

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 Дослідження впливу якості електричної енергії на технічні характеристики обладнання 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)

Пилипенко Я.А.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., доц., Саблін О.І.

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

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

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

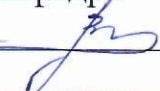
Запоріжжя
2023

**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

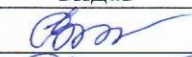
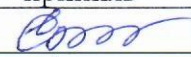
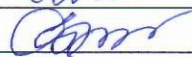
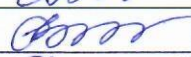
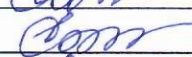
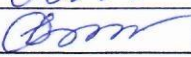
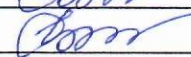
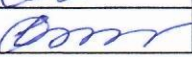
**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Пилипенку Ярославу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Дослідження впливу якості електричної енергії на технічні характеристики обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь»
керівник роботи Саблін О.І., 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 Показники якості електроенергії системи електропостачання цеху відмінні від нормативів; розробка рекомендацій щодо нормалізації якості електроенергії; розрахунок втрат потужності і електричної енергії в системі внутрішньозаводського електропостачання; дослідження енергетичних показників роботи асинхронних двигунів в умовах неякісної електричної енергії
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз показників якості електроенергії на межі балансової приналежності копрового цеху. 2) Дослідження можливості підвищення енергоефективності копрового цеху 3) Техніко-економічні розрахунки щодо підвищення ефективності копрового цеху. 4) Охорона праці та техногенна безпека.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Аналіз енергоспоживання копрового цеху. Плакат. 2) Вплив відхилення показників якості електроенергії на роботу асинхронного двигуна. Плакат. 3) Структурна схема факторів впливу та наслідків роботи АД при живленні неякісною електроенергією. Плакат. 4) Електрична принципова схема експериментальної дослідної установки. Плакат. 5) Дослідження при різних коефіцієнтах завантаження асинхронного двигуна. Плакат. 6) Техніко - економічні показники заходів щодо покращення показників якості електроенергії. Плакат. 7) Охорона праці та техногенна безпека. Плакат.

6 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 1 | Саблін О.І., д.т.н., доцент |  |  |
| Розділ 2 | Саблін О.І., д.т.н., доцент |  |  |
| Розділ 3 | Саблін О.І., д.т.н., доцент |  |  |
| Розділ 4 | Саблін О.І., 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 копрового цеху | 30.09.2023 | |
| 2 | Дослідження можливості підвищення енергоефективності копрового цеху | 30.10.2023 | |
| 3 | Техніко-економічні розрахунки щодо підвищення ефективності копрового цеху | 19.11.2023 | |
| 4 | Охорона праці та техногенна безпека. | 30.11.2023 | |

Студент _____  _____ Я.А. Пилипенко _____
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____  _____ О.І. Саблін _____
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Пилипенко Я.А. Дослідження впливу якості електричної енергії на технічні характеристики обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь».

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

У роботі були проведені дослідження показників якості електроенергії на підприємстві ПрАТ "Дніпроспецсталь". На основі отриманих результатів були сформульовані рекомендації щодо нормалізації цих показників. Також встановлено залежність енергетичних показників роботи асинхронних двигунів в умовах низької якості електричної енергії. Результати досліджень підтвердили техніко-економічну доцільність запропонованих заходів, спрямованих на оптимізацію системи промислового електропостачання.

Ключові слова: КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ.

ABSTRACT

Pylypenko Y.A. Study of the impact of the quality of electrical energy on the technical characteristics of the equipment of PJSC "Dniprospeetsstal".

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor O.I.Sablin. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

In the work, studies of electricity quality indicators at the enterprise of PJSC "Dnipropetsstal" were carried out. Based on the results obtained, recommendations for the normalization of these indicators were formulated. The dependence of energy indicators of induction motors in conditions of low quality of electrical energy has also been established. The results of the research confirmed the technical and economic feasibility of the proposed measures aimed at optimizing the industrial power supply system.

Key words: REACTIVE POWER COMPENSATION, INDICATORS OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY, POWER SUPPLY SYSTEM, ELECTRICITY CONSUMPTION, FILTER-COMPENSATING DEVICES.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 9 |
| 1 Аналіз показників якості електроенергії в умовах ПРАТ «Дніпроспецсталь» | 13 |
| 1.1 Теоретичні відомості про показники якості електричної енергії | 13 |
| 1.2 Законодавчі вимоги щодо управління якістю електроенергії..... | 14 |
| 1.3 Вимоги до якості електричної енергії на підприємстві | 15 |
| 1.4 Стандарти якості електроенергії на підприємстві | 15 |
| 1.5 Організаційні заходи щодо вимірювання показників якості на підприємстві | 18 |
| 1.6 Вибір точок вимірювання та контроль якості електричної енергії | 19 |
| 1.7 Засоби вимірювання показників якості електроенергії | 21 |
| 1.8 Вплив електромагнітних перешкод | 20 |
| 1.9 Контроль показників якості електричної енергії | 28 |
| 1.9.1 Основні види контролю показників якості електричної енергії | 28 |
| 1.9.2. Стандарт контролю якості електрично енергії | 30 |
| 1.9.3. Знижки та надбавки в тарифах на якість електричної енергії..... | 31 |
| 1.10 Коротка характеристика об'єкта дослідження | 33 |
| 1.11 Система менеджменту якості підприємства | 41 |
| 1.12 Аналіз споживання електроенергії на досліджуваному об'єкті | 46 |
| 1.12.1 Характеристика встановлених електроприймачів і установок в цеху блюмінгового стану ПАТ «Дніпроспецсталь»..... | 46 |
| 1.12.2. Динаміка споживання електроенергії | 48 |

| | |
|--|----|
| 2 Дослідження можливості підвищення енергоефективності ПрАТ «Дніпроспецсталь»..... | 51 |
| 2.1 Постановка задач дослідження..... | 51 |
| 2.2 Класифікація основних чинників, які мають вплив на продуктивність асинхронного двигуна під час живлення електроенергією низької якості | 53 |
| 2.3 Короткий опис алгоритму розрахунку загальних втрат..... | 54 |
| 2.4 Вивчення впливу параметрів якості електроенергії на роботу асинхронного двигуна | 62 |
| 3 Техніко-економічні розрахунки варіантів підвищення енергоефективності ПрАТ «Дніпроспецсталь»..... | 66 |
| 3.1. Обґрунтування доцільності впровадження заходів зі зниження споживання реактивної енергії | 66 |
| 3.2 Визначення економічних показників впровадження компенсації реактивної потужності фільтрокомпенсуючими пристроями ... | 67 |
| 3.3 Визначення фінансово-економічних показників варіантів реконструкції та заміни ФКП | 68 |
| 3.4 Визначення фінансово-економічних показників варіантів реконструкції та заміни ФКП..... | 71 |
| 4 Охорона праці та техногенна безпека | 79 |
| 4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища..... | 77 |
| 4.2. Технічні рішення з виробничої санітарії механічного цеху...80 | |
| 4.2.1 Опалення і вентиляція..... | 80 |
| 4.2.2 Природне і штучне освітлення | 81 |
| 4.2.3 Санітарно - побутові приміщення..... | 85 |
| 4.2.4 Шум і вібрація в електролізному цеху..... | 83 |
| 4.3 Заходи з поліпшення умов праці..... | 84 |
| 4.4 Заходи з пожежної безпеки..... | 87 |
| 4.5 Захисні заходи з електробезпеки..... | 87 |

| | |
|---|----|
| 4.6 Засоби індивідуального захисту..... | 88 |
| 4.7 Рішення щодо захисту навколишнього середовища..... | 89 |
| 4.8 Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітрообміну..... | 90 |
| Висновки..... | 94 |
| Перелік посилань..... | 95 |

ВСТУП

Нині Україна є одним із провідних виробників металургійної продукції у світі. Продукція металургійних комплексів є основою індустріалізації національної економічної системи в цілому.

Металургійний комплекс забезпечує виробництво конструкційних матеріалів, таких як чавун, сталь, видобуток і виплавка алюмінію, рухомий склад тощо. В Україні розроблено технології металопрокату та виробництва, які донині використовують металургійні підприємства. Прокат залежно від виду прокату поділяється на 4 групи: класифікуються як прокат, плити, спецпрокат, труби.

Класифікований прокат займає 43% частки експорту прокату, досягаючи 4,277 млн тонн продукції/рік. При виробництві прокатних станів енергоємність продукції перевищує світові показники більш ніж на 35%. Відповідно до наказу галузевої програми з енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року визначено, що оптимальним шляхом вирішення проблеми підвищення енергоефективності виробництва прокатних станів є інвестиції та розвиток інноваційної діяльності.

Завдяки такому вибору гарантується загальний розвиток галузі шляхом реалізації заходів щодо інноваційних технологій виробництва, сприяння розвитку науково-технічного потенціалу країни та формування якісної технологічної виробничої бази. Як відомо, наразі понад 60% загальної електроенергії, що виробляється у світі, споживають електродвигуни. Найбільшого поширення набули електроприводи з двигунами постійного струму та асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (КЗР).

Крім того, близько половини електроенергії, виробленої в усьому світі, споживається АД. Вказані тарифи дійсні і для України. Електромеханічні пристрої, які використовуються в електроприводах, призначені для роботи в

умовах симетричної та синусоїдальної напруги живлення, без коливань і постійної частоти.

При відхиленні заданих показників якості електроенергії від значень, нормованих за стандартом [1], нормальна робота електрообладнання неможлива або може бути забезпечена лише значним зниженням заряду.

Питанням впливу відхилень якості електроенергії на роботу електроприймачів, а також АД присвячені роботи таких вчених як І.В. Жежеленко. [2], А.В. Луговий, О.П. Чорний [3], А.А. Федоров А.А. [4] та ін.

Попередні дослідження дозволяють зробити висновок, що робота електромеханічного перетворювача в умовах поганої якості електроенергії призводить до зниження продуктивності та надійності АД.

Теоретичні основи та розрахунок приведених ресурсів і надійності АД викладені в роботі І.В. Жежеленко. [5,6], Саєнко Ю.Л. [7].

Об'єктом дослідження є система енергоспоживання копрової фабрики промислового підприємства ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Предметом дослідження є вплив показників якості електричної енергії на роботу магазинного обладнання та ефективність системи електропостачання цього об'єкта.

Завдання – Визначити критерії якості електроенергії системи електропостачання копрового заводу ПАТ «Дніпроспецсталь»; розробити рекомендації щодо стандартизації якості електроенергії; Розрахувати втрати потужності та потужність внутрішньої електромережі заводу; Дослідження енергетичних показників при роботі асинхронних двигунів в умовах поганого електропостачання Проблема підвищення якості електричної енергії є однією з основних проблем, які потребують вирішення енергетичних служб ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Для покращення якості електроенергії в частині зменшення несинусоїдальних коефіцієнтів і вищих гармонійних складових, а також компенсації реактивної потужності, до сегментів шини 10 кВ підключаються пристрої компенсації фільтрів, від яких випрямлячі масиву отримують енергію.

Ця робота була проведена на початку 90-х рр. Фільтри стандартних пристроїв ТКРМ були встановлені на першій частині першої шинної системи, прилади БК-3, БК-5, БК-4, спеціально розроблений БК-6 був встановлений на третя і четверта секції першої шинної системи.

На другій ділянці першої шини не встановлено фільтро-компенсаційні пристрої через особливості трансформатора Т-2 підстанції ПАТ «Запоріжжяобленерго». За останні кілька років змінилося обладнання підстанції, принцип роботи внутрішньої системи електропостачання, а також самі фільтрокомпенсаційні пристрої та їх підключення.

Крім того, підприємство також має потужне однофазне навантаження – однофазну піч термічної обробки руди.

У цьому випадку виникає проблема асиметрії напруги та вищих гармонійних складових.

Тому, враховуючи зростаючі вимоги енергопостачальних організацій, забезпечення якості електроенергії на балансовому рівні є актуальним.

Для цього необхідно провести вимірювання якості електроенергії, визначити відхилення показників якості електроенергії від нормативних значень, вивчити ефективність існуючих фільтрокомпенсаційних пристроїв і запропонувати рішення Рекомендації щодо нормування якості електроенергії.

Відхилення частоти регулюється системою електроживлення і залежить тільки від неї.

Окремі ПП на промислових підприємствах (а тим більше в домогосподарствах) не можуть вплинути на цей показник, оскільки їхня потужність незрівнянно мала порівняно із сумарною потужністю генераторів електростанцій енергосистеми.

Коливання напруги, несиметричні та несинусоїдальні напруги в основному зумовлені роботою окремих потужних РЕ на промислових підприємствах, і лише величина цих ПКЕ залежить від потужності однофазної системи електропостачання, підключеної до споживачів.

Відхилення напруги залежить як від рівня напруги, що подається енергосистемою на промислові підприємства, так і від роботи кожного промислового РЕ, особливо при споживанні значної реактивної потужності.

Тому задачу КЕ необхідно розглядати в безпосередньому зв'язку із задачею компенсації реактивної потужності.

Час падіння напруги, підвищення напруги та тимчасовий коефіцієнт перенапруги, як зазначено, визначаються режимами роботи енергосистеми.

Стандарт встановлює методи розрахунку та визначення ПКЕ та допоміжних параметрів, вимоги до похибки вимірювання та діапазону усереднення ПКЕ, які повинні бути реалізовані в приладах контролю КЕ при вимірюванні показників та їх обробці.

Таким чином, в процесі виконання даних завдань вирішуються наступні завдання:

1) провести вимірювання показників якості електроенергії в усіх точках балансової межі цеху ПАТ «Дніпроспецсталь».

2) Дослідження ефективності фільтраційно-компенсаційних пристроїв для компенсації споживання реактивної потужності та підвищення якості електроенергії.

3) розробити рекомендації щодо нормалізації якості електричної енергії на межі активу балансу копрового цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь».

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УМОВАХ

ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

1.1 Теоретичні відомості про показники якості електричної енергії

Під якістю електричної енергії (НЕ) розуміють сукупність її параметрів (властивостей), що задовольняють потреби різноманітних енергозбирачів відповідно до їх цільового призначення.

Забезпечення якості електроенергії на необхідному рівні є одним із найважливіших завдань електроенергетики.

Через нероздільний характер виробництва та споживання електроенергії якість електроенергії визначається не лише виробником (обладнанням для виробництва, перетворення, передачі та розподілу), а й споживачем. Використовуйте електроенергію через характеристики приймача.

Таким чином, через різні характеристики енергозбирачів, якість електроенергії в різних частинах однієї енергосистеми може відрізнитися.

Крім того, зміна якості електроенергії, що відбувається на розглядуваному колекторі енергії через його специфічні характеристики, може відображатися на якості електроенергії в інших частинах мережі, підключених до колекторів. Оскільки електроприймачі, електрообладнання та системи електропостачання проектуються та будуються на основі того, що споживачі повинні мати електроенергію певної якості на затискачах електроприймача, необхідно мати нормативні документи щодо якості електроенергії.

ПЯЕ за напругою має енергетичне значення, тобто характеризує вплив енергосистеми та споживача – ПрАТ «Дніпроспецсталь» один на одного: ступінь негативного впливу енергії величину деформації електрообладнання та технологічних процесів пов'язана зі значенням ПЯЕ. Гранично допустимі значення вибираються з техніко-економічних причин.

Допустимі значення ПЯЕ вказані в ГОСТ 13109-97 в залежності від виду напруги, на якому проводиться вимірювання.

1.2 Законодавчі вимоги щодо управління якістю електроенергії

Стандартизація значень показників якості енергії (ПЯЕ) є одним із головних завдань у проблемі АЕС. Система ПЯЕ формується кількісними характеристиками повільної (відхилення) і швидкої (коливання) зміни чинного значення напруги, її форми і симетрії в трифазній системі, а також подібної зміни частоти.

Оскільки працівники енергослужби підприємства не можуть вплинути на частотний рівень мережі (крім випадків живлення від автономного джерела, не підключеного до електромережі), то більш детально розглянемо лише питання, що стосуються АЕС. По напрузі на межі балансових властивостей ПрАТ «Дніпроспецсталь». Принципи нормування ПЯЕ за напругою базуються на економічних і технічних передумовах і полягають у наступному: При проектуванні або модернізації систем електропостачання необхідно важливо визначити ПЯЕ та правильно вибрати методи і засоби нормування ПЯЕ, а також місця їх встановлення для зменшення втрат електроенергії, підвищення рівня технологічного процесу та відповідності нормованих показників на межі балансових активів 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_{imn} ;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги K_{nepU} .

1.3 Вимоги до якості електричної енергії на підприємстві

Величина ПЯЕ в нормальному режимі роботи електричної мережі не повинна перевищувати значення нормально допустимого відхилення, зазначеного в ГОСТ 13109-97 протягом не менше 95 год., % часу на добу. і не повинна перевищувати максимально допустиме значення [2]. Значення ПЯЕ в післяаварійному режимі роботи електричної мережі не повинні перевищувати гранично допустимих значень, зазначених в ГОСТ 13109-97.

При аварійних порушеннях електроживлення допускаються короточасні відхилення значень ПЯЕ понад встановлені межі, включаючи падіння напруги до нуля, відхилення частоти до ± 5 Гц з наступними їх частотами відновити значення ПЯЕ, визначені для післяаварійного режиму [3].

На вході приймача електричної енергії, який є джерелом електромагнітних перешкод, допускаються значення ПЯЕ в більш широкому діапазоні, ніж встановлені в стандарті, якщо це не призводить до порушення стандарту в машинах збирачів електричної енергії та в обмеженому обсязі балансова власність підприємства-споживача.

1.4 Стандарти якості електроенергії на підприємстві

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

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

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;
- нормальне та максимально допустиме значення постійного відхилення напруги.
- нормальне допустиме відхилення напруги $\pm 5\%$, максимально допустиме відхилення напруги $\pm 10\%$.

Якість електроенергії при постійному відхиленні напруги вважається задовільною [5], якщо всі значення постійного відхилення напруги, виміряні за кожну хвилину 24 годин, не перевищують $\pm 10\%$ і 95 % вимірених значень за той самий період часу знаходяться в межах $\pm 5\%$.

Коливання напруги: Коливання напруги характеризуються: - діапазоном зміни напруги; - доза 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 діапазону напруги викладена в ГОСТ 13109-97. Максимально допустиме значення для короткочасної спалахової дози P_{st} при коливанні напруги становить 1,38, а для тривалої спалахової дози P_{lt} при тій же нарузі коливання 1,0. Методика розрахунку короткочасної та тривалої дози мерехтіння при коливаннях напруги викладена в ГОСТ 13109-97 [6]. Несинусоїдальна напруга: Несинусоїдальна напруга характеризується такими показниками [7]: - коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги; - коефіцієнт n-ї гармонічної складової напруги. Загальноприйняте значення та максимально прийнятне значення коефіцієнта спотворення синусоїдальної кривої напруги дорівнюють 5% та 8% відповідно.

Якість електроенергії залежить від коефіцієнта n-ї гармонічної складової напруги, який вважається задовільним. Якщо значення n-ої гармонічної складової є найбільшим серед значень, вимірених за 24 години, напруга не

впливає не перевищує гранично допустиме значення і значення n -ї гармонічної складової напруги з імовірністю 95% не перевищує нормально допустиме значення [8]. Якість електроенергії за коефіцієнтом спотворення синусоїдальної кривої напруги вважається задовільною, якщо максимальне значення коефіцієнта спотворення синусоїдальної кривої напруги, виміряне протягом 24 годин, не перевищує 8 % і з імовірністю 95 % не перевищує значення 5%. Асиметрія напруги: Асиметрія напруги характеризується такими показниками: - коефіцієнт несиметрії напруги у зворотному порядку; - коефіцієнт асиметрії напруги нульової послідовності.

Загальноприйняте значення та максимально прийнятне значення коефіцієнта асиметрії напруги у зворотному порядку становлять 2% та 4% відповідно. Якість електроенергії за коефіцієнтом несиметрії напруги у зворотному порядку вважається задовільною, якщо найбільше значення величин, виміряних протягом 24 годин, не перевищує 4% і значення коефіцієнта d у зворотному порядку, що відповідає ймовірності 95%, що не перевищує 2%. Відхилення частоти: Нормально допустиме значення відхилення частоти - $\pm 0,2$ Гц.

Допустиме граничне значення девіації частоти - $\pm 0,4$ Гц. Якість електроенергії за відхиленням частоти вважається такою, що відповідає вимогам, якщо всі вимірні значення відхилення частоти протягом 24 годин не перевищують $\pm 0,4$ Гц і принаймні 95% усіх значень. Виміряне значення 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 $0,94 U_{ном}$. Якість електроенергії в залежності від періоду падіння напруги вважається такою, що відповідає вимогам, якщо максимальне значення всіх вимірних значень протягом року періоду падіння напруги не перевищує кваліфікованого максимального значення.

