

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Підвищення ефективності системи електропостачання
промислового підприємства шляхом покращення якості електроенергії

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Гарматій І. Т.</u> (підпис)	<u>Гарматій І. Т.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Куземко Н. А.</u> (підпис)	<u>Куземко Н. А.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мовчан Л. Т.</u> (підпис)	<u>Мовчан Л. Т.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Тарасенко М. Г.</u> (підпис)	<u>Тарасенко М. Г.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Габрусев Г. В.</u> (підпис)	<u>Габрусев Г. В.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 13 » листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гарматію Ігорю Тарасовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності системи електропостачання промислового підприємства шляхом покращення якості електроенергії

Керівник роботи Куземко Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1040

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи План основного виробництва підприємства; характеристика та перелік наявних потужностей основного виробництва; електроживлення виробництва здійснити від існуючих потужностей КТП; однолінійна схема електропостачання підприємства; існуючі схеми живлення електроприймачів; графік роботи – двозмінний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Генеральний план підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» 1л. ф – А1

2. Схема силової мережі підприємства 1л. ф – А1

3. Схема однолінійна електричних з'єднань ВРП 1л. ф – А1

4. Схема однолінійна електричних з'єднань РП1 та РП2 1л. ф – А1

5. Схема електричних з'єднань освітлювальної мережі 1л. ф – А1

6. Схема пристрою покращення якості електроенергії 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 14 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	18.11.2023	
2	Аналітичний розділ	20.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	27.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	04.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	09.12.2023	
6	Висновки	11.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	18.12.2023	

Студент _____

Гарматій І. Т. _____

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Куземко Н. А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гарматій І. Т. Підвищення ефективності системи електропостачання промислового підприємства шляхом покращення якості електроенергії. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм–61. - Тернопіль : ТНТУ, 2023.

Стор. - 78; рис. - -; табл. - 9; креслень - 7; джерел - 38; додатків -.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз технологій підвищення ефективності системи електропостачання ливарно–механічного виробництва підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» для забезпечення рівня якості електроенергії та надійності її постачання.

Досліджена математична модель, яка враховує вплив несиметрії напруги та наявності вищих гармонік в електромережі підприємства на підвищення температури ізоляції асинхронних електродвигунів та скорочення терміну її служби.

Проведений розрахунок електричних навантажень підприємства та вибрана схема електропостачання розподільних пристроїв.

Проведений вибір установок компенсації реактивної потужності як на низькій стороні напруги електромережі, так і на високій із застосуванням техніко–економічного обґрунтування.

Розрахована освітлювальна електромережа підприємства, площа перерізу проводів і жил кабелів.

Прийняте проектне рішення щодо улаштування системи електропостачання підприємства.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, РОЗРАХУНОК, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, КОМПЕНСУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ	9
1.1 Основні засади якості електроенергії	9
1.2 Економічна ефективність якості електричної енергії та вимоги до її забезпечення	20
1.3 Вплив технічних і економічних складових на зниження якості електричної енергії	22
1.4 Ефективність функціонування елементів систем електроспоживання	23
1.5 Вибір схеми силової мережі підприємства	27
1.6 Загальна характеристика базового виробництва	28
1.7 Узагальнена характеристика електричного споживання автоагрегатного підприємства	29
1.8 Висновки до розділу	30
2 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	31
2.1 Аналіз вихідних даних. Загальна характеристика струмоприймачів	31
2.2 Розрахунок електричних навантажень	32
2.3 Розрахунок ЦЕН	34
2.4 Розрахунок навантаження виробничого обладнання	36
2.5 Розрахунок електричного освітлення дільниць	39
2.6 Розрахунок навантаження освітлювальних щитків	43
2.7 Розрахунок потужності ВРП	43
2.8 Розрахунок навантаження силового трансформатора та вибір місця встановлення	44
2.9 Вибір та розрахунок пристроїв компенсації реактивної	

потужності	45
2.10 Вибір площі перерізу проводів і жил кабелів	46
2.11 Висновки до розділу	48
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	50
3.1 Вибір захисної апаратури електромережі виробництва	50
3.2 Проектне рішення	55
3.3 Розрахунок максимальних струмів кіл навантаження силового трансформатора	56
3.4 Вибір основного обладнання ПС та низьковольтної мережі	60
3.5 Перевірка на термічну стійкість	63
3.6 Висновки до розділу	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
4.1 Заходи з електробезпеки на інструментально–зварювальному виробництві	65
4.2 Заходи пожежної безпеки на інструментально–зварювальному виробництві	67
4.3 Причини виникнення виробничих надзвичайних ситуацій	70
4.4 Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТКИ	1

ВСТУП

Актуальність теми. Покращення якості електроенергії на промисловому підприємстві значно підвищує ефективність системи електропостачання. Використання фільтрів та стабілізаторів напруги дозволяє знизити коливання напруги та забезпечує стабільне живлення для обладнання. Це сприятиме покращенню продуктивності та тривалості служби обладнання. Використання компенсаторів потужності зменшує втрати електроенергії та покращує коефіцієнт потужності електромережі, що сприяє оптимізації споживання електроенергії. Встановленням додаткових захисних пристроїв можна уникнути можливих пошкоджень обладнання через перенапруги в електромережі та перепади струму [16; 18].

Важливе значення має проведення постійного моніторингу якості електроенергії, що дозволяє оперативно виявляти проблеми та вживати заходів щодо їх вирішення. Використання енергоефективного обладнання та технологій, які споживають менше електроенергії, може допомогти знизити загальне споживання енергії на підприємстві. Навчання працівників стосовно правильного використання електроенергії та розуміння впливу її якості на роботу обладнання також є важливим організаційним заходом [13; 14].

Запровадження заходів підвищення якості електроенергії спрямоване на забезпечення стабільності електропостачання та оптимізацію енергоефективності, що в свою чергу підвищує ефективність промислового підприємства.

Тому актуальною залишається проблема виявлення впливаючих на якість електроенергії факторів та розробка заходів щодо їх усунення.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання технологічного обладнання ливарно-механічного виробництва, яка забезпечить високу енергоефективність виробництва шляхом покращення якості електроенергії за допомогою розроблених технічних заходів компенсації впливу вищих гармонійних складових та коливань напруги мережі живлення, генерованих технологічним устаткуванням.

Поставