збільшується за рахунок зменшення впливу вищих гармонійних складових і економічно доцільній компенсації реактивної потужності. При цьому ККД збільшується на 0.304%, що при рівні споживання близько 212 МВт, дає економію майже 7,9 млн. грн. на рік.

1. Вторинні енергетичні ресурси. Енциклопедія народного господарства Української РСР: в 4-х томах. Т. 1 А-Е / С. М. Ямпольський. Академія наук УРСР. Київ : Головна редакція Української радянської енциклопедії, 1969. С. 299.
2. Бердишев М. Ю., Чейлитко А. О., Назаренко О. М. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 270 с.
3. Гічов Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств. Частина II: конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. С. 6.
4. Малимон С. С. Основи екології. Вінниця : Нова Книга, 2009. С. 227.
5. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013. № 1071. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>____(дата звернення 01.12.2023)
6. Закон про засади функціонування ринку електричної енергії України № 663-VII від 24.10.2013 № 663-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/663-18#Text> (дата звернення 01.12.2023)
7. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах / Ю .І. Якименко, Є. І. Сокол, В. Я. Жуйков, Ю. С. Петергеря, О. Л. Іванін. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2001. 114 с.
8. Бекіров Е. А. Автономні джерела живлення на базі сонячних батарей. Сімферополь : ВД «Аріал», 2011. 484 с.
9. Кривцов В. С., Олейников О. М., Яковлев О. І. Невичерпна енергія: Книга 3. Альтернативна енергетика. Харьков : НАУ "ХАІ", Севастополь : СНТУ, 2006. 643 с.
10. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали. Аналітично-довідкові матеріали в 2-х т.. Механізм реалізації політики енергозбереження / за ред. В. А. Жовтнянського, М. М. Кулика, Б. С. Стогнія. Київ: Академперіодика, 2006. Т. 2. 600 с.

11. Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Київ: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2003. 232 с.
12. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навчальний посібник / О. І. Соловей, Ю. А. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбаса. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 483 с.
13. Інтелектуальні системи керування потоками електроенергії у локальних об'єктах / О. В. Кириленко, Ю. С. Петергеря, Т. О. Терещенко, В. Я. Жуйков. Київ : Медіа ПРЕС, 2005. 212 с.
14. Енергетичний аудит: навчальний посібник / О. І. Соловей, В. П. Розен, Ю. Г. Лега, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбаса. Черкаси, 2005. 299 с.
15. Закон України „Про альтернативні види палива” від 14 січня 2000 р. № 1391-XIV. *Відомості Верховної Ради України*. 2000. № 12. С. 94.
16. Є. В. Кузьмінський, Н. Б. Голуб, К. О. Щурська Стан, проблеми та перспективи біоенергетики в Україні. *Відновлювана енергетика*, 2009, № 4. С.70
17. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. 2-е вид. Київ : Знання, 2002. 203 с.
18. ДСТУ 2420-94. Енергоощадність. Терміни та визначення. [Чинний від 01.01.95]. Вид. офіц. Київ, 1994. (Інформація та документація).
19. Тугай А. М. Водопостачання: підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов – Київ : Знання, 2009. 735 с.
20. M. Matsumoto, T. Nishimura. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator (англ.) // *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations* : journal. 2017. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств: навчальний посібник. Харків : ХНАМГ, 2010. 280 с.
21. Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.

22. Племянников М. М., Крупа А. А. Хімія та теплофізика скла. Навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2000. 560 с.
23. Корн М., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Москва : Наука, 1974. 832 с.
24. Вступ до планування оптимального експерименту: навчальний посібник для студ. спец. 092502. Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва / уклад. Г. О. Статюха, Д. М. Складанний, О. С. Бонаренко. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2011. 117 с.
25. Теорія планування експериментів: Виконання розрахунково-графічної роботи: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / С. М. Лапач. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 86 с.
26. Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Прикладна статистика. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 510 с.
27. Бобик О. І., Берегова Г. І., Копитко Б. І. Теорія ймовірностей і математична статистика. Київ : Професіонал, 2007. 560 с.
28. Коваленко І. П. Математична статистика. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2012. 496 с.
29. Бідюк П. І., Половцев О. В. Аналіз та математичне моделювання економічних процесів перехідного періоду. Київ : НТУУ «КПІ», 1999. 230с.
30. Певзнер М. Ш. Основи теорії відносності : навчальний посібник. Донецьк : ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. 134 с.
31. Руденко В. М. Математична статистика: навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 304 с.
32. Анісімов В. В., Черняк О. І. Математична статистика. Київ : МП "Леся", 1995. 105 с.
33. Utkin V. I., Sliding Modes in Optimisation and Control, SPRINGER-VERLAG, 1992. 623 pp.

34. Chang, W., Park, J. B. Joo, Y. H. and Chen, G.,(2002), “Design of robust fuzzy model based controller with sliding mode control for SISO nonlinear systems”, *Fuzzy Sets and Systems*, 125, pp.1-22.
35. Draunov, S. V. and Utkin, V. I., (1989), “On discrete time sliding modes”, *IFAC Nonlinear Control Systems Design*, pp. 273-278.
36. Gao, W. and Hung, J. C., (1993), “Variable structure control of nonlinear systems: a new approach”, *IEEE Transaction IE-40* pp. 43-55.
37. J. C. Lo and Y. H. Kuo, Decoupled fuzzy slidingmode control, *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, 6 (1998), pp. 426-435.
38. Ioannon P. and J. Sun. *Robust Adaptive Control*. Prentice-Hall, 1995. 825 pp.
39. Rabiner R, Gold B. *Theory and Application of Digital Signal Processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975. 762 pp.
40. Hahn Stefan L., *Hilbert transforms in signal processing*, Artech House, Inc., Boston, 1996. 442 pp.
41. Michael Rosenblum, Jurgen Kurths. *Analyzing Synchronization Phenomena from Bivariate Data by Means of the Hilbert Transform*, in: *Nonlinear Analysis of Physiological Data*, Edited by H. Kantz, J. Kurths, and G. Mayer-Kress (Springler, Berlin, 1998), pp. 91-99.
42. ДСТУ 2155-93 Держстандарт України. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню. [Чинний від 01.01.95]. Вид. офіц. Київ, 1994. 20 с. (Інформація та документація).
43. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 01.05.2003]. Вид. офіц. Київ, 2002. 20 с. (Інформація та документація).
44. ДБН Д.2.6-1-2000 (П 1) Електротехнічні пристрої. [Чинний від 01.01.2001]. Вид. офіц. Київ, 2000. 20 с. (Інформація та документація).
45. ДСТУ 2339-94 Енергозбереження. Основні положення. [Чинний від 01.01.1995]. Вид. офіц. Київ, 1994. 20 с. (Інформація та документація).