Характеристики перепадів напруги в електричних мережах напругою від 6 до 10 кВ викладені в ГОСТ 13109-97.

При аварійних порушеннях електропостачання допускаються короточасні відхилення значень ПЯЕ понад встановлені межі, включаючи падіння напруги до нуля, відхилення частоти до ± 5 Гц з подальшим їх відновленням до значень ПЯЕ, визначених для післяаварійний режим.

Імпульсна напруга : Імпульсна напруга характеризується індикатором імпульсної напруги. Значення стрибків напруги для грозових імпульсів і імпульсів комутації, що виникають в мережі енергопостачальної організації, наведені в ГОСТ 13109-97. Тимчасова перенапруга: Тимчасова перенапруга характеризується індикуванням тимчасового коефіцієнта перенапруги. Значення амплітуди перенапруги визначають на кожному півперіоді основної частоти, коли рівень напруги значно перевищує $1,1U$.

Коефіцієнт тимчасової перенапруги визначено [9]:

$$K_{перU} = \frac{U_{amax}}{\sqrt{2}U_{ном}} \quad (1.2)$$

де U_{amax} - амплітуда напруги в період перенапруги.

1.5 Організаційні заходи щодо вимірювання показників якості на підприємстві

Наявність вищих гармонійних складових струму і напруги призводить до ряду негативних явищ: збільшуються втрати в електричних мережах і трансформаторах, скорочується ресурс ізоляції машин і електрообладнання на висоті напруги. Крім того, робота пристроїв релейного, автоматичного та мехатронного захисту є дуже складною.

Наявність вищих гармонік у напрузі супроводжується появою та впливом процесу іонізації в ізоляції трансформатора, підвищенням рівня часткового розряду, утворенням заряду.

Нейтралізація цих зарядів призводить до впливу на навколишній діелектрик, сприяючи появі локальних дефектів ізоляції, зниженню електричної жорсткості та збільшенню діелектричних втрат. Крім того, під впливом вищих гармонійних складових підвищується температура ізоляції та відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, що призводять до її швидкого старіння. Тому при несинусоїдальних напругах ресурс електрообладнання в енергосистемі скорочується. Як показує досвід експлуатації, в мережах з високою щільністю арматурного навантаження частіше виникають однофазні замикання на землю в кабелях [12]. Під час роботи силового трансформатора в умовах несинусоїдального струму та напруги збільшуються втрати на вихровий струм у магнітному ланцюзі та збільшуються втрати в обмотці трансформатора через скін-ефекти, що призводить до збільшення втрат втрати активної ємності.

Подібні втрати виникають і в перетворювальних трансформаторах. В результаті ККД (коефіцієнт перетворення) випрямлячів знижується. При несинусоїдальних режимах мережі знижується точність розрахунку енергії. Підвищені похибки можуть виникати при несинусоїдальному коефіцієнті KNS $\approx 7-10\%$. Клас точності інформаційних датчиків - трансформаторів струму і напруги в таких режимах також не гарантується.

1.6 Вибір точок вимірювання та контроль якості електричної енергії

Вимоги до якості електроенергії, встановлені ГОСТ 13109-97, поширюються на точки електричної мережі, до яких підключаються приймачі або споживачі електричної енергії.

В останньому випадку вимоги до якості електричної енергії встановлюються на стику балансової власності енергетичних мереж енергопостачальної організації та споживача та фіксуються в договорі енергокористування. У виправданих випадках у договорі допускається

встановлювати вимоги до якості електроенергії не на стику, а для інших точок мережі, прийняті за домовленістю між енергопостачальною організацією та споживачами. Однак слід зазначити, що не на всіх точках вищезазначеної електромережі дозволено здійснювати керування ПНЕ.

Вибір характерних точок електричної мережі здійснюється таким чином, щоб за результатами вимірювань у цих точках оцінити якість електроенергії по всій розглянутій електричній мережі [14]. Для контролю показників якості електроенергії на ПрАТ «Дніпроспецсталь» обрано типові точки вимірювання на вводі 10кВ, що відповідають межах атрибутів балансу ПрАТ «Дніпроспецсталь»: Т11, Т12, Т13, Т14, Т15, Т16, Т17, Т18, Т19, Т110.

Контроль ПЯЕ проводиться для перевірки відповідності значень показників ГОСТ 13109-97. У разі невідповідності електростанції нормативним вимогам за результатами контролю встановлюються причини невідповідності та розробляються заходи, спрямовані на нормалізацію показників якості електроенергії. За результатами випробувань також перевіряється відповідність проектних розрахунків фактичним експлуатаційним даним, розраховуються параметри технічних засобів і заходи, спрямовані на вдосконалення ПЯЕ. Контроль ПЯЕ, як і інших параметрів режиму, здійснюється безперервно, періодично або поетапно [15]. Для виконання вимірювання необхідно використовувати спеціальне обладнання для визначення властивостей ПЯЕ протягом періоду вимірювання.

1.7 Засоби вимірювання показників якості електроенергії

Для вимірювання якості електричної енергії на ПрАТ «Дніпроспецсталь» використовувався реєстратор показників якості енергії ПАРМА РК 3.01. Реєстратор РК 3.01 призначений для вимірювання та реєстрації якості електричної енергії, оцінки відповідності виміряної якості

електроенергії стандарту встановлено ГОСТ 13109-97 та видано протокол відповідності. У Реєстрі ПЯЕ впроваджено визначення перевищення нормальних значень і меж вимірних значень протягом періоду реєстрації, а також максимальних і мінімальних значень вимірних ПЯЕ [16]. Можливість щохвилинного перегляду записаних значень вимірюваних величин, визначення поточних значень. Значення, контрольовані самописцем ПЯЕ під час вимірювання: - 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 -ої 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.

Після виконання вимірювань у кожен період часу та кожного дня, отримані вимірювані значення будуть статистично оброблені: - інформація про нестандартні ситуації (відключення електроенергії, аварійні ситуації тощо); середні, максимальні та мінімальні значення за період або дату за перерахованими значеннями; - відносний час, протягом якого вимірні значення перевищують гранично допустиме значення за період часу або добу; - реєструє шістнадцять провалів або стрибків напруги на хвилину.

Стандартні вимірювальні характеристики самописця представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Стандартні вимірювальні характеристики засобів вимірювання показників якості електроенергії

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

Продовження таблиці 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------------|---|--|-------------|
| Коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$ при n від 2 до 40,% | від 0,05 до 30,00 | 3 | при $K_{Un} < 1\%$ $\pm 0,05\%$ | $\pm 0,2\%$ |
| Коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{перU}$ | до 1,3 | - | $\pm 2,2/U_{но}$ | - |
| Глибина провалу $\delta U_n, \%$ | до 100 | - | $\pm 220/U_n$ | - |
| 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 $\Delta t_{пер} \geq 20$ $\pm 20 мс$ | - |
| Астрономічний час | - | - | $\pm 1 с/доб$ | - |

Обробка результатів вимірювань здійснюється безпосередньо реєстратором ПЯЕ, як описано вище, та за допомогою персонального комп'ютера за допомогою програми TransData. Програмне забезпечення Аі дозволяє зчитувати результати вимірювань з пам'яті реєстратора, відобразити їх у вигляді таблиць, графіків і зберігати у вигляді файлів власного формату.

Реєстратор має можливість вибрати номінальну напругу з трансформаторним підключенням - 57,74 В, 100В або прямим підключенням до мережі 0,4 кВ - 220В, 380В. У понятті «особливих ситуацій» самописця

встановлені такі величини: коливання напруги, втрата напруги, перенапруга, перевищення меж вимірювань [17-20]. Ці значення записуються окремо і не відображаються в похвилинному перегляді реєстратора і не включаються в статистику. Реєстратор має послідовний канал, в якому реалізований фізичний інтерфейс RS232, який можна підключити до будь-якого пристрою, а обмін буде відбуватися за логічним протоколом ModBus.

При виконанні даної роботи обробка експериментально отриманих даних проводиться на персональному комп'ютері за допомогою програми "TransData". Записані дані зберігаються в окремій флеш-пам'яті. Обробка результатів вимірювань здійснюється безпосередньо реєстратором ПЯЕ, як описано вище, та за допомогою персонального комп'ютера за допомогою програми TransData. Програмне забезпечення Аі дозволяє зчитувати результати вимірювань з пам'яті реєстратора, відображати їх у вигляді таблиць, графіків і зберігати у вигляді файлів власного формату.

Програмне забезпечення дозволяє: - одночасне читання показань секретаря через різні проміжки часу; - працює одночасно з декількома реєстраторами незалежно від способу їх підключення; - управління процесом читання; - візуалізація ПЯЕ в графічній формі, як під час читання інформації, так і після читання; - відображати екстремуми на графіках, візуалізувати графіки в тривимірному просторі, обертати тривимірні графіки.

Обробка результатів вимірювань здійснюється безпосередньо реєстратором ПЯЕ, як описано вище, та за допомогою персонального комп'ютера за допомогою програми TransData. Програмне забезпечення Аі дозволяє зчитувати результати вимірювань з пам'яті реєстратора, відображати їх у вигляді таблиць, графіків і зберігати у вигляді файлів власного формату.

Вплив відхилень показників якості енергії на роботу АД наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вплив відмінностей у показниках якості електроенергії на роботу АД

| Вид ПЯЕ | | Норми ПЯЕ | | Зміни в роботі АД при | |
|--------------------------------------|---|-----------|-------------|---|---|
| Відхилення напруги , δU | | $\pm 5\%$ | $\pm 10\%$ | Момент двигуна знижується на 19%. | |
| Несиметрія напруг в 3-фазній системі | Коефіцієнт зворотної послідовності, K_{2U} | 2% | 4% | Виникнення магнітних полів, що обертаються зустрічно обертанню ротора | |
| | Коефіцієнт нульової послідовності, K_{0U} | 2% | 4% | | |
| | Коефіцієнт прямої послідовності, K_U | 2% | 4% | Впливає на стан ізоляції обмоток, призводить до їх пробою на корпус. | |
| Несинусоїдальність напруги | Коефіцієнт n -ої гармоніки, K_n | | № гармоніки | Знач., % | Перевищення допустимих значень веде до значного зростання напруги зворотної послідовності, зростає споживання з мережі реактивної потужності на 3-7%. |
| | | | 2 | 3 | |
| | | | 3 | 3,75 | |
| | | | 4 | 1,5 | |
| | | | 5 | 9 | |
| | | | 6 | 0,75 | |
| | | | 7 | 7,5 | |
| | | | 8 | 0,75 | |
| | | | 9 | 1,13 | |
| | | 10 | 0,75 | | |

1.8 Вплив електромагнітних перешкод

Електронні та мікроелектронні системи керування, мікропроцесори та комп'ютери широко використовуються в звичайних електричних системах, що призводить до певного ступеня стійкості до Електрична система порушена кількість їх відмов. Основною причиною відключень електроенергії є вплив перехідних електромагнітних перешкод, які виникають під час перехідних електромагнітних процесів як в електромережах, так і в міських і промислових електромережах.

Тривалість перехідних процесів коливається від кількох періодів струму промислової частоти до кількох секунд, а ефективний діапазон частот перешкод може досягати десятків мегагерц. Перехідні електромагнітні перешкоди характеризуються перепадами напруги та короткочасними стрибками. Стандарт не встановлює прийнятих числових значень для цих РАЕ, однак він розглядає ці перешкоди в рамках питань електромагнітної сумісності.

Перехідні електромагнітні перешкоди, що супроводжуються перепадами напруги, в основному виникають при однофазних коротких замиканнях повітряних ліній через перекриття шарів ізоляції. Це пошкодження буде автоматично усунено або усунено під час короткого вимкнення з подальшим автоматичним повторним увімкненням (АРВ). Крім того, перепади напруги відбуваються через короткі замикання фаз внаслідок атмосферних явищ, а також через відключення ліній електропередач і конденсаторів. Кількість провалів напруги глибиною до 20% досягає в розподільній мережі 55-60%.

Понад 60% відключень викликані падінням напруги понад 20%. Причинами перехідних електромагнітних завад у системах електропостачання загального призначення можуть бути перенапруги, що виникають під час однофазних замикань на землю, під час перемикання батарей конденсаторів і резонансних фільтрів, коли від'єднують невантажені кабелі та трансформатори, а під час процесу перемикання одночасно перемикають

контакти та інші комутаційного обладнання, коли робочі режими електромережі збігаються по фазі з багатьох різних причин, що призводить до явища резонансу заліза.

Чутливість електронної апаратури та ЕОМ залежить як від АЧХ ЕП, так і від АЧХ електромагнітних перешкод. Збільшення потужності енергосистеми та кількості повітряних ліній, що використовуються для підвищення надійності електропостачання промислових підприємств, Як уже зазначалося, коли значення всіх ПЯЕ за напругою відрізняється від стандартизованого значення, це швидке старіння ізоляції електрообладнання, через що з часом зростає сила струму пошкодження. Отже, при несинусоїдальному характері кривої напруги мережі, навіть коли встановлено резонанс дугогасника, струм з вищими гармоніками буде проходити через позицію короткого замикання на землю, і кабель може згоріти в цьому місці першого пошкодження. При цьому, як показує досвід експлуатації, одночасно можуть статися дві і більше аварій через перенапругу.

При низьких рівнях КЕ існує взаємозалежність між помилками елементів, наприклад, коли негативні ефекти нелінійних, асиметричних і ударних навантажень компенсуються за допомогою відповідних коригувальних пристроїв, коли будь-який пристрій вимкнено. Тому вихід з ладу швидкодіючого статичного компенсатора викликає появу несиметрії напруги, коливань і попередньо скомпенсованих гармонік, що в свою чергу може призвести до появи помилкових спрацьовувань реле захисту, аварійних відмов окремих видів електрообладнання та інших подібних негативних наслідків наслідки.

Проблеми в каналах передачі інформації по електричних ланцюгах при наявності гармонік, що призводять до некоректної передачі команд управління комутаційним пристроям. Таким чином, КЕ істотно впливає на надійність електропостачання.

1.9 Контроль показників якості електричної енергії

1.9.1 Основні види контролю показників якості електричної енергії

Основними завданнями контролю КЕ є: перевірка дотримання вимог стандарту контролю роботи ПЯЕ в загальних електричних мережах; перевірити відповідність чинних значень ПЯЕ ліміту мережі згідно з балансом значень, внесених до договору енергопостачання; будівельні технічні умови на приєднання споживачів на території КЕ; перевірка дотримання умов договору в розділі КЕ з визначенням розрахункових та фактично допустимих внесків споживача в погіршення КЕ; розробка технічних та організаційних заходів забезпечення СЕ; визначає знижку (надбавку) до тарифу ЕЕ за його якість; Сертифікація електроенергії; пошук «винуватця» спотворення ПЯЕ.

Залежно від цілей, поставлених у процесі безперервного контролю та аналізу КЕ, вимірювання ПЯЕ можуть мати чотири форми: діагностичний контроль; Контрольна перевірка; Оперативний контроль; комерційний облік.

Діагностичний контроль КЕ - основною метою діагностичного контролю на межі електричної мережі споживача та енергопостачальної організації є виявлення «винуватця» деградації КЕ, визначення допустимого внеску при порушенні нормативних вимог для кожного ПЯЕ, включення їх до договорів енергопостачання, що стандартизує КЕ.

Діагностичні перевірки необхідно проводити при видачі та перевірці відповідності технічним умовам на приєднання споживачів до електричної мережі, при перевірці умов договорів на постачання електричної енергії, а також у разі необхідності виявлення фактора, що сприяє зниженню КЕ групи споживачів, підключених до спільного харчового центру.

Діагностичний контроль необхідно проводити періодично і включати короткочасні вимірювання ПЯЕ (не більше 1 тижня).

Під час діагностичного тестування вимірюються нормалізовані та ненормовані РАЕ, а також струм та їх відповідні гармонійні та симетричні складові та струми.

Якщо результати діагностики КЕ підтверджують «вину» споживача в порушенні стандарту КЕ, основним завданням енергопостачальної організації разом із споживачем є розробка та оцінка можливостей, можливостей, а також умов впровадження КЕ заходи стандартизації. У період до впровадження цих заходів на межі електричної мережі споживача повинні бути застосовані оперативний контроль та комерційний облік КЕ енергопостачальної організації.

На наступних етапах діагностичних вимірювань КЕ контрольною точкою повинна бути шина районних підстанцій, до якої підключені кабелі споживачів.

Ці точки також цікаві для контролю правильності роботи перетворювача відводів трансформатора, для збору статистики та реєстрації тимчасових підвищень і понижень напруги в електричній мережі. Таким чином контролюється робота існуючих засобів живлення КЕ: синхронного компенсатора, батареї статичних конденсаторів і трансформатора з РПН, що забезпечують заданий діапазон відхилення напруги, а також робота засобів захисту та автоматики пристрої електромережі.

КЕ інспекційний контроль - здійснюється органами сертифікації для збору інформації про сертифікований стан електроенергії в електромережі енергопостачальної організації, про відповідність умовам і правилам застосування сертифіката, для підтвердження того, що КЕ продовжує відповідати встановленим вимогам протягом терміну дії сертифіката. Оперативний контроль КЕ - необхідний в умовах експлуатації в місцях електричної мережі, де спотворення напруги існують і не можуть бути усунені найближчим часом.

Оперативний контроль необхідний у вузлах приєднання тягових підстанцій електрифікованих залізниць і міського транспорту, підстанцій підприємств, ЕП яких має нелінійні характеристики. Результати оперативного контролю повинні надсилатися по каналах зв'язку на диспетчерські пункти

енергомережі енергопостачальної організації та системи електропостачання промислового підприємства. Комерційний облік КЕ повинен безперервно здійснюватися в точках обліку споживаної електроенергії як засіб економічного впливу на винуватця погіршення КЕ. Для цих цілей повинні застосовуватися прилади, що поєднують в собі функції обліку електроенергії та вимірювання її якості. Наявність в одному приладі функцій обліку електроенергії і контролю ПЯЕ дозволить поєднати оперативний контроль і комерційний облік КЕ.

Прилади комерційного обліку КЕ повинні реєструвати відносно час перевищення нормально і гранично допустимих значень ПЯЕ в точці контролю електроенергії за розрахунковий період, які визначають надбавки до тарифів для винуватців погіршення КЕ.

1.9.2. Стандарт контролю якості електричної енергії

Контроль за дотриманням вимог стандарту енергопостачальними організаціями та споживачами електричної енергії повинні здійснювати контролюючі організації та випробувальні лабораторії, акредитовані КЕ.

Контроль КЕ в точках спільного приєднання споживачів електричної енергії до багатфункціональних систем здійснюється енергопостачальними організаціями (пункти контролю вибираються згідно з нормативними документами).

Цикл вимірювання ПЯЕ: □ для стабільного відхилення напруги - не рідше двох разів на рік залежно від сезонних коливань навантаження в розподільній мережі електростанції та за наявності автоматичного регулювання напруги в ОЕС не рідше одного разу на рік; Споживач електричної енергії, що обтяжує КЕ, повинен здійснювати контроль у точках своєї мережі, найближчих до призначених точок спільного приєднання мережі до загальної електричної мережі, а також за висновками енергоотримувача

електричної енергії, що спотворює КЕ. Контроль розряду КЕ від трансформаторних підстанцій змінного струму в електричній мережі напругою 6 - 35 кВ необхідно виконати: □ для електричної мережі 6 - 35 кВ в системі керування енергосистемою, в точках приєднання цих мереж до тягових станцій;

- Для електричних мереж від 6 до 35 кВ, що не входять до сфери управління енергосистеми, в точках, визначених за взаємною згодою між тяговими трансформаторними станціями та споживачами електроенергії, а для трансформаторних станцій - Новозбудовані, реконструйовані електростанції (із заміною трансформаторів) у місцях приєднання споживачів електричної енергії до цих мереж.

1.9.3. Знижки та надбавки в тарифах на якість електричної енергії

Для забезпечення регуляторних стандартів у загальних точках приєднання, що дозволяють встановлювати в договорах енергопостачання зі споживачами – «винуватцями» погіршення КЕ, стандарт посилює (з варіаціями) відповідний діапазон показників КЕ) менше діапазону, встановленого стандартом, який споживачі повинні підтримувати в межах балансової сітки мережі. У разі порушення енергозбутовою організацією вимог до КЕ абонент має право довести розмір збитків та вимагати від енергозбутової організації відшкодування відповідно до положень статті 547 Цивільного кодексу України.

Зрозуміло, що порушення можуть відбуватися між двома сторонами та за різними ПЯЕ. Відповідно до Положення про застосування знижок і надбавок до тарифів на якість електричної енергії визначається особа, відповідальна за зниження КЕ. Інструкції з розрахунку електричної та теплової енергії в п.

«Знижки (надбавки) до тарифів на якість електричної енергії» передбачені штрафи для винних у погіршенні КЕ. Механізм штрафних санкцій, встановлений Рекомендаціями, поширюється не на всіх платників, а на тих

платників, чисельні значення яких підпадають під стандарт: встановлена різниця напруг; коефіцієнт синусоїдальних спотворень кривої напруги; коефіцієнт несиметрії напруги в оберненій послідовності; коефіцієнт асиметрії напруги нульового порядку; відхилення частоти. Для більшості графіків зміщення напруги ймовірність того, що інтеграл потрапляє в межах $4 \sigma \delta U$, становить 0,95. Це означає, що для виконання вимог стандарту значення $\sigma \delta U$ за результатами вимірювань не повинно перевищувати $1/4$ ширини допустимого діапазону. Так, якщо допустимий діапазон відхилень напруги $\delta U_y = \pm 5\%$, то $\sigma \delta U$ не повинен перевищувати 2,5%.

Цей стандарт встановлює методи та техніку для визначення РАЕ та допоміжних параметрів, реалізуючи положення математичної статистики та теорії ймовірностей. Для інтервалів усереднення різних ПЯЕ стандартом встановлюється кількість спостереження (N) і, користуючись методикою, викладеної в стандарті, визначається той чи інший ПЯЕ. Наприклад, обчислюють значення усередненого напруги U_y в вольтах, як результат усереднення N спостережень напруг U_i , за інтервал часу 1 хв за формулою:

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}, \quad (1.3)$$

де U_i - значення напруги в 1-му спостереженні, В.

Стандарт передбачає, що кількість спостережень за 1 хвилину повинна бути не менше 18. Значення показників якості електроенергії (ПЯЕ), накопичені протягом мінімального розрахункового періоду, піддаються обробці за допомогою методів математичної статистики. Визначають ймовірності відповідності цих значень нормам стандарту.

Методики визначення показників якості електроенергії, встановлені стандартом, реалізуються в апаратурних засобах контролю якості електроенергії. Результати обробки вимірювань повинні бути представлені у формі, що відповідає вимогам стандарту.

1.10 Коротка характеристика об'єкта дослідження

ПрАТ "Дніпроспецсталь" виникло в 1932 році в місті Запоріжжя як частина державного металургійного комплексу. Зараз воно є ключовим виробником сортової неіржавіючої сталі на ринках СНД, а в Україні визнано лідером у цьому сегменті.

Початково завод мав назву "Завод інструментальних сталей". Перший директор, Олександр Трегубенко, керував заводом до початку 60-х років. Ім'ям Олександра Трегубенка названа одна з вулиць у Запоріжжі. Пізніше завод отримав ім'я А. Н. Кузьміна - міністра чорної металургії СРСР та одного з перших директорів заводу. У 2012 році введено в експлуатацію газоочистку в електросталеплавильному цеху № 3, а також запущено цех з виробництва феромолібдена. Завод також впровадив пилогазоочисне обладнання від турецької компанії CVS Makina для фільтрації викидів від дугових печей у сталеплавильному цеху № 3. Ці нові обладнання дозволяють "Дніпроспецсталі" відділяти та фільтрувати викиди від забруднюючих технологічних джерел, що важливо для відповідності екологічним стандартам, оскільки існуючі газоочисні установки, введені в експлуатацію в 70-х роках минулого століття, вже не відповідають сучасним вимогам до очищення технологічних газів від емісій сталеплавильних агрегатів.

У рамках програми виходу Запоріжжя з екологічної кризи «Дніпроспецсталь» планує забезпечити фільтрацію повітря за стандартами екологічного моніторингу за рахунок використання сучасної системи фільтрації повітря, оснащеної фільтрувальними трубками. Частка СПЦ-3 в загальному обсязі розплавленого продукту становить 65%. На жаль, криза не оминула "Дніпропетсталь". Кількість замовлень зменшилася після різкого зростання в 2007-2008 роках, що змусило компанію адаптувати свою роботу до нової ситуації на ринку.

Комбінату вдалося уникнути зупинок, оптимізувати виробництво і навіть знайти інвестиції для модернізації в умовах кризи (встановлення нової чистової лінії Loeser на прокатному цеху в листопаді). Сталеплавильне виробництво на ДСС представлено 4 сталеплавильними цехами, що включають головні відкриті електродугові печі ємністю 55-60 тонн, індукційні печі ємністю 4 і 8 тонн, електрошлакові печі (ЕШ) і вакуумну піч встановлена дугова ретортна піч (ВДП).

За цими технологіями ДСС отримує злитки вагою від 0,6 до 7,4 тонн і листового металу вагою від 8,9 до 14,7 тонн. У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч ємністю 4 тонни. Процесом ASEA-STORA (гаряче і холодне ізостатичне пресування при температурі 1100-1150°C і тиску 1000 атм) виготовляється понад 30 видів швидкорізальної та інструментальної сталі, що відповідають вимогам ГОСТу [20].

На металургійному заводі № 2 встановлено аргано-кисневий конвертер для виробництва сталі дуплексним способом: процес плавки здійснюється у відкритій електродуговій печі, далі вдування в конвертер і обробка в печах, які виробляють низьковуглецеву, стійку до корозії нержавіючу сталь. Цех оснащений індукційною піччю ємністю 8 тонн для виробництва тугоплавкої сталі та спеціальних сплавів. На металургійному заводі №3 високоякісну сталь отримують шляхом переробки напівфабрикатів у печі-ковші з подальшим відсмоктуванням розплавленої маси у пілососі Mannesmann Demag. Металургійний цех № 5 оснащений печами ЕГП і ВДП різної потужності, що дозволяють виробляти сталеву заготовку масою від 0,9 до 6 тонн і толстолистову заготовку масою від 9,3 до 20 тонн.

Технологія ЕНР передбачає переплавку з використанням хімічно активованого шлаку, що забезпечує виробництво сталі та спеціальних сплавів, які використовуються у найважливіших галузях промисловості: аерокосмічній, оборонній, а також тепловій та атомній енергетиці. Кінцева продукція ДСС представлена прокатним станом, що включає: заготовки прокатного стану типу

1050 і прокатних станів типу 550 і 325, калібрувальний цех, ковальсько-пресовий цех, ковальсько-пресовий цех, налагоджувальний цех і термічний цех.

Усі вироби діаметром понад 20 мм підлягають ультразвуковому контролю згідно з EN10308. DSS Calibration Workshop випускає холоднотягнуті круглі прутки діаметром від 2 до 45 мм, круглі прутки зі спеціальною поверхневою обробкою діаметром від 1,9 до 50 мм, а також калібровані шестигранні прутки з діаметром вписаного кола від 12 до 46 мм. Великогабаритні ковані вироби круглого, квадратного і прямокутного перерізу з різної якості сталі є продукцією ковальсько-пресових цехів. На заводі встановлені гідравлічні преси 60 МН і 32 МН, оснащені маніпуляторами 5 і 10 тонн.

Цех має зони термічної обробки, правки та чистової обробки поковок, а також ультразвукового контролю якості. Кузня виробляє вироби з інструментальних сталей і високоміцних сплавів, швидкорізальних і нержавіючих сталей, а також спеціалізується на виробництві прутків з легованих сталей, які важко деформуються. У цеху встановлені дві радіально-кувальні машини з номінальним зусиллям 10 МН і 3,4 МН. Нормалізація і різні види відпалу металевих виробів проводяться в термічному цеху і на відповідних ділянках обробного цеху. У цеху металообробки проводиться механічна поверхнева обробка прутків діаметром від 20 до 200 мм. Остаточна обробка прутків зі спеціальною обробкою кругом до 160 мм проводиться на верстаті RPS 327.

У цеху є дві спеціальні токарно-поверхнева обробка лінії. Там проходять остаточну обробку прутки з прокатних станів 550, 325 і 280, а також ковальсько-кузневих цехів [15].

За даними енергоаудита підприємства був складений баланс середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва, який зведений до таблиці 1.1 за якою була побудована діаграма середньодобового споживання електроенергії, яка відображена на рисунку 1.1.

Таблиця 1.1 – Баланс середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва

| № з/п | Назва цеху | Споживання електроенергії | |
|-------|--------------------------------------|---------------------------|-------|
| | | кВт·год | % |
| 1 | Термічний цех | 9000 | 3,19 |
| 2 | Калібрувальний цех | 12570 | 4,46 |
| 3 | Ковальсько-пресовий цех | 18800 | 6,67 |
| 4 | Обдирне відділення ковальського цеху | 6400 | 2,27 |
| 5 | Ковальський цех | 20000 | 7,1 |
| 6 | Ділянка підготовки сирого матеріалу | 30900 | 10,97 |
| 7 | Прокатний цех | 150000 | 53,25 |
| 8 | Цех ад'юстажної обробки металу | 4000 | 1,42 |
| 9 | Енергосиловий цех | 30000 | 10,65 |
| Разом | | 281670 | 100 |

На сорто-заготівельному стані 1050 прокатного цеху, використовуючи злитки вагою 3,6-6,5 тонн, виготовляють заготовки для подальшої прокатки на сортових станах. Також на цьому стані виробляють прутки діаметром від 130 до 280 мм. Сортові прокатні стани 550 і 325 випускають продукцію з діаметром від 8 до 130 мм. Вироблені продукти можуть мати поверхню в стані після прокатки або піддаватися механічній обробці для отримання необхідних характеристик.

Аналізуючи діаграму середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва, виявлено, що основним електроспоживачем є прокатний цех, який складає 53% від загального споживання електроенергії на підприємстві. За результатами енергоаудиту прокатного цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь» проведено аналіз встановленої потужності споживачів цехів підприємства, який представлений у таблиці 1.2.

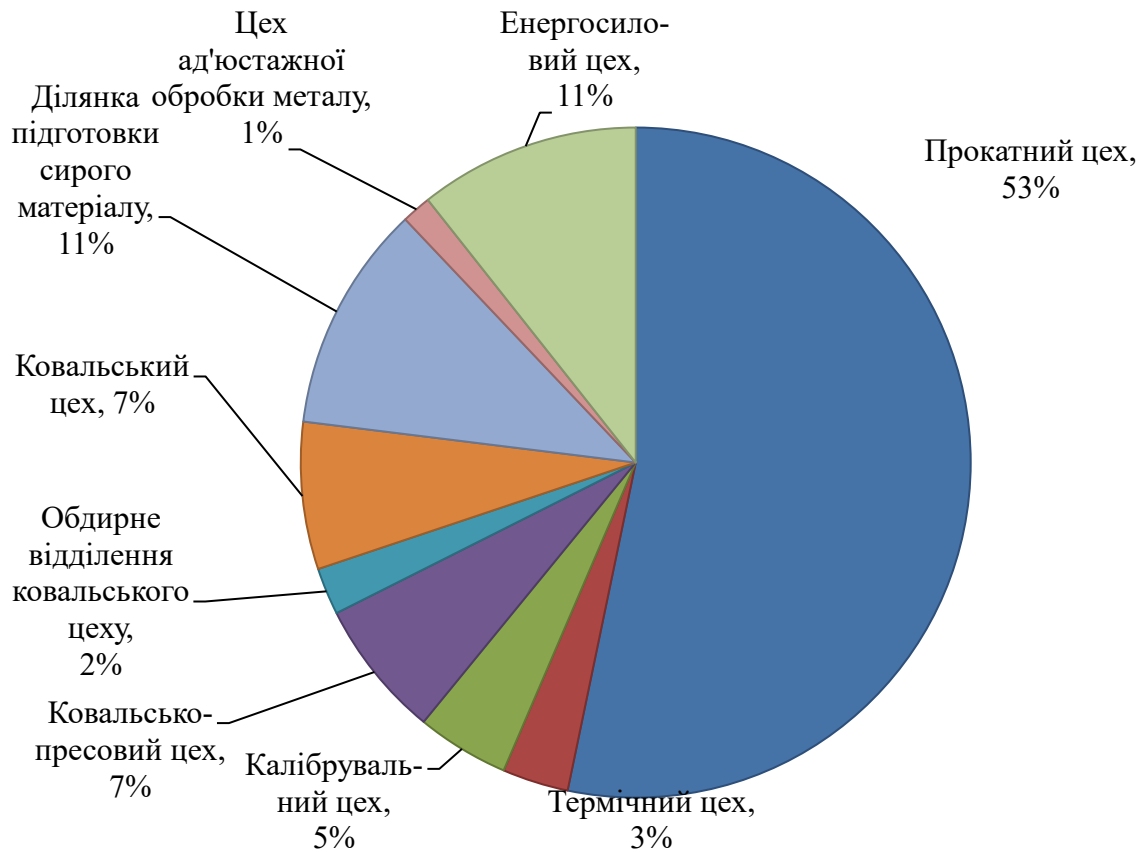


Рисунок 1.1 – Діаграма середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва

Таблиця 1.2 – Встановлена потужність цехів передільного виробництва

| Назва цеху | Встановлена потужність P , кВт | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | Напруга U , 0,4 кВ | Напруга U , 6 кВ |
| Прокатний цех | 44042 | 30500 |
| Ковальський цех | 4592 | 1260 |
| Термічний цех | 1628 | - |
| Калібрувальний цех | 3256 | 1500 |
| Ділянка підготовки сирого матеріалу | 833 | - |
| Енергосиловий цех | 22902 | 17150 |
| Цех ад'юстажної обробки металу | 3200 | - |
| Ковальсько-пресовий цех | 1820 | 7000 |

Діаграма вказує, що прокатний цех має найбільшу встановлену потужність серед цехів передільного виробництва. Оскільки в прокатному цеху виявлено найбільш енергоємне виробництво, рекомендується провести енергетичне обстеження цього цеху для виявлення можливих шляхів оптимізації енергоспоживання та ідентифікації вузьких місць. До складу прокатного цеху входять: шліфувальні верстати марки 1050 і шліфувальні верстати 550 і 325, цех налагодження металу, шабрування, гравірування та остаточної обробки прутків вагою 3,6 - 6,5 т було прийнято на прокатний стан 1050 прокатного стану для продовження прокатки на рівнопрокатних верстатах і виготовлення прутів діаметром 130 - 280 мм. Якісні прокатні машини 550 і 325 виготовляють вироби діаметром від 8 до 130 мм, з поверхнею як після прокатки, так і механічної обробки. Поверхнева обробка виробу здійснюється на безцентровому скребку повністю механізованим процесом.

У технологічній частині прокатного стану обробляють прутки діаметром від 120 до 280 мм усіх марок стану масою до 2,6 т [13]. Цех налагодження металу проводить механічну поверхневу обробку прутків діаметром від 20 до 200 мм, остаточну обробку прутків зі спеціальною обробкою до кола 160 мм проводять на верстаті RPS 327. Цех має дві спеціальні лінії токарної обробки та обробки поверхні. Тут стебло проходить остаточну обробку [22]. За даними енергоаудиту прокатного стану підготовлено таблицю 1.3.

Виробництво сортового прокату включає в себе енергоємний процес, під час якого обладнання прокатного цеху витрачає різні види енергії. Для визначення пріоритетного напрямку енергомодернізації процесу прокату металу важливо провести докладне дослідження всіх енергоресурсів, які споживає основне обладнання прокатного цеху. Якісний аналіз надасть можливість вибрати один чи декілька об'єктів для подальших досліджень.

З описом основного обладнання та аналізом споживання електроенергії. За даними таблиці побудовано схему споживання електроенергії основного обладнання прокатного стану, наведену на рисунку 1.2.

Таблиця 1.3 – Основне обладнання прокатного цеха

| № з/п | Назва | Рік виробництва | Потужність, тис.кВт | Робочий час, год/рік | Споживання електроенергії, тис.кВт год/рік |
|-------|-------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|--|
| 1 | Стан 1050 | 1961 | 16,5 | 3893 | 64240 |
| 2 | Стан 550 | 1960 | 5,2 | 1946 | 10122 |
| 3 | Стан 325 | 1963 | 4,8 | 1825 | 8760 |
| 4 | Ад'юстаж лінії обробки 80-180 | 1972 | 2,3 | 2920 | 6716 |
| 5 | Ад'юстаж заготовки | 1972 | 1,08 | 486 | 525 |
| 6 | Ад'юстаж мілкового сортаменту | 1970 | 0,56 | 1703 | 953 |
| 7 | Ад'юстаж великого сортаменту | 1970 | 0,58 | 2433 | 1411 |
| 8 | Обдирка | 1974 | 0,87 | 559 | 486 |
| 9 | Травлення | 1974 | 0,15 | 97 | 146 |
| 10 | Фінальна обробка | 2008 | 0,9 | 3893 | 3504 |

Такий аналіз може включати в себе вивчення енергетичних характеристик обладнання, визначення ефективності його роботи, ідентифікацію основних джерел споживання енергії та визначення можливостей для їхньої оптимізації. Також важливо врахувати можливості використання альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій.

На підставі отриманих даних можна розробити стратегію енергомодернізації, спрямовану на оптимізацію споживання енергії, підвищення енергетичної ефективності та зменшення витрат.

Згідно із результатами енергетичного аудиту складений докладний звіт про використання палива в прокатному цеху протягом січня 2023 року. Ці дані представлені у таблиці 1.4. Графік 1.3 демонструє витрати палива основного обладнання у прокатному цеху.

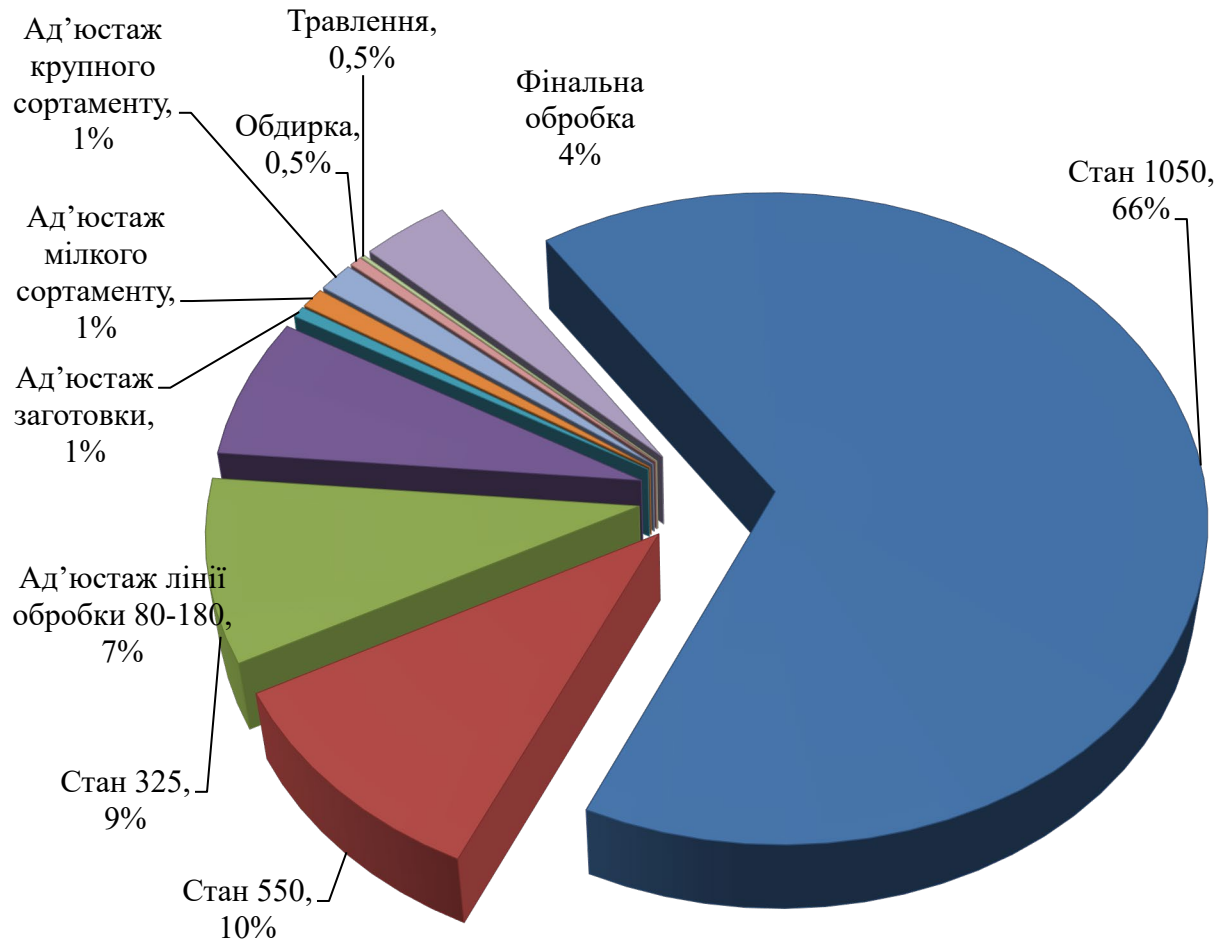


Рисунок 1.2 – Електроспоживання основного обладнання прокатного цеху

Таблиця 1.4 – Витрати палива у прокатному цеху

| Споживачі | Споживання палива | |
|---------------|-------------------|------------------|
| | За планом, т.у.п. | Фактичне, т.у.п. |
| Стан 1050 | 1527,4 | 1959 |
| Стан 550 | 333,3 | 344 |
| Стан 325 | 215,6 | 133 |
| Лінія обробки | 49,5 | 140 |

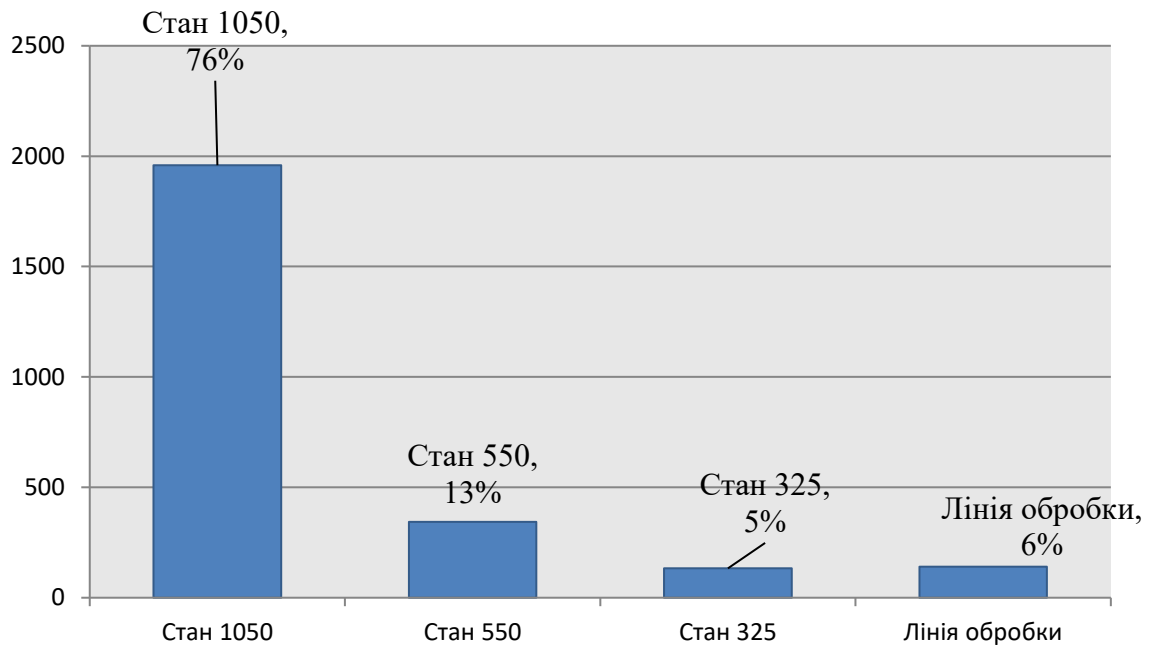


Рисунок 1.3 – Витрати палива основного обладнання прокатного цеху

Діаграма структури споживання стисненого повітря обладнанням прокатного цеху представлена на рисунку 1.4.

Таблиця 1.5 – Структура споживання стисненого повітря

| Споживачі | Споживання за планом | | | Споживання фактичне | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн |
| Стан 1050 | 829,1 | 173,71 | 144 | 820,8 | 263,34 | 216,2 |
| Стан 550 | 116 | 173,69 | 20,1 | 114,8 | 263,34 | 30,2 |
| Стан 325 | 128,2 | 173,75 | 22,3 | 127 | 263,64 | 33,4 |
| Лінія обробки | 694,3 | 173,71 | 120,6 | 679,3 | 263,34 | 178,9 |
| Ад'юстаж заготовки | 697,5 | 173,71 | 121,2 | 689,9 | 263,34 | 181,7 |
| Ад'юстаж дрібного сорту | 132,2 | 173,72 | 23 | 130,3 | 263,34 | 34,3 |
| Ад'юстаж великого сорту | 563,6 | 173,7 | 97,9 | 554 | 263,34 | 145,9 |

На підприємстві працює власна компресорна станція для виробництва стисненого повітря. Система постачання цього повітря до всього прокатного цеху спільна. Тиск стисненого повітря утримується на рівні 4 атмосфери (амт.) або 4 кг·с/см². На основі аналізу результатів енергоаудиту прокатного цеху за січень 2023 року була складена таблиця 1.5, що відображає структуру використання стисненого повітря обладнанням прокатного цеху.

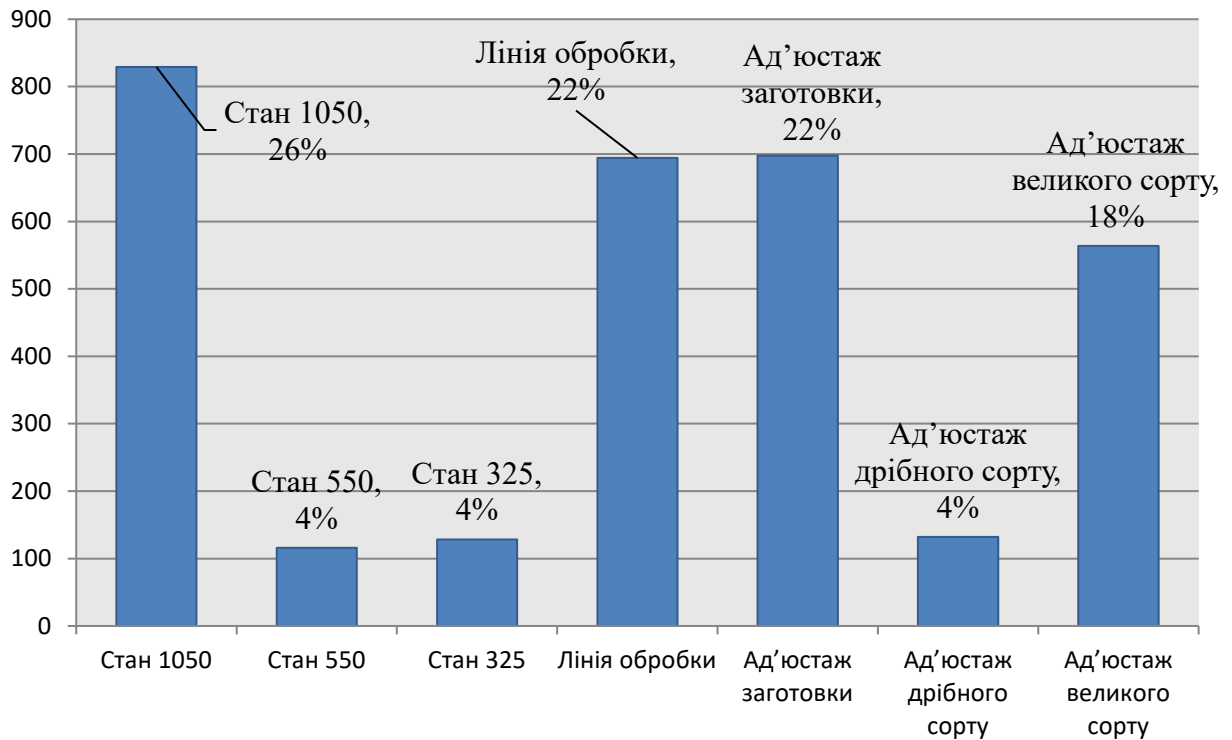


Рисунок 1.4 – Структура споживання стисненого повітря

Ще одним значущим енергетичним ресурсом на підприємстві є пара. Результати енергоаудиту прокатного цеху за січень 2023 року представлені в таблиці 1.6, в якій відображено структуру використання пари обладнанням цеху.

На рисунку 1.5 подано графічне відображення структури використання пари обладнанням прокатного цеху. З метою охолодження деталей основного обладнання, які нагріваються під час технологічного процесу, використовується технічна вода. Крім того, її використовують для охолодження гарячих блюмів, що виходять з блюмінга та станів. На підприємстві існує власна свердловина [26]. Після аналізу енергоаудиту прокатного цеху, дані про споживання

технічної води обладнанням прокатного цеху представлені у таблиці 1.7, що ілюструє їхню структуру на діаграмі (рисунок 1.6).

Таблиця 1.6 – Структура споживання пари

| Споживачі | Споживання за планом | | | Споживання фактичне | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн |
| Стан 1050 | 364 | 753 | 274 | 332 | 1080 | 358 |
| Стан 550 | 92 | 753 | 69 | 84 | 1080 | 90,7 |
| Стан 325 | 92 | 753 | 69 | 84 | 1080 | 90,7 |
| Лінія обробки | 209 | 753 | 157 | 190 | 1080 | 205,2 |
| Ад'юстаж заготовки | 137 | 753 | 103 | 125 | 1080 | 135 |
| Ад'юстаж дрібного сорту | 127 | 753 | 95,7 | 116 | 1080 | 125,3 |
| Ад'юстаж великого сорту | 166 | 753 | 125 | 151 | 1080 | 904 |

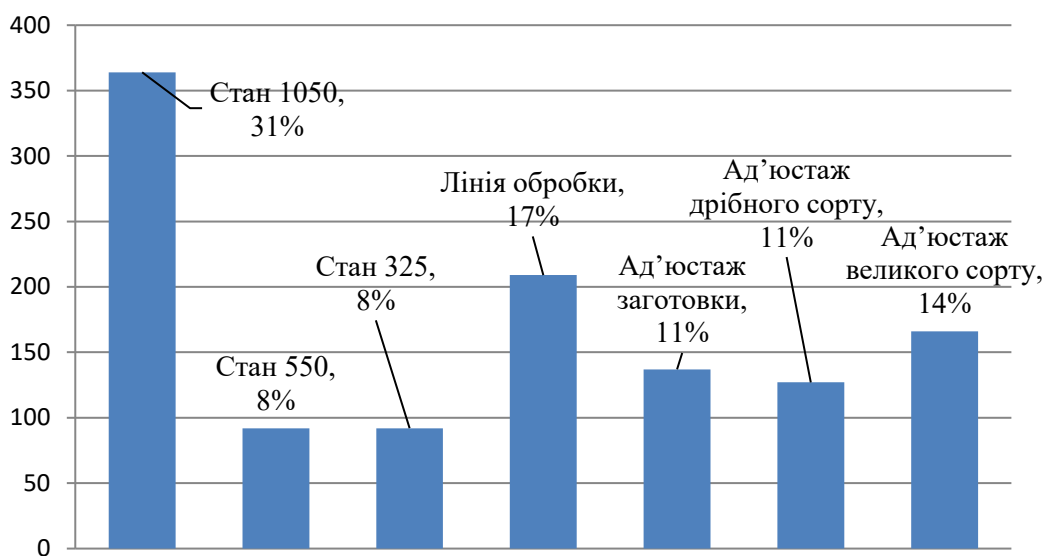


Рисунок 1.5 – Структура споживання пари

Таблиця 1.7 – Структура споживання технічної води

| Споживачі | Споживання за планом | | | Споживання фактичне | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн | Кількість, тис.м ³ | Ціна, грн/ тис.м ³ | Сума, тис.грн |
| Стан 1050 | 156 | 650 | 102 | 207 | 650 | 17509 |
| Стан 550 | 57 | 650 | 38 | 283 | 650 | 184 |
| Стан 325 | 31 | 650 | 20 | 71,3 | 650 | 46,4 |
| Лінія обробки | 2 | 650 | 1,3 | 16 | 650 | 10,4 |
| Ад'юстаж заготовки | 1,8 | 650 | 1,2 | 16 | 650 | 10,4 |
| Ад'юстаж дрібного сорту | 0,6 | 650 | 0,4 | 3 | 650 | 2 |
| Ад'юстаж великого сорту | 2,3 | 650 | 1,5 | 5 | 650 | 3,3 |

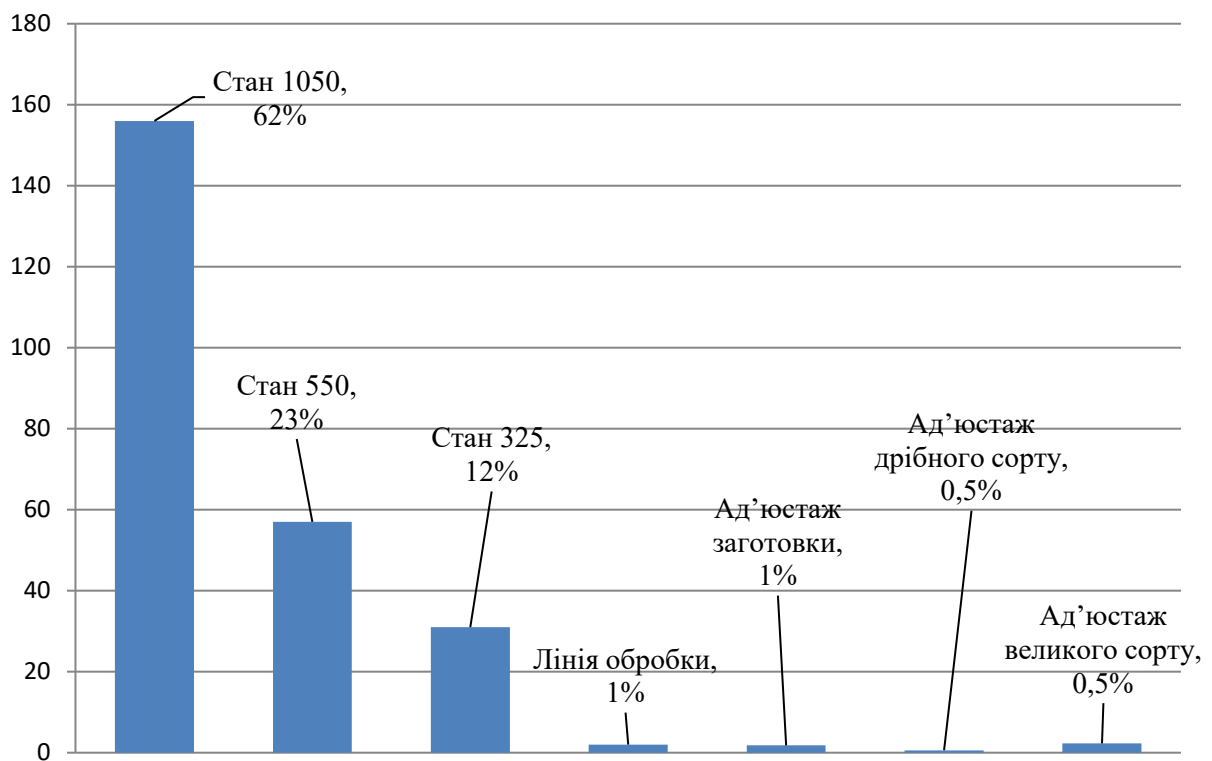


Рисунок 1.6 – Структура споживання технічної води

ПрАТ «Дніпроспецсталь» представляє собою унікальне підприємство української металургійної галузі, яке займає лідируюче положення в виробництві та постачанні спеціальних сталей і сплавів, відповідних сучасним та перспективним вимогам споживачів. Система менеджменту якості на підприємстві виступає ключовим інструментом для забезпечення зв'язку політики зі стратегією розвитку, спрямованого на постійне підвищення задоволеності клієнтів, які визначають основне джерело фінансових ресурсів та забезпечують стабільний розвиток підприємства. Система менеджменту якості ПрАТ «Дніпроспецсталь» повністю відповідає всім вимогам стандарту ISO 9001:2015 та ґрунтується на ризик-орієнтованому підході, чіткому розумінні контексту діяльності підприємства та наступних принципах:

- Рівень якості продукції визначається споживачем.
- Участь всіх співробітників у формуванні якості продукції.
- Управління діяльністю і ресурсами ґрунтується на ризик-орієнтованому процесному підході.
- Будь-який вид діяльності може і повинен бути вдосконалений.
- Рішення приймаються тільки на основі аналізу фактів.
- Постійне підвищення майстерності і компетентності персоналу, включаючи управління якістю та бережливе виробництво.
- Відносини з постачальниками ґрунтуються на взаємовигідній основі.

Зокрема, підвищення ефективності та результативності процесів і системи менеджменту якості, а також зниження втрат і ризиків, реалізується шляхом розробки цілей і програм з якості в кожному підрозділі, вимірювання та аналізу показників якості процесів і продукції, а також поліпшення їх на основі сучасних методів менеджменту якості та впровадження методів бережливого виробництва.

Керівництво ПрАТ «Дніпроспецсталь», що виступає гарантом виконання вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015, акцентує увагу на ризиках та впроваджує політику та цілі в галузі якості через планування, виконання, аналіз та постійне вдосконалення ключових та допоміжних процесів, а також

управлінських і розвиткових процесів Системи менеджменту якості. Оцінюючи ефективність та результативність процесів, використовуючи принцип неперервності управління, воно визначає шляхи вдосконалення Системи менеджменту якості.

Політика в області якості визначає суть діяльності підприємства та спрямована на всебічне сприйняття всіма працівниками, споживачами, постачальниками, акціонерами ПрАТ «Дніпроспецсталь» та суспільством.

1.12 Аналіз споживання електроенергії на досліджуваному об'єкті

1.12.1 Характеристика встановлених електроприймачів і установок в цеху блюмінгового стану ПАТ «Дніпроспецсталь»

Основними споживачами електричної енергії у відділенні є технологічне та зварювальне обладнання. Вони живляться від трифазної мережі частотою 50 Гц і напругою 0,38 кВ. Додатково в проект входить габаритне оперативне та аварійне освітлення напругою 220 В. Структура споживачів, що використовують електричну енергію, зображена на малюнку 1.1 наступним чином: електроприводи - 54%, вентиляція - 12%, електроопалення та електротехнології - 4%, освітлення та інші споживачі - 22%.

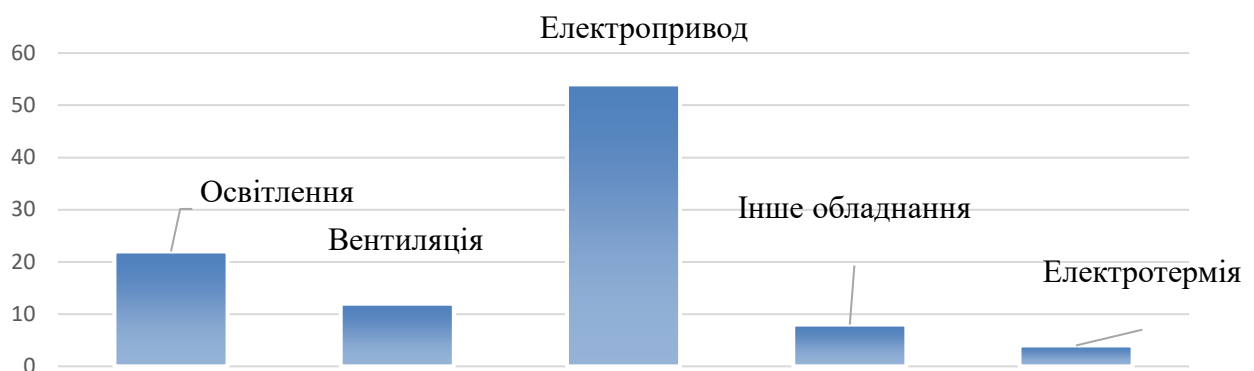


Рисунок 1.1 – Діаграма співвідношення електроенергоспоживання обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Основні приймачі електроенергії на підприємстві включають:

- Технологічне обладнання, що охоплює приблизно 180 одиниць, такі як станки, преси, електричні печі, компресори стисненого повітря (4 од.);

- Зварювальне обладнання, з наявністю близько 100 одиниць, включаючи зварювальні випрямлячі різних типів (ВС-600 – 9 од., ВДУ-506У – 14 од., КИУ-501 – 8 од., та інші), а також обладнання для зварювання MIG/MAG та дугового зварювання;

- Кран-балки;

- Освітлення, яке охоплює різні типи світильників і ламп для виробничих цехів, цехів освітлення, периметру, адміністративних приміщень та інших зон.

Співвідношення витрат електроенергії на ці споживачі вказано в таблиці 1.4. Аналізуючи діаграму фактичного розподілу електроенергії, можна зазначити, що найбільше енергії споживають система освітлення та електропривод.

Порівнюючи це з типовим розподілом, виокремлюється, що саме система освітлення є найбільш енергоємним споживачем у даному секторі економічної діяльності. Таблиця 1.4 містить річне споживання енергетичних ресурсів цехом, що включає ремонт обладнання та структуру витрат на них.

Таблиця 1.4 – Річне споживання і витрати на енергоресурси

| Енергоносій | Одиниці вимірювання | Споживання, нат. од. | Витрати за 2019 рік, грн | % |
|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|------|
| Електрична енергія | тис. кВт·год | 2030,8 | 3411,7 | 81,6 |
| Водопостачання | м ³ | 8261,2 | 69,1 | 1,7 |
| Природний газ | тис. м ³ | 78,1 | 702,7 | 16,8 |
| Всього | | — | 4183,4 | 100 |

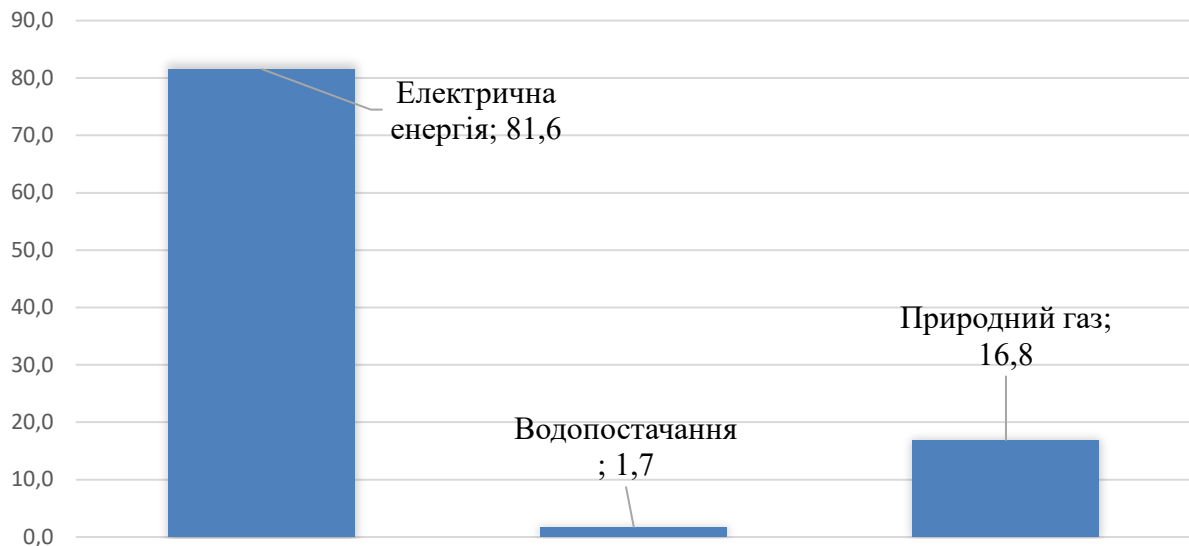


Рисунок 1.1 – Структура витрат на енергетичні ресурси

Як патентується на рисунку 1.2, витрати на електроенергію для цеху з ремонту обладнання виявляються значно вищими, ніж витрати на інші джерела енергії. З таблиці 1.4 можна взяти, що значна частина споживаної електроенергії припадає на електродвигуни, серед яких переважають асинхронні двигуни.

1.12.2. Динаміка споживання електроенергії

Ця електроенергія в промисловості широко використовуються для приводу різноманітних механізмів, освітлення та електротехнологічних установок, таких як електротермічні, електрозварювальні, електролізні установки тощо. Дані про щомісячне споживання електроенергії основними споживачами та тарифи на електроенергію за 2023 рік [2] подані у таблиці 1.6, а динаміка місячного споживання електроенергії представлена на рисунку 1.2. Деталізація споживання електроенергії за роками 2016-2018 наведена у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Річне споживання електроенергії в 2018 р.

| Місяць 2023 р. | Споживання електроенергії, млн. кВт·год | Витрати, млн. грн. |
|----------------|--|-----------------------|
| Січень | 6,52 | 6,09 |
| Лютий | 6,38 | 6,10 |
| Березень | 6,12 | 6,93 |
| Квітень | 5,98 | 6,84 |
| Травень | 6,72 | 6,49 |
| Червень | 6,14 | 6,18 |
| Липень | 6,05 | 4,13 |
| Серпень | 6,76 | 4,64 |
| Вересень | 6,85 | 4,70 |
| Жовтень | 6,97 | 4,78 |
| Листопад | 6,51 | 4,47 |
| Грудень | 7,2 | 4,94 |
| Усього | 78,2 | 52,29 |

млн.кВт·год

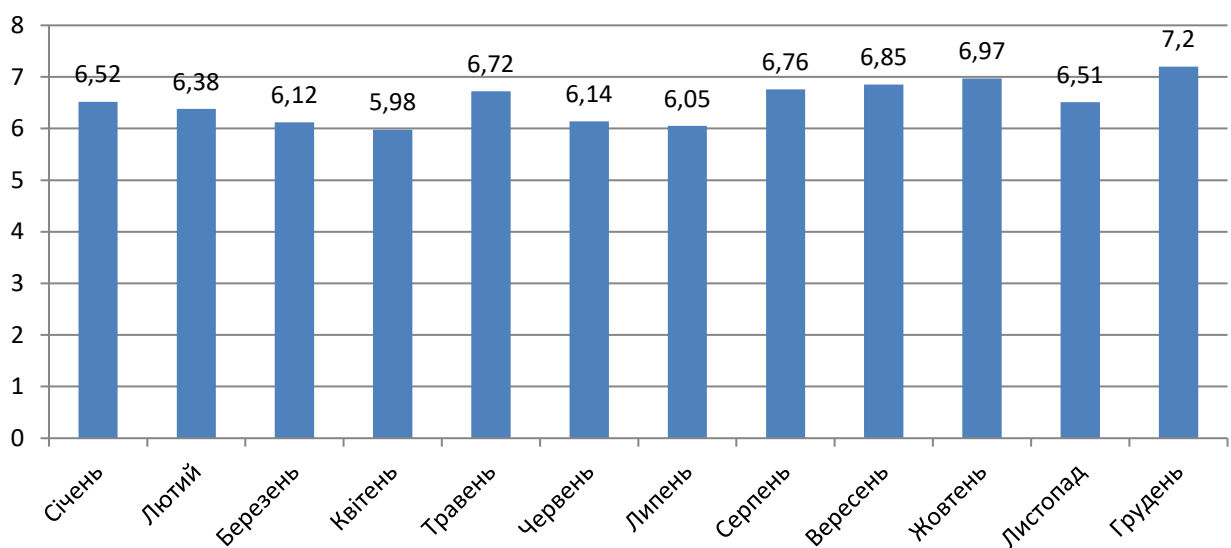


Рисунок 1.2 - Динаміка помісячного споживання електроенергії в 2023 р.

Таблиця 1.6 - Динаміка споживання електроенергії в 2021-2023 р.

| Роки | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|------|------|------|
| Споживання електроенергії, млн. кВт·год | 7,36 | 7,52 | 8,11 |
| Витрати, млн. грн. | 7,65 | 7,83 | 8,43 |

З наведених вище даних можна визначити, що за останні три роки споживання електроенергії на підприємстві стабільно зростає. Цей тренд пов'язаний із збільшенням обсягів виробництва та розширенням асортименту виробленої продукції. Зазначено, що зростання обсягу електроспоживання у 2023 році у порівнянні з 2021 роком склало 10%.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

2.1 Постановка задач дослідження

Наявність вищих гармонійних складових струму і напруги призводить до ряду негативних явищ: збільшуються втрати в електричних мережах і трансформаторах, скорочується ресурс ізоляції машин і електрообладнання на висоті напруги. Крім того, робота пристроїв релейного, автоматичного та мехатронного захисту є дуже складною. Наявність вищих гармонік у напрузі супроводжується появою та впливом процесу іонізації в ізоляції трансформатора, підвищенням рівня часткового розряду, утворенням заряду.

Нейтралізація цих зарядів призводить до впливу на навколишній діелектрик, сприяючи появі локальних дефектів ізоляції, зниженню електричної жорсткості та збільшенню діелектричних втрат. Крім того, під впливом вищих гармонійних складових підвищується температура ізоляції та відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, що призводять до її швидкого старіння.

Тому при несинусоїдальних напругах ресурс електрообладнання в енергосистемі скорочується. Як показує досвід експлуатації, в мережах з високою щільністю навантаження арматури частіше виникають однофазні замикання на землю в кабелях. Під час роботи силового трансформатора в умовах несинусоїдального струму та напруги збільшуються втрати на вихрові струми в магнітному ланцюзі та збільшуються втрати в обмотці трансформатора через скін-ефект, що призводить до збільшення втрат Втрати активної ємності. Подібні втрати виникають і в перетворювальних трансформаторах. В результаті ККД (коефіцієнт перетворення) випрямлячів знижується. При несинусоїдальних режимах мережі точність розрахунку енергії буде знижуватися.

Підвищені похибки можуть виникати при несинусоїдальному коефіцієнті $KNS \approx 7-10\%$. Клас точності інформаційних датчиків - трансформаторів струму і напруги в таких режимах також не гарантується. Метою даної роботи є розрахунок втрат потужності у внутрішній енергосистемі металургійного підприємства, експериментальне дослідження втрат потужності та продуктивності системи електропостачання обладнання з активу балансу ПрАТ «Дніпроспецсталь» до включення його в корпуси заводу. Нормовані значення для гармонік 27, 33 і 39 такі ж, як і для гармоніки 21. Як показали дослідження, їх рівні практично такі ж, як і для 21 гармоніки, і ймовірність перевищення нормальних допустимих значень наближається до 100%, і в багатьох випадках існує висока ймовірність перевищення максимально допустимого значення. Аналіз проведених досліджень впливу фільтрів-компенсаторів Ф-3 і Ф-5 на складові 15, 21, 27, 33 і 39 гармонік показує, що їх ефективності недостатньо для нормалізації рівня цих гармонік.

Крім того, під час досліджень було встановлено, що ефективність фільтрів Ф-3 і Ф-5 як пристроїв компенсації реактивної потужності є дуже низькою. Середня споживана потужність без фільтра 23 600 кВар, з фільтром Ф-3 22 267 кВар, з фільтром Ф-3 і Ф-5 21 200 кВар.

Отже, необхідно провести вимірювання та визначити показники якості електроенергії системи електропостачання кокосової рисової фабрики ПрАТ «Дніпроспецсталь»; Дослідження ефективності фільтрів компенсаційних пристроїв для компенсації реактивної потужності та підвищення якості електроенергії; розробити рекомендації щодо стандартизації якості електроенергії; Розрахувати втрати потужності та потужність внутрішньої електромережі заводу; Дослідити вплив запропонованих заходів на ефективність системи електропостачання.

2.2 Класифікація основних чинників, які мають вплив на продуктивність асинхронного двигуна під час живлення електроенергією низької якості

Електромеханічні пристрої, які використовуються в електроприводах, призначені для роботи в умовах симетричної і синусоїдальної напруги живлення, без коливань і постійної частоти. При відмінності заданих показників якості електроенергії від нормованих стандартом значень нормальна робота електрообладнання неможлива або може бути забезпечена лише значним зниженням навантаження. Попередні дослідження дозволяють зробити висновок, що робота електромеханічних перетворювачів в умовах поганої якості електроенергії призводить до зниження продуктивності та надійності АД.

На даний час на багатьох підприємствах склалася ситуація, що за нинішніх цінових і виразних умов економічно вигідніше не приводити споживання електроенергії до вимог державних технічних регламентів. За попередніми оцінками, втрати через неякісну електроенергію значно нижчі за витрати, необхідні для досягнення необхідної якості. І може бути рентабельніше міняти електродвигуни частіше, ніж встановлювати необхідні компоненти силової електроніки. На основі проведеного аналізу систематизовано фактори, що впливають на ефективність роботи АД при постачанні неякісною електроенергією (рисунок 2.1).

В однофазній електромережі діюче значення напруги визначається як значення напруги з основною частотою $U(1)$ без урахування вищих гармонійних складових напруги, а в трифазній електромережі - як ефективне значення основної частоти постійної напруги $U_1(1)$. Найважливішим фактором, який знижує надійність і, отже, скорочує термін служби АД, не є симетричний або синусоїдальний характер напруги живлення. Надійність АД багато в чому визначається станом їх обмоток, що, в свою чергу, визначається старінням ізоляції.

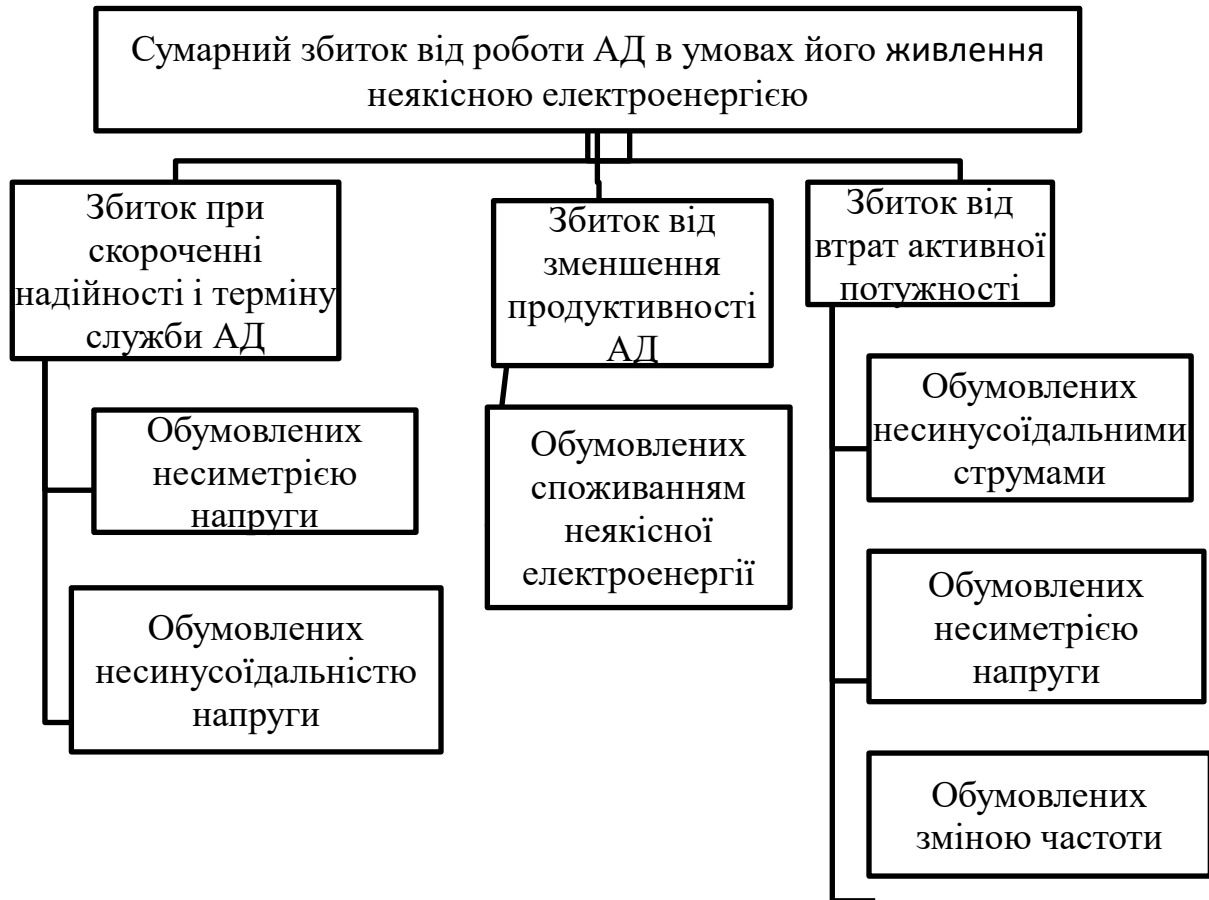


Рисунок 2.1 - Структура і фактори, що впливають на економічний збиток, викликаний роботою АД в умовах його живлення неякісною електроенергією

Розглядаються такі чинники, які призводять до економічних втрат: скорочення терміну служби і надійності асинхронного двигуна, втрати активної потужності та зміна його продуктивності (технологічний збиток).

2.3 Короткий опис алгоритму розрахунку загальних втрат

Втрати через втрату активної потужності можуть бути спричинені: асиметрією напруги; несинусоїдальний струм; шляхом зміни частоти джерела живлення.

Розглянемо кожен з цих показників докладніше. В умовах несиметрії струмів і напруг в елементах системи електропостачання виникають додаткові втрати потужності за рахунок системи зворотних струмів і напруг нульової послідовності. У будь-якому елементі трифазної мережі без нульового проводу додаткові втрати розраховуються за виразом:

$$\Delta E_{\text{НСМ}} = \sum_i T_i \Delta P_{2i}, \quad (2.1)$$

де ΔP_{2i} - втрати активної потужності в елементі системи електропостачання, обумовлені струмами зворотної послідовності;

T_i - час роботи і-го виду обладнання за обліковий період.

Розрахунок ведеться в функції коефіцієнта не симетрії напруги $K_{\text{ном}U}$, в вузлі підключення навантаження. Додаткові втрати активної потужності при живлення АД несиметричним напругою можна визначити за такою формулою:

$$\Delta P_{\text{ном}} = 2,41 \cdot \Delta P_{\text{м,ном}} \cdot I_n \cdot K_{\text{НСМ},U}^2, \quad (2.2)$$

де $\Delta P_{\text{м,ном}}$ - втрати в міді статора при номінальному струмі основної частоти;

I_n - стислість пускового струму при номінальній напрузі основної частоти.

Застосування формули для розрахунку результуючих додаткових втрат активної потужності в системах електропостачання з великою кількістю АД пов'язані з труднощами. У зв'язку з цим отримано понад простий вислів для таких розрахунків:

$$\Delta P_{\text{ном}} = 2,41 \cdot k_{\text{АД}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{НСМ},U}^2, \quad (2.3)$$

Значення коефіцієнта $k_{\text{АД}}$ для двигунів з номінальною потужністю до 5 кВт знаходяться в діапазоні 3 - 4,5, для двигунів потужністю 5-100 кВт - в діапазоні 1-3, а для двигунів потужністю понад 100 кВт - в діапазоні 0,4-1.

Перші значення відносяться до біліше потужним двигунам. значення коефіцієнта k_{AD} для АД потужності $P_{ном}$ можна визначити за такою формулою:

$$k_{AD} = k_{AD}^H + \frac{(k_{AD}^B - k_{AD}^H)(P_{ном}^B - P_{ном})}{P_{ном}^B + P_{ном}^H}, \quad (2.4)$$

де k_{AD}^H и k_{AD}^B - відповідно нижня і верхня межі діапазону k_{AD} ;

$P_{ном}^H$ и $P_{ном}^B$ відповідно нижня і верхня межі діапазону номінальних потужностей АД.

Наведені нижче вирази дозволяють розрахувати км для АД різної потужності:

$$k_{AD} = 3 + 0,3(5 - P); P < 5 \text{ кВт}; \quad (2.5)$$

$$k_{AD} = 1,0 + 0,021(100 - P); P = 5 \div 100 \text{ кВт}; \quad (2.6)$$

$$k_{AD} = 0,4 + 0,0067(1000 - P); P < 1000 \text{ кВт}. \quad (2.7)$$

При великій кількості АД (кілька сотень) з різною номінальною потужністю k_{AD} рекомендується визначати в наступному порядку:

- а) шкалу номінальних потужностей АД ділять на кілька діапазонів;
- б) для кожного діапазону визначають сумарну номінальну потужність АД;
- в) для кожного діапазону визначають середнє значення коефіцієнта k_{AD} ;
- г) визначають значення коефіцієнта k_m для сумарній номінальній потужності всіх АД:

$$k_{AD\Sigma} = k_{AD1} \frac{P_{ном,1}}{P_{ном,\Sigma}} + k_{AD2} \frac{P_{ном,2}}{P_{ном,\Sigma}} + \dots + k_{ADn} \frac{P_{ном,n}}{P_{ном,\Sigma}}, \quad (2.8)$$

де n - число діапазонів, на які розбита шкала номінальних потужностей АД.

В системі електропостачання, що містить нелінійні елементи, виникають Несинусоїдальні струми і напруги. Наявність вищих гармонік веде до появи додаткових втрат активної потужності від несинусоїдальних струмів P_{nc} і електроенергії $\Delta \mathcal{E}_{nc}$ в елементах систем електропостачання, а також викликає ряд небажаних явищ в мережі живлення.

Додаткові втрати активної потужності в обмотках асинхронного двигуна, обумовлені струмами вищих гармонік, визначають за формулою:

$$P_{nc} = 3 \sum_{n=3}^N I_n^2 (R_{1n} + R_{2n}'), \quad (2.9)$$

де R_{1n}, R_{2n}' - активний опір статора і наведене активний опір ротора на частоті n -й гармоніці.

З урахуванням прояви поверхневого ефекту:

$$R_{1n} = R_1 \sqrt{n}, \quad (2.10)$$

$$R_{2n}' = R_{2n}' \sqrt{n \pm 1}. \quad (2.11)$$

Для гармонійних струмів n , що утворюють систему прямого порядку, (2.

11) матиме знак плюс, для зворотного порядку - знак мінус.

При використанні середніх параметрів електричної машини практично враховуються додаткові втрати активної потужності в обмотках статора і ротора на струми вищих гармонік. Наявність додаткових втрат активної потужності за рахунок несинусоїдальних струмів в асинхронних двигунах призводить до зниження їх коефіцієнта потужності, ККД і доступної потужності. Більшість додаткових втрат активної потужності через вищі гармоніки в асинхронних машинах пов'язані з демпфером і компонентами обмотки статора.

В асинхронних двигунах з напругою понад 1 кВ додаткові втрати активної потужності за рахунок вищих гармонік в обмотках статора і ротора однакові. При розрахунках додатковими втратами в сталі статора і ротора від магнітного поля можна знехтувати. Ці поля незначні через контур демпфування в роторі. Додаткові втрати активної потужності в сталі враховуються тільки точними розрахунками. Втрати активної потужності в АД через зміну частоти мережі визначають за виразом:

$$\Delta P_{f,AD} = \Delta P_{f,ст} + \Delta P_{f,м}, \quad (2.12)$$

де $\Delta P_{f,ст}$ - зміна втрат в сталі АД при зміні частоти;

$\Delta P_{f,м}$ - зміна втрат в металі (міді) обмоток АД при зміні частоти.

Зміна питомих втрат в сталі АД визначають з виразу:

$$\Delta P_{f,ст} = \frac{\Delta P_{ст,ном}(0,61+0,39k_f)}{k_f}, \quad (2.13)$$

де $\Delta P_{ст,ном}$ - питомі втрати в сталі АД при $f=f_{ном}$. Їх розраховують за формулою:

$$\Delta P_{ст,ном} = \left[\delta_{\Gamma} \frac{f}{100} + \delta_{в,т} \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{B}{1000} \right)^2, \quad (2.14)$$

де B - магнітна індукція в осерді АД, Тл;

δ_{Γ} и $\delta_{в,т}$ – питомі втрати в сталі на гістерезис і вихрові струми.

При номінальній частоті $f=50$ Гц для сталі товщиною 0,5 мм $\delta_{\Gamma}=4,4$ Вт/кг і $\delta_{в,т}=5,6$ Вт/кг; $k_f=f/f$ - коефіцієнт відносної частоти.

Втрати в обмотках статора і ротора АД, якщо знехтувати намагнічує струмом, при моменті M_c і зміною частоти рівні:

$$\Delta P_{f,м} \cong \Delta P_{м,ном} M_c k_f^2, \quad (2.15)$$

де $\Delta P_{M, \text{НОМ}}$ - втрати в обмотках статора і ротора АД при $f=f_{\text{НОМ}}$;

M_c - момент опору механізму. Для механізмів з постійним моментом на валу він дорівнює елетромагнітному моменту АД.

Необхідність використання симетризуючого пристрою визначається на основі вимог до якості електроенергії згідно з ДСТУ 13109-97. Згідно з цими нормами, напруга зворотної послідовності не повинна перевищувати 2% від номінального значення. Формули для оцінки можливості підключення однофазних навантажень наведені в таблиці 3.2.

Симетризуючі пристрої можуть бути керованими або некерованими, і вибір типу пристрою залежить від характеру технологічного процесу установки. Розрахунок необхідної потужності елементів симетризуючого пристрою проводиться для конкретної потужності однофазного навантаження, зазвичай для його максимального значення. Таким чином, параметри симетризуючого пристрою забезпечують симетризацію лише при одному значенні потужності навантаження.

Якщо під час технологічного процесу споживана потужність ЕТУ змінюється, виникає несиметрія струмів і напруг. Ця несиметрія залежить від величини зміни активної потужності навантаження X , яка розраховується як відношення максимальної до мінімальної потужності (повної або активної) під час нагрівання або плавлення:

$$\lambda = \frac{P_{0 \text{ макс}}}{P_{0 \text{ мин}}} = \frac{S_{0 \text{ макс}}}{S_{0 \text{ мин}}} (\cos \varphi = \text{const}). \quad (2.16)$$

Визначення необхідності використання симетризуючих пристроїв виконується за допомогою формул, наведених у таблиці 2.1. Проте ці критерії можуть бути недостатніми для прийняття рішення про використання симетризуючих пристроїв. У деяких випадках може бути економічно обгрунтованим симетризування однофазного навантаження для зниження несиметрії напруги нижче нормативного рівня.

Таблиця 2.1 - Коефіцієнт несиметрії напруг і умови можливості підключення однофазних навантажень

| Характер навантаження | Коефіцієнт несиметрії напруг, α_u | |
|--|--|---|
| Однофазна потужність, S_0 | $\frac{S_0}{S_{кз}+2,67S_3}$ | $\frac{v_0 \cdot u_k}{1+2,67v_3 u_k}$ |
| Дві однофазні (або одна двухфазна) потужності, S_1 і S_2 | $\frac{\sqrt{S_{01}^2 - S_{01}S_{02} + S_{02}^2}}{S_{кз}+2,67S_3}$ | $\frac{\sqrt{v_{01}^2 - v_{01}v_{02} + v_{02}^2}}{1+2,67v_3 u_k}$ |

Для однофазної печі ІЧТ-40 визначаємо коефіцієнт несиметрії:

$$K_{нсм, U} = \frac{S_{0 \max} \left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)}{S_{кз} + 2,67S_3} \cdot 100\%, \quad (2.17)$$

де $S_{ном}$ - максимальна споживана потужність в процесі плавки; $S_{ном} = 9150$ кВА;

$\lambda = S_{\max}/S_{\min} = 2,4$ - діапазон зміни потужності в процесі плавки; $S_3 = 12050$ кВА - потужність 3-фазного навантаження; $S_{кз} = 114440$ кВА - потужність к.з. в точці підключення ІЧТ-40 до мережі (шини РП-6 кВ).

$$K_{нсм, U} = \frac{9150 \left(1 - \frac{1}{2,4}\right)}{114440 + 2,67 \cdot 12050} \cdot 100 = 3,64\% > K_{нсм, U \text{ доп}} = 2\%. \quad (2.18)$$

2.4 Вивчення впливу параметрів якості електроенергії на роботу асинхронного двигуна

Для комплексної оцінки впливу асиметрії та несинусоїдальності напруги на технічні характеристики асинхронного двигуна була розроблена математична модель та створена експериментальна установка (рисунки 2.2).

Технічні характеристики обладнання:

Асинхронний двигун 4АХ80А4У3; $P_{\text{НОМ}}=1,1$ кВт; $U_{\text{НОМ}}=380$ В; $I_{\text{НОМ}}=2,8$ А;
 $\cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,81$; $n_{\text{НОМ}}=1400$ об/хв.; $\eta_{\text{НОМ}}=0,75$.

Генератор ПЗ1; $P_{\text{НОМ}}=1$ кВт; $U_{\text{НОМ}}=230$ В; $I_{\text{НОМ}}=4,35$ А; $n_{\text{НОМ}}=1450$ об/хв.;
 $\eta_{\text{НОМ}}=0,75$.

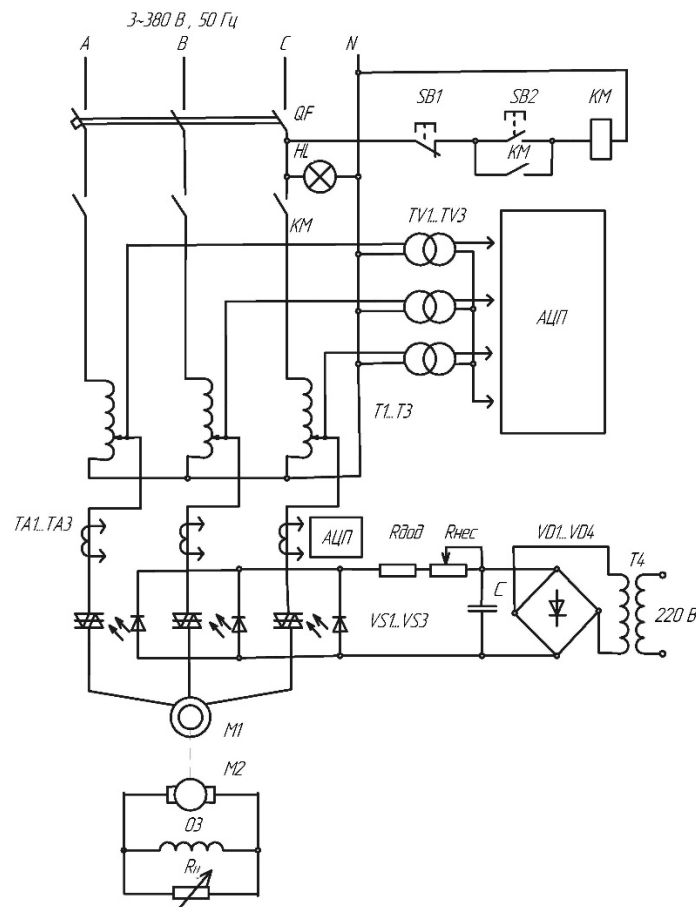


Рисунок 2.2 - Електрична принципова схема експериментально-дослідної установки

Навантаженням на АД М1 є генератор постійного струму паралельного збудження М2. Несиметрія напруг робиться за допомогою трьох лабораторних автотрансформаторів (ЛАТР) Т1...Т3. Несинусоїдальність – оптосимисторами VS1...VS3, які регулюються резистором $R_{\text{нec}}$. Інформація уводиться до комп'ютера за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги TV1...TV3, струму ТА1...ТА3 та аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

При цьому виникає похибка вимірювань, яка обумовлена наявністю вимірювальних трансформаторів. При малих відхиленнях показників якості ЕЕ від нормально - допустимих похибка буде більшою. Для її зниження трансформатори струму ТА1...ТА3 додатково завантажили [2].

Контролюючими параметрами були: потужність двигуна по фазам, обертовий момент, частота обертання, ККД, струм у фазах [3].

В результаті експериментів було встановлено, що невелика асиметрія напруги мало впливає на зниження крутного моменту і частоти обертання. Більшою мірою несиметрія позначається на втратах в електродвигунах, на нагріванні і зниженні ресурсу ізоляції. На роботу АД значною мірою впливають вищі гармоніки (VH). Тому, коли АД працює в умовах несинусоїдальної напруги, його коефіцієнт потужності та крутний момент на валу зменшуються.

Таким чином, якщо амплітуда 5-ї та 7-ї гармонік напруги становить відповідно 20% і 15% від амплітуди 1-ї гармоніки, то коефіцієнт потужності двигуна зменшиться до 25% порівняно зі значенням синусоїдальної напруги.

Якщо НТ не перевищує нормальних значень, допустимих за ГОСТ 13109-97, то їх вплив на коефіцієнти потужності і моменту можна не враховувати. Вони не перевищують 0,5% моменту розвитку на потужних частотах. НВ істотно впливає на ізоляційну здатність електричних машин. НТ викликає появу іонізації в шарі ізоляції. При цьому виникають локальні дефекти ізоляції, що призводить до збільшення діелектричних втрат і скорочення терміну служби [4]. Дослідження різних коефіцієнтів навантаження АД дають наступні результати (рис. 2.3, 2.4, 2.5).

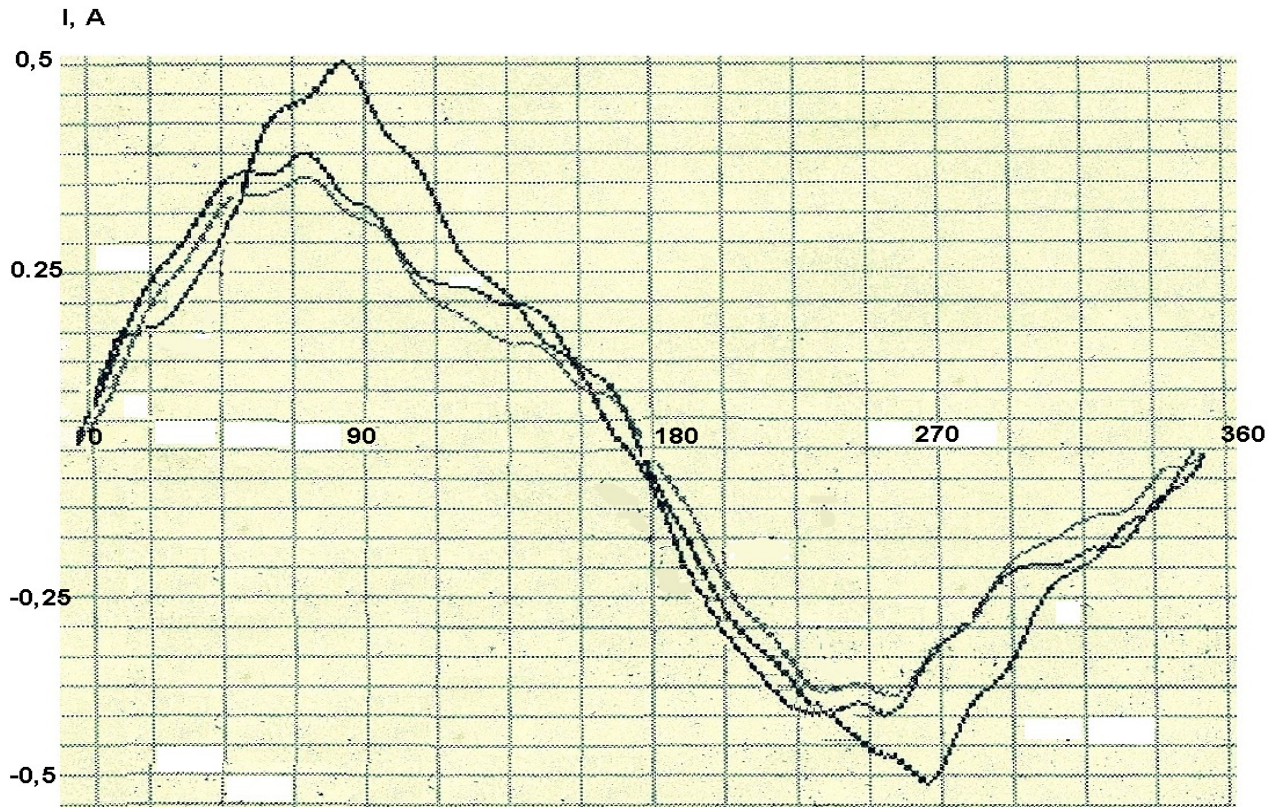


Рисунок 2.3 - Результати дослідження АД при різних значеннях несинусоїдальності та несиметрії і коефіцієнті завантаження $K_3=0$.

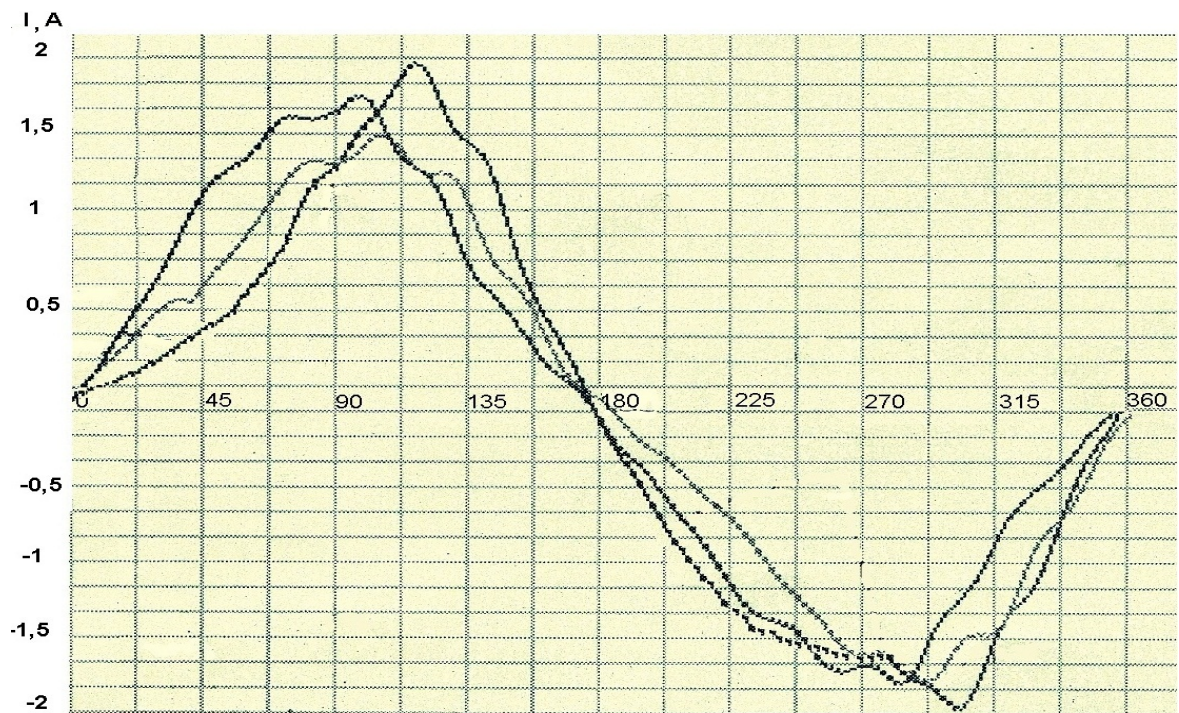


Рисунок 2.4 - Результати дослідження АД при різних значеннях несинусоїдальності та несиметрії і коефіцієнті завантаження $K_3=0,5$.

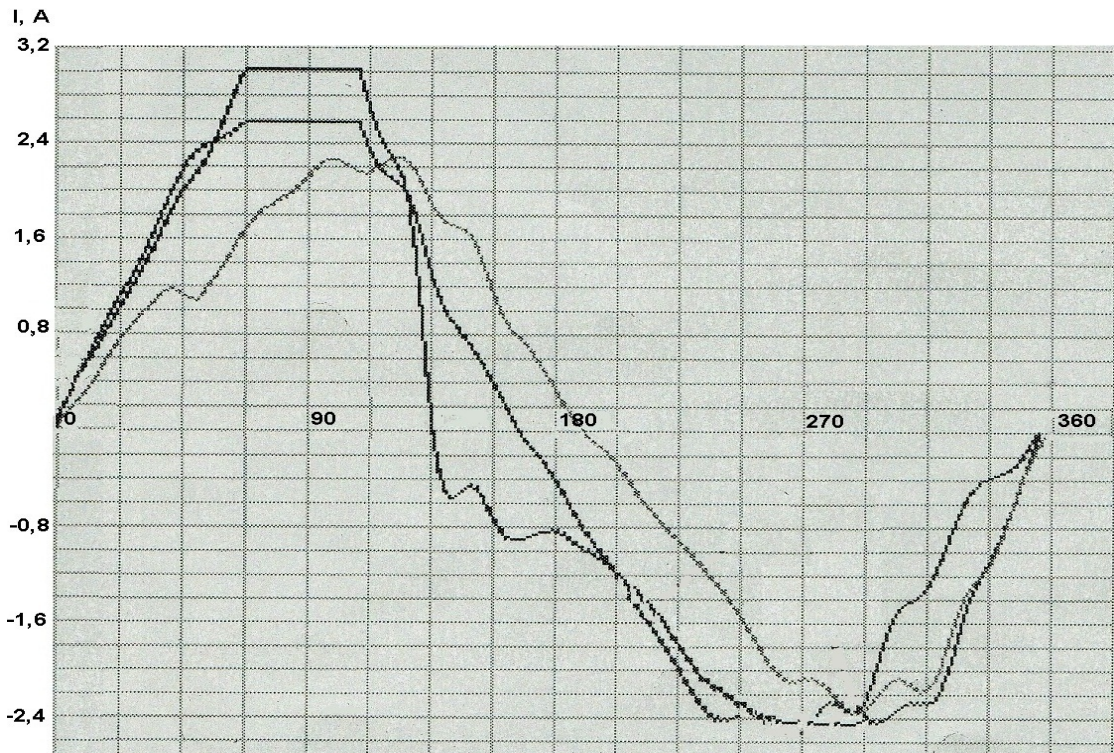


Рисунок 2.5 - Результати дослідження АД при різних значеннях несинусоїдальності та несиметрії і коефіцієнті завантаження $K_3=1$.

Аналізуючи отримані графіки, можна скласти електричні рівняння залежностей M , n_2 , $\eta=f(K_{2U}, K_U)$, які є цільовими функціями. Завдяки нелінійному характеру перемагнічування АД коефіцієнти несинусоїдальності по напрузі та струму неоднакові. Для отримання комплексного впливу несиметрії та несинусоїдальності напруг на технічні характеристики АД був поставлений плановий експеримент за методом Бокса-Уїлсона, який має вигляд $f(x_1, x_2)=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1x_2$. Експеримент дав наступні залежності за різних коефіцієнтах завантаження (K_3).

$$K_3=0,5:$$

$$n_2=1415-15,75 K_{2U} - 5,75 K_U + 0,75 K_{2U} K_U;$$

$$M=5,95-0,0875 K_{2U} - 0,0525 K_U + 0,0125 K_{2U} K_U;$$

$$\eta=63,8-4,625 K_{2U} - 2,125 K_U + 0,325 K_{2U} K_U.$$

$$K_3=1:$$

$$n_2=1400-26,5 K_{2U} - 11,5 K_U + 3,5 K_{2U} K_U;$$

$$M=7,5-0,2 K_{2U} - 0,06 K_U + 0,015 K_{2U} K_U;$$

$$\eta=75-5,65 K_{2U} - 3,15 K_U + 0,15 K_{2U} K_U.$$

Отже, важливо досліджувати технічні характеристики як для асинхронного двигуна, так і для іншого електроустаткування, при відхиленні від нормально-допустимого значення не лише одного показника якості електроенергії, а в комплексі. Цільові функції M , n_2 , $\eta=f(K_{2U}, K_U)$ залежать від завантаження АД та його типу і тому не можуть бути уніфікованими. Точність вимірювань технічних характеристик асинхронного двигуна залежить від величини відхилення показників якості електроенергії від нормально-допустимих значень.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ВАРІАНТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

3.1 Обґрунтування доцільності впровадження заходів зі зниження споживання реактивної енергії

В техніко-економічних розрахунках щодо підвищення ефективності копрового цеху ПрАТ "Дніпроспецсталь" враховуються технічні та економічні аспекти з метою забезпечення оптимального функціонування підприємства. Такі розрахунки можуть включати в себе оцінку вартості обладнання, потребу в енергоресурсах, прогнозовану ефективність застосування нових технологій, а також визначення впливу на середовище.

Ці розрахунки дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо впровадження конкретних заходів з підвищення ефективності виробничого процесу. Вони можуть також включати в себе аналіз витрат і очікуваних прибутків від впровадження нових технологій або модернізації існуючого обладнання.

Ці техніко-економічні розрахунки є ключовим етапом у прийнятті стратегічних рішень для підприємства і дозволяють ефективно використовувати ресурси, забезпечуючи при цьому конкурентоспроможність на ринку.

В процесі перевірки варіантів реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП), необхідно визначити сумарну скомпенсовану реактивну потужність на кожному вводі. Це можна здійснити, розраховуючи потужність для кожного ФКП і далі сумуючи їх відповідно до схем підключення по вводах 10 кВ.

3.2 Визначення економічних показників впровадження компенсації реактивної потужності фільтрокомпенсуючими пристроями

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 кожну 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:

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

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.

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

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

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

3.4 Визначення фінансово-економічних показників варіантів реконструкції та заміни ФКП

Для оцінки фінансово-економічних показників різних варіантів реконструкції та заміни фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП) слід враховувати кілька важливих аспектів.

1. Зменшення втрат електроенергії в трансформаторах КТП:

- провести розрахунки втрат електроенергії в трансформаторах до установки фільтрів, враховуючи стандартні параметри.
- оцінити очікуване зменшення втрат після встановлення ФКП, враховуючи коефіцієнти зниження втрат, що визначаються технічними характеристиками фільтрів.

2. Зменшення втрат електроенергії в лініях мережі живлення та обмотках електродвигунів:

- розрахувати втрати електроенергії в лініях мережі та обмотках електродвигунів до встановлення фільтрів.
- оцінити очікуване зменшення цих втрат при використанні ФКП.

3. Визначення економічного ефекту:

- урахувати вигоду в електроенергії та зниження втрат під час розрахунку економічного ефекту.
- розглянути інші аспекти, такі як терміни амортизації та вартість фільтрів, для повного урахування впливу на фінансовий результат.

Цей підхід дозволяє здійснити комплексний аналіз фінансової ефективності різних варіантів реконструкції або заміни ФКП, зокрема враховуючи витрати та очікувані вигоди від зазначених заходів.

Втрати електроенергії в трансформаторах до установки фільтра:

$$\Delta W_T = n_T (\Delta P_x \cdot 8760 \cdot k_{зг}^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau_M) \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

де $\Delta P_x, \Delta P_k$ - наведені втрати ХХ і КЗ, кВт;

τ_M - число годин максимальних втрат.

$$\tau_M = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot 8760, \quad (3.4)$$

$$\Delta P_x = \Delta P_x + \gamma \frac{I_x S_{НОМ}}{100}, \quad (3.5)$$

$$\Delta P_k = \Delta P_k + \gamma \frac{U_x S_{НОМ}}{100}, \quad (3.6)$$

де γ - еквівалент реактивної потужності, який залежить від додаткових втрат електроенергії при передачі через елементи мережі додаткової потужності, яка обумовлена втратами реактивної потужності в трансформаторах, $\gamma=0,01$ кВт/квар:

$$\Delta P_x = 1,9 + 0,01 \frac{1,2 \cdot 1000}{100} = 2,02 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_k = 10,8 + 0,01 \frac{5,5 \cdot 1000}{100} = 11,35 \text{ кВт},$$

$$\tau_M = \left(0,124 + \frac{5400}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 3862 \frac{\text{год}}{\text{рік}},$$

$$\Delta W_T = 2(2,02 \cdot 8760 + 0,84^2 \cdot 11,35 \cdot 3862) \cdot 10^{-3} = 97,248 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

Експлуатаційні витрати від втрат електроенергії:

$$E_T = C_W \cdot \Delta W_T, \quad (3.7)$$

$$E_T = 1,8846 \cdot 97,2 = 56,85 \text{ тис. грн.},$$

де $C_W=1,8846$ грн/кВт·год - вартість 1 кВт·год електроенергії.

Втрати електроенергії в трансформаторах після установки фільтра, МВт·г:

$$\Delta W_T^{\wedge} = n_T (\Delta P_x^{\wedge} \cdot 8760 + k_{3T}^2 \cdot \Delta P_K^{\wedge} \cdot \tau_M) \cdot 10^{-3}, \quad (3.8)$$

$$\Delta W_T^{\wedge} = 2(2,02 \cdot 8760 + 0,61^2 \cdot 11,35 \cdot 3862) \cdot 10^{-3} = 68,01 \text{ МВт} \cdot \text{год},$$

$$E_T^{\wedge} = C_W \cdot \Delta W_T^{\wedge}, \quad (3.9)$$

$$E_T = 1,8846 \cdot 68,011 = 39,759 \text{ тис. грн.},$$

Економія від зменшення втрат електроенергії в трансформаторах:

$$\delta E_T = 56,851 - 39,759 = 17,092 \text{ тис. грн.} \quad (3.10)$$

Втрати електроенергії в мережі живлення і розподільної мережі при протіканні струмів вищих гармонік визначається за формулою:

$$\Delta W_{\text{л}} = 3 \cdot \sum I_n^2 \cdot R_n \cdot \tau_M \cdot 10^{-6}, \quad (3.11)$$

де I_n - струм n-й гармоніки;

$R_3=0,65$ Ом - еквівалентний опір живильної і розподільної мережі.

До установки фільтра: $I_{n=5}=95,5$ А; $I_{n=7}=38,1$ А; $I_{n=11}=12,5$ А.

$$\Delta W_{\Delta} = 3 \cdot (95,5^2 + 38,1^2 + 12,5^2) \cdot 0,65 \cdot 3862 \cdot 10^{-6} = 80,79 \text{ МВт}\cdot\text{год}$$

Для зручності розрахунку розглядаємо однотипні, а також взаємопов'язані варіанти і зводимо до таблиць 3.1– 3.5.

Таблиця 3.1 - 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 3.2 - 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 3.3 - 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 3.4 - Ввод Т-12 варіант №3

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

Таблиця 3.5 - 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 3.6 - Потоки грошових коштів при впровадженні та налагодженні ФКП

| № | Потоки грошових коштів, тис. грн | 201 | 201 | 201 | 2015 | 201 | 201 | 201 | 201 |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| | | 2 | 3 | 9 | | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | 1Y | 2Y | 3Y | 4Y | 5Y | 6Y | 7Y | 8Y |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2 | Зміна перемінних витрат | 43,7 | 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 | 43,7 |
| 4 | Постійні витрати | -0,47 | -0,57 | -0,77 | -0,97 | -1,3 | - | - | - |
| | | | | | | | 1,67 | 2,17 | 2,77 |
| 5 | поточні та капітальні ремонти | -0,4 | -0,5 | -0,7 | -0,9 | -1,2 | -1,6 | -2,1 | - |
| | | | | | | | | | 2,77 |
| 6 | Амортизація обладнання | -24 | -18,2 | -13,8 | -10,5 | -8,1 | -6,1 | -4,6 | -3,5 |
| 7 | з урахуванням проекту | -24,1 | -18,2 | -13,8 | -10,5 | -8,1 | -6,5 | -4,6 | -3,5 |
| 8 | Податки на прибуток | -10,8 | -10,7 | -10,7 | -10,7 | - | - | - | - |
| | | | | | | 10,7 | 10,5 | 10,4 | 10,2 |

Продовження таблиці 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|--|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 9 | Додатковий дохід від операційної діяльності | 8,5 | 14,1 | 18,3 | 21,5 | 23,8 | 25,4 | 26,6 | 27,2 |
| 10 | Відшкодування Амортизації | 24,0 | 18,2 | 13,8 | 10,5 | 8,1 | 6,1 | 4,6 | 3,5 |
| 11 | Додатковий грошовий потік від операційної діяльності | 32,4 | 32,3 | 32,2 | 32,1 | 31,9 | 31,6 | 31,2 | 30,7 |
| 13 | Інвестиції | -100 | | | | | | | |
| 14 | Залік ПДВ з інвестицій | 20 | | | | | | | |
| 15 | Потік інвестиційної діяльності | -80 | 0 | 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 | 30,7 |
| 17 | Грошовий потік | -47,5 | 32,3 | 32,2 | 32,1 | 31,9 | 31,6 | 31,2 | 30,7 |
| 18 | Чистий куммулятивний грошовий потік | -47,5 | -15,2 | 17,1 | 49,2 | 81,1 | 112,6 | 143,7 | 174,5 |
| 19 | Коефіцієнти дисконтування | 0,91 | 0,76 | 0,63 | 0,53 | 0,44 | 0,37 | 0,31 | 0,25 |
| 20 | Дисконтований потік інвестицій | -73,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Продовження таблиці 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|--|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|
| 22 | Кумулятивний дисконтований грошовий потік (NPV) | -43,4 | -18,8 | 1,7 | 18,6 | 32,6 | 44,2 | 53,8 | 61,6 |

Отже, запропоновані технічні рішення, що поєднують компенсацію реактивної потужності та фільтрацію вищих гармонік, сприятимуть значному зменшенню витрат підприємства на придбання реактивної енергії з мережі. Крім того, в результаті техніко-економічного обґрунтування визначено оптимальний варіант для кожного вводу.

Економічні показники, тис. грн.

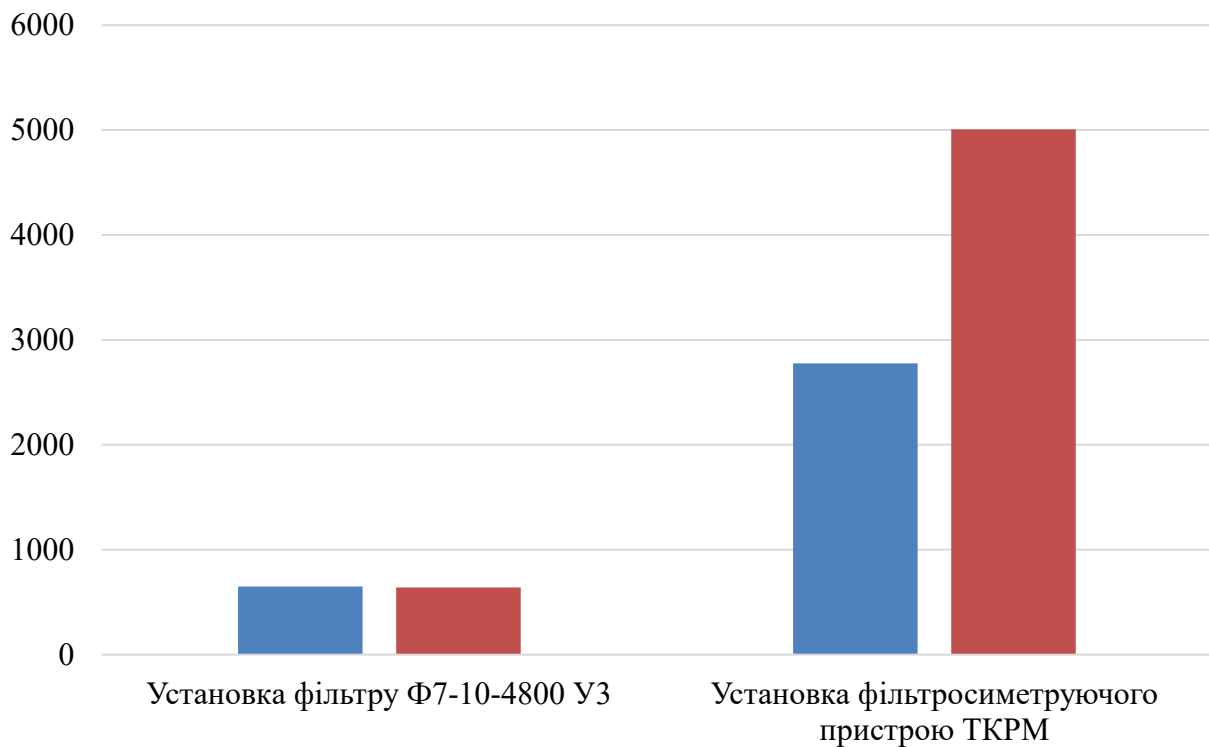


Рисунок 3.1 - Графічне зображення економічної ефективності варіантів реконструкції

Таблиця 3.7 – Загальні показники варіантів реконструкції системи електропостачання

| №з/п | Показники | Установка фільтру Ф7-10- 4800 УЗ | Установка фільтросиметруючого пристрою ТКРМ |
|------|--|--|---|
| 1 | Втрати електроенергії до установки пристрою, тис.грн | 1040,08 | 7578,902 |
| 2 | Втрати електроенергії після установки пристрою, тис.грн | 400,448 | 2573,037 |
| 3 | Вартість установки, тис.грн | 650,7 | 2775,9 |
| 4 | Нормативний коефіцієнт амортизації, % | 6,4 | 8,3 |
| 5 | Нормативний коефіцієнт на обслуговування, % | 3,0 | 3,0 |
| 6 | Щорічні витрати на амортизацію і обслуговування, тис.грн | 61,758 | 313,68 |
| 7 | Економічний ефект від впровадження, тис.грн | 639,632 | 5005,865 |
| 8 | Термін окупності, років | 1,11 | 0,62 |

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

Для живлення споживачів великої потужності ПрАТ «Дніпроспецсталь» використовує мережу коротких пічних трансформаторів напруги, виготовлених у вигляді трифазних мостових схем.

Сама топкова установка є джерелом вищих гармонійних складових змінної напруги і струму, з яких найважливішими є 11 і 13 гармоніки, потім 23 і 25 гармоніки, 35 і 37, інші гармоніки, кількість яких визначається відношення $12n + 1$ (де n – натуральне число). Критеріями оцінки якості електроенергії в цьому випадку є коефіцієнт несинусоїдності та ступінь гармонійності вищих складових напруги. Наявність вищих гармонійних складових струму і напруги призводить до ряду негативних явищ: збільшуються втрати в електромережах і трансформаторах, збільшується висота ізоляції електричних машин і обладнання напруги. Крім того, робота пристроїв релейного, автоматичного та мехатронного захисту є дуже складною.

Робота дугових сталеплавильних печей також пов'язана з викидом токсичних речовин в атмосферу. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у робочій зоні обслуговуючого персоналу встановлюються:

- 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 цеху розроблені такі заходи з охорони праці.

Проаналізовано потенційно небезпечні фактори виробничого середовища, які можуть виникнути під час функціонування технологічного процесу.

Шкідливі речовини поділяються на 4 класи небезпеки.

В цеху електролізу знаходяться небезпечні речовини 3 і 4 ступеня.

Існує ризик отруєння працівників чадним газом (СО), який може потрапити в зал при порушенні технологічного режиму через витік.

а також є ризик доторкнутися до зони виділення шкідливих речовин.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для оператора зварювальної машини

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

Робота сталеплавильних печей пов'язана з виділенням великої кількості канцерогенів. Вибух - миттєве виділення енергії з речовини і зниження тиску до атмосферного. Причиною вибуху могло бути: - підвищення тиску через несправність запобіжного клапана; - знижує інтенсивність охолодження,

приводячи до того, що нагріті стінки перестають охолоджуватися; - знос установки через напруження; - порушення технічних умов експлуатації; - помилки проектування та матеріали, що не відповідають розрахунковим параметрам. Також вжито спеціальних заходів щодо контролю та обмеження шкідливих викидів і шуму. Розрізняють наступні види шуму, що виникає при роботі електросталеплавильного обладнання: корпусний шум, створюваний механічною вібрацією; Прямий повітряний шум створюється витяжною системою цеху.

Основними джерелами повітряного шуму, які в деяких випадках потребують використання спеціальних шумопоглиначів, є напівпровідникові перетворювачі змінного струму в постійний струм і системи видалення шкідливих виділень. При монтажі печі використовуються такі типи звукопоглинальних пристроїв: - звукопоглинальна стійка; - коробка звукопоглинача; - тиша. Джерелом шуму також є вібрація обладнання (насоси, труби).

У зв'язку з цим основним методом боротьби є звукоізоляція джерела, при цьому реалізуються основні заходи: - влаштування віброізоляції бетонної основи під піч; - віброізоляція головного насоса; - віброізоляція з'єднань опор труб; - звукоізоляція напівпровідникових приладів; - використовує глушник в каналі для вихлопу шкідливих газів.

Засоби захисту застосовуються для захисту персоналу від ураження електричним струмом в мережі. Усі струмоведучі частини та провідники ізолювані. Мінімальний опір ізоляції 500 кОм.

Застосовується захист від блокування, тобто відключення електричного кола в аварійній ситуації з максимальним часом спрацьовування 0,2 секунди.

Електрообладнання електросталеплавильного цеху живиться від мережі змінного струму напругою 10 кВ/1200 В/50 Гц Для робітників (операторів печі) відповідно до гігієнічної класифікації, гігієнічних характеристик у Трудовому процесі та елементах виробничого середовища наведено та нанесено на карту умови праці (табл. 4.1).

Умови і характер праці II типу.

На робочому місці є 4 фактори рівня 1, 2 фактори рівня 2 і 1 фактор рівня

3.

4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії цеху

4.2.1 Опалення і вентиляція

Для електротехнічного сталеливарного цеху приміщення, що відносяться до проекту середньої складності, представлені в таблиці 4.2. Параметри умов виробничого середовища встановлюються згідно з вимогами ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочих помещений».

У виробничому приміщенні, яке не потребує системи опалення, достатньо тепла для обігріву приміщення в холодні періоди року. У виробничих приміщеннях використовується природна і механічна вентиляція.

Природна вентиляція виникає за рахунок аерації.

Аерація відбувається під дією статичного тиску повітря і вітру.

Для надходження зовнішнього повітря в приміщення встановлюють прорізи на зовнішніх стінках і ліхтарі в «холодних» відсіках, чергуючи їх з «гарячими», а відсіки відокремлюють один від одного перегородками, опущеними зверху, це не досягають землі на 2-4 м.

При механічній системі вентиляції повітрообмін здійснюється за рахунок різниці тисків, створюваної вентилятором.

Механічна вентиляція застосовується в тих випадках, коли кількість тепла, що виділяється на підприємстві, недостатня для цілорічного використання, аерації, а також якщо кількість або токсичність шкідливих

речовин, що виділяються в повітря приміщення, вимагає безперервного повітрообміну незалежно від погодних умов.

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; |

Для відведення надлишкового тепла передбачається загальновитяжна припливна вентиляція приміщень котельні. У жаркий період року повітря в робочу зону подається через вікна. Відсмоктування відбувається з верхньої зони через дефлектори.

4.2.2 Природне та штучне освітлення

Приміщення цеху забезпечуються достатнім природним освітленням, у нічний час – електричним. Місця, які з технічних причин не можуть отримати природне освітлення, обладнуються системою електричного освітлення.

Освітлення відповідає СНиП 2-4-79 «Освітлення природне і штучне».

Характеристика приміщення залу:

| | |
|--------------------------------|----------|
| - характер робіт спостереження | постійне |
| - розряд зорової роботи | 8 |
| - підрозряд роботи | В |

| | |
|---|--------|
| - контрастність об'єкта розпізнавання | велика |
| -тіло | світле |
| - коефіцієнт природної освітленості E_n | |
| При верхньому і комбінованому. освітленні | 0,9% |
| - коефіцієнт природної освітленості E_n | |
| При звичайному освітленні | 0,3% |

Для створення сприятливих умов праці важливе правильне освітлення.

Незадовільне освітлення ускладнює виконання роботи, призводить до зниження продуктивності праці, ефективності зору та може спричинити захворювання та нещасні випадки.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях, де недостатньо природного освітлення), аварійне (для проведення робіт у разі аварійного відключення системи освітлення будівлі), евакуаційне (аварійне освітлення евакуація людей з об'єкта у разі аварійного відключення системи освітлення будівлі) та охорона. При необхідності частина ламп того чи іншого типу освітлення використовується для загального освітлення.

Використовуються ртутні дугові лампи. Штучне освітлення проектується двома системами: загальною (синхронною або місцевою з урахуванням розташування робочого місця) і комбінованою, коли до загального додається місцеве освітлення. Неприпустимо використовувати тільки одну локальну систему освітлення, оскільки різкий контраст між добре освітленими і неосвітленими місцями втомлює очі, а низька швидкість роботи часто є причиною втрати слуху.

Для штучного освітлення використовуються стельові світильники типу ДРЛ-150 або лампи типу «Астра». Для місцевого освітлення використовують лампи розжарювання потужністю 150 Вт і лампи НСП-200. Аварійне освітлення включає найнижче дозволене освітлення.

Для закритих приміщень — 5 лк, але не менше 2 лк, у проходах і сходах усередині приміщень — не менше 0,5 лк, на відкритих місцях — не менше 0,2 лк.

4.2.3 Санітарно - побутові приміщення

При організації санітарно-побутових приміщень у дипломній роботі керуємося вимогами, визначеними у СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будинки». Конструкція стін, вікон, стель та інших елементів у виробничому приміщенні відповідає санітарним нормам і забезпечує сприятливі умови для праці робочого персоналу.

Побутові приміщення включають в себе ті, що призначені для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їх робочого часу. Це включає приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, а також приміщення для питної води і зберігання інвентарю. На території підприємства розташовані санітарні пункти, обладнані аптечками та іншими медичними засобами.

4.2.4 Шум і вібрація в цеху

Робота пристрою разом з коливаннями надзвичайно сильного електричного поля всередині печі створює шум і вібрацію в цеху.

Отже, існує багато різних типів шуму.

Серед них ми знаходимо механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (повітропроводи, насоси, вентилятори), гідродинамічні (труби).

Найбільший шум виникає в електросталеплавильному цеху, середній — на робочому місці оператора, найменший — у житлових і допоміжних приміщеннях.

Шум високої інтенсивності шкідливо впливає на здоров'я людини.

Тривалий шум гальмує центральну нервову систему, а отже, і весь організм.

Це свідчить про необхідність розробки та впровадження заходів щодо зниження шуму та захисту обслуговуючого персоналу від шуму.

Для зниження рівня шуму використовують звукоізоляційні конструкції: - звукоізолюють станцію керування електродуговою піччю; - звукоізоляція труб.

Насоси, двигуни тощо є джерелом вібрації в електросталеплавильних заводах.

Максимально допустимий рівень вібрації становить 92 дБ.

Вплив вібрації призводить до багатьох розладів здоров'я людини і може викликати вібраційні захворювання.

Загальна вібрація впливає на нервову та серцево-судинну системи людини, відбувається порушення роботи вестибулярного апарату, порушуються обмінні процеси, виникають головні болі, погіршується сон тощо.

Віброізоляція використовується як захисний засіб.

Для зменшення передачі вібрацій і шуму по повітроводи і повітроводи їх з'єднують з вентилятором і насосом за допомогою гнучкого гумового полотна.

Під джерело вібрації встановлюється міцна основа.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Для дотримання вимог охорони праці проведено обладнання цехів та визначено комплекс заходів з охорони праці.

Застосовувати методи контролю параметрів системи автоматичного регулювання за допомогою технологічних процесів і при цьому застосовувати систему протиаварійних і профілактичних заходів.

Електрообладнання та заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації.

Безпечні умови експлуатації значною мірою залежать від обладнання, яке захищається. Згідно з ГОСТ 12.1.09-76 «ССБТ.

4.3 Електробезпека

Терміни та визначення" Обладнання в котельні забезпечується експлуатаційною ізоляцією - ізоляцією струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом. Загальні вимоги безпеки" Обладнання котельні захищене від перевантаження автоматичною системою керування. Необхідно використовувати захисне заземлення, щоб уникнути ураження електричним струмом при контакті з металевими частинами під напругою, які можуть нести електричний струм через пошкодження ізоляції.

Для розподілу електроенергії котел кімнати встановлюють модульну шафу пристрою з автоматичним вимикачем і магнітним пускачем. Перед запуском електродвигуна буде подано попереджувальний сигнал. Особи, які виконують технічне обслуговування електроустановок, повинні мати кваліфікаційну групу не нижче 3. Усі струмоведучі частини ізольовані. В якості захисної ізоляції використовуються термостійкі лаки, плівки, емалеві та олійні фарби, а також блокувальні пристрої для запобігання помилкових спрацьовувань за допомогою автоматичних вимикачів. Захисне заземлення електроприймача виконується за допомогою сталевих труб, опір заземлювача не перевищує 4 Ом. Положення «ввімк.» і «вимк.» чітко позначені на проводці перемикачів. Для захисту від короткого замикання використовуються захисні реле та швидкодіючі вимикачі та запобіжники.

У майстерні реалізовано низку організаційних заходів, спрямованих на попередження надзвичайних ситуацій. Ці заходи передбачають чіткий розподіл

обов'язків між обслуговуючим персоналом, призначення технічного обслуговування кожної одиниці обладнання кожному працівнику, розробку робочих інструкцій для всіх типів працівників та контроль Періодична перевірка знань працівників.

Щоб запобігти надзвичайним ситуаціям, такий об'єкт, як металургійний комбінат, має періодично перевірятися місцевими органами Держгірпромнагляду та перевіряти його обладнання. Для запобігання витoku газу через зварні та болтові шви, запірну арматуру та вузли газопроводів пройдіть перевірку Держнаглядохоронпраці України. Дотримання всіх правил і норм безпеки значно зменшить кількість нещасних випадків на виробництві.

4.4 Пожежна безпека

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Строительные нормы и правила пожаробезопасности» в залежності від ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій завод відноситься до типу «Г». Проектом передбачена можливість швидкої евакуації людей з території заводу. Металургійний завод має два повітрязабірники з протилежних сторін будівлі. Двері службових і допоміжних приміщень виходять у бік майстерні. Також є два аварійних виходи.

Основне протипожежне обладнання на заводі включає: вогнегасники пінні ОВП-10, вогнегасники порошкові ОП-5, ОП-7, протипожежне обладнання (кришки з ізоляційним полотном, відсіки для зберігання) пісок, піддон для води, пожежне відро, лопата, відро, лом, сокира тощо). Цех має внутрішній протипожежний водопровід зі шлангами та форсунками, а також протипожежний інвентар в тому числі: два вогнегасники, один відсік для піску, два лопати, три лопати, дві совкові лопати. Періодично один раз на квартал проводиться протипожежний інструктаж працівників магазину; Конспект з охорони праці та пожежної безпеки.

4.5 Заходи з пожежної безпеки

Електробезпека - це система заходів, організаційних і технічних засобів захисту людей від шкідливого і небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітних полів і статичної електрики [16]. Електричний струм, що проходить через живе тіло, має термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічний і електролітичний вплив характерний для будь-якого електричного провідника, а біологічний — лише для живих тканин. Для забезпечення безпеки при експлуатації електроустановок проекту всі електроустановки заземлюються шляхом приєднання їх не менше ніж у двох місцях до ланцюгів заземлення та блискавкозахисту електрообладнання з урахуванням вимог ПУЕ [13].

Розрахункове струмове навантаження не перевищує гранично допустимого рівня для вибраних перерізів проводів і кабелів. Прилади, обладнання, проводи, шини та конструкції відповідають нормальним умовам режиму короткого замикання. Заземлення електрообладнання забезпечує безпеку людини під час експлуатації та ремонту електроустановок. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 і 8 Ом при міжфазній напрузі відповідно 380 і 220 В. Енергоємна установка, електроприлади в окремих випадках можуть спричинити ураження електричним струмом.

Контакт людини з неізольованими поверхнями теплових труб і обладнання теплової схеми може призвести до більш-менш серйозних опіків. Блискавкозахисні зони Для уникнення ризику ураження блискавкою передбачені засоби захисту, які являють собою комплекс захисних пристроїв, призначених для захисту людей, будівель і споруд, обладнання та предметів, матеріалів від можливих вибухів, пожеж і руйнувань, які можуть виникнути.

під впливом блискавки та в помешканнях сільськогосподарських підприємств – також для безпеки тварин і птахів. Пристрої, призначені безпосередньо для отримання струму від блискавки, передачі струму на землю і

називаються блискавковідводами. Зона блискавковідводу - це простір, що прилягає до блискавковідводу і з достатньою надійністю (99%) захищає будівлю від прямих ударів блискавки. Радіус захисної зони розраховується виходячи з конкретних параметрів для конкретного громовідводу. За надійністю зони захисту блискавковідводи діляться на два види: А - з надійністю 99,5% і більше; В – 95% і більше. Блискавкозрядники повинні бути виготовлені (оцинковані або пофарбовані): шина - перетином не менше 10 мм² і довжиною не менше 200 мм, трос (багатодротяний оцинкований трос) - перетином не менше 35 мм. мм². Встановлюються на димохід, в найвищій точці.

4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органу слуху використовуються зовнішні та внутрішні шумозаглушувачі (телефонний опір). Для захисту від зовнішнього шуму рекомендується використовувати шумопоглинаючі навушники, які закривають вушні раковини, а для захисту від внутрішнього шуму використовувати заглушки, вкладиші в зовнішній слуховий прохід. Рівень шумопоглинання залежить від конструкції та частоти шумозаглушення.

Вилки зменшують шум на 5-7 дБ на частотах до 500 Гц і на 15 дБ на частотах вище 3000 Гц.

Конструкція шумозаглушення МІОТ знижує рівень шуму до 8 дБ на частотах до 500 Гц і до 55 дБ на частотах від 5000 до 7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних перешкод підходять заглушки - затискачі, являють собою гумові заглушки з плоскою торцевою поверхнею, закріплені на кромці з пружинного сталевого дроту діаметром від 1,5 до 2 мм.

Для захисту від виділення тепла при монтажі використовуються щільні тканинні матеріали, а також захисні рукавички. Фільтр типу «Тюльпан» для

захисту органів дихання. Інших засобів індивідуального захисту не передбачено.

4.7 Рішення щодо захисту навколишнього середовища

Електротехнічна промисловість є однією з галузей промисловості, яка викидає велику кількість небезпечних речовин. Обсяг викидів залежить від використовуваної сировини, технології плавки та способу видалення газу. Високі температури і вплив електричної дуги в робочому просторі викликають утворення оксиду вуглецю, оксидів азоту і сірки, ціаніду і фториду, які виходять з печі разом з газами. Ефективність технологічного газу в печі визначається згорянням вуглецю в шихті і електродах, розкладанням неперепаленого вапняку і втягуванням атмосферного повітря в піч.

Зниження вмісту шкідливих речовин забезпечується суворим дотриманням технологічного процесу. Тому основним способом запобігання забрудненню навколишнього середовища в 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, $c_v = 1 \text{ кДж/кг К}$;

ρ щільність повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

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

t_n – температура приточного повітря, К.

При допустимій інтенсивності теплового випромінювання 140 Вт/м^2 [11] і фактичній 200 Вт/м^2 , сумарне тепловиділення від зовнішніх поверхонь устаткування і трубопроводів з площею поверхні $F = 42 \text{ м}^2$ дорівнює:

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

де F – площа виділення теплоти, м^2 ;

q - інтенсивність теплового випромінювання,

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

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

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 проекті 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 $H = 0,02$ Па, попередньо вибираємо дефлектор №7 (діаметр патрубка $D = 700$ мм, висота $H = 1200$ мм, висота патрубка $H_1 = 900$ мм, зовнішній діаметр $D_1 = 1300$ мм).

Розрахункова продуктивність дефлектора визначиться за формулою:

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

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,

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

Коефіцієнт опору повітряпроводу визначаємо за виразом:

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

де v_g - 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:

$$H_c = \sum \xi \cdot h_{\partial B}. \quad (4.6)$$

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

Знаходимо коефіцієнт опору мережі:

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

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

Тоді:

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

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 цеху двох дефлекторів №7 ЦАГИ з діаметром патрубку 700 мм.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі було вибрано та систематизовано основні фактори, які впливають на ефективність роботи асинхронного двигуна (АД) в умовах низької якості живлення. Для цих факторів були підібрані необхідні залежності, на основі яких було послідовно і взаємопов'язано розраховано загальні втрати від живлення АД неякісною електроенергією.

2. Встановлено, що технічні характеристики як самого АД, так і іншого електроустаткування, слід досліджувати при відхиленні від нормально-допустимих значень не лише одного показника якості електроенергії, а в комплексі.

3. Цільові функції M , n_2 , $\eta=f(K_{2U}, K_U)$ залежать від завантаження АД та його типу і тому не можуть бути уніфікованими. Точність вимірювань технічних характеристик АД залежить від величини відхилення показників якості ЕЕ від нормально допустимих значень.

4. Були проведені розрахунки витрат для різних варіантів реконструкції системи електропостачання, таких як встановлення фільтру та симетруючого пристрою, з метою доведення показників якості до значень, що відповідають стандартам ДСТУ. Вартість установки обладнання для першого варіанту реконструкції складає 651 тис. грн, при економічному ефекті практично на рівні 640 тис. грн і строку окупності 1,1 року. Щодо другого варіанту, витрати становлять 2775 тис. грн, при економічному ефекті близько 5006 тис. грн і строку окупності 0,62 року.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. - М.:«Энергия», 1972. - 240с.
2. Черкасский В.М., Насосы, вентиляторы, компрессоры. –М.: ”Энергия”, 1977.
3. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. –М.: ”Энергия”, 1972.
4. Смирнитский Б.В. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов. Учебное пособие. –Харьков: ХГПУ, 1998.
5. Чорний О.П., Луговий А.В., Родькін Д. Й. Моделювання електромеханічних систем. Підручник для вузів. –Кременчук: КДПУ, 2001.
6. Зубова О.І., Колесник Я.М. Методичні вказівки щодо оформлення дипломних та курсових проектів. Навчальний посібник. –Кременчук: КДПУ, 2001.
7. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. — М.: Энергия, 1974. — 328 с
8. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода. — М.: Энергия, 1979. — 616 с.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Ижевкс: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576с.
10. Чорный А. П., Родькин Д. Й. Моделирование электромеханических систем. – Кременчуг, 2001. – 376 с.
11. Сердюк А.А., Коренькова Т.В., Баженова Ю. В. Режимы работы компьютеризированного аэродинамического комплекса // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. Наукових праць КДПУ. – Вип. 6/2005(35). – Кременчук: КДПУ.

12. Овчаренко, А.С. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст]: Проектирование и расчёт./ А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович - К.:Техника, 1985. – 279 с. -

13. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях [Текст]/ И.В. Жежеленко. - М.: Электроатомиздат, 1986. – 168 с.

14. Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД [Текст]: Справочник/ С.Т. Усатенко, Т. К. Даченюк, М. В. Терехова. - М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.

15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст]: Проектирование и расчет. / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович - К.: Техника, 1985. – 279 с.

16. Усатенко, С.Т., Даченюк, Т.К., Терехова, М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. - М.: Издательство стандартов, 1989. – 325с.

17. НеклеПЯЕв, Б.Н. Электрическая часть электростанций : учеб, пособие / Б.Н. НеклеПЯЕв. – М.: Энергия, 1976. - 552 с.

18. Гарнов, В.К. Оптимизация работы мощных металлургических установок [Текст]/ В.К. Гарнов, Л.М. Вишневецкий, Л.Г. Левин. - М.: Металлургия, 1975. - 334 с.

19. Силовые кремниевые вентили (диоды, тиристоры, симисторы) [Текст]: каталог-справочник. – М.: Информэлектро, 1970. - 51 с.

20. Выпрямительные агрегаты серий ВАК и ВАКВ [Текст] : каталог-справочник. – М.: Информэлектро, 1970. - 83 с.

21. Семенко, Н.Г. Измерительные преобразователи больших электрических токов и их метрологическое обеспечение [Текст]/ Н.Г. Семенко, Ю.А. Гамазов. - М.: Издательство стандартов, 1984. – 264 с.

22. Спектор, С.А. Измерение больших постоянных токов [Текст]/ С.А. Спектор – Л.: Энергия, 1978.

23. Бадманова, Ю.А. Производство алюминия [Текст]:Справочник металлурга по цветным металлам/ Ю.А. Бадманова, Я.Е. Конторовича. - М.: Металлургия, 1971. - 560с.

24. Розанов, Ю.К. Основы силовой преобразовательной техники [Текст] : Ю.К. Розанов - М.: «Энергия», 1979. - 392 с.

25. Единая методика расчета коэффициентов преобразования для преобразовательных подстанций заводов [Текст] : Всесоюзный научно-исследовательский проектный институт алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (ВАМИ). - Ленинград, 1969. - 19с.

26. Методичні вказівки до дипломного проектування з розділу “Охорона праці”[Текст] : - Запоріжжя.: ЗДІА, 2012. – 60с.

27. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж[Текст] : Правила./ ДП ”НТУКЦ” АсЕлЕнерго, - Київ, 2003. – 25 с.

28. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей [Текст] : – М.: Энергия, 1987. – 83 с.

29. Андреев, В.А. Релейная защита, автоматика систем электроснабжения [Текст]/ В.А. Андреев. – М.; Высшая школа, 1983. – 423 с.

30. Князевский, Б.А. Охрана труда в электроустановках [Текст]/ Б.А. Князевский– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 244 с.

31. Депутат, О.П. Цивільна оборона [Текст]/О.П. Депутат, В.І Коваленко, І.С. Мужик. – Львів.: Афіша, 2001.ISBN 966-06-0196-6.

32. Проектування. Порядок розробки, погодження та затвердження проектної документації для будівництва[Текст]: ДБН А.2.2-3-2004.–Введ. – 2004-07-01. – Київ: Держстандарт України, 2004. – 39 с.

33. Основні вимоги до проектної та робочої документації [Текст]: ГОСТ 21.101.97.–Введ. – 1998-04-01. – М.: Изд-во. стандартов, 2003. –25с.

34. Правила пристрою електроустановок[Текст]: Глави 1.7, 2.4, 1.9, 2.5// ПУЕ-2006. – Введ. – 2006-05-01. – К.: ІМЦ, 2006. – 653с.

35. Вказівки щодо проектування електропостачання промислових підприємств [Текст]: СН 174-75. – Введ. – 1994-01-01. – К.: Важпромелектропроект, 1994. – 34 с.

36. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]: ДНАОП 0.00-1.21-98. – Введ. – 1998-02-10. – К.: Мін. праці і соц. політики України, 1998. – 134 с.

37. Інструкція з пристрою блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]: РД 34.21.122-87. – Введ. – 1997-07-30. – Київ: Мінпаливенерго України, 1997. – 43 с.

38. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги електробезпеки [Текст]: ГОСТ 12.2.007.0-75. – Введ. – 1978-01-01. – М.: Будвидат, 2003. – 17 с.

39. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1-7-2002. – Введ. – 2017-06-01. – К.: УкрНДІЦЗ, 2017. – 39 с.

40. Электротехнические устройства [Текст]: СНиП 3.05.06-85. – Введ. – 1985-06-05. – М.: УГПИ Тяжпромэлектропроект, 1985. – 59 с.

41. Енергозбереження. Основні положення [Текст]: ДСТУ 2339-94. – Введ. – 1994-01-31. – К.: Держстандарт України, 1994. – 29 с.

42. Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750кВ [Текст]: ГКД 341.004.001-94. – Введ. – 1994-09-05. – Х.: «Індустрія», 2011. – 58 с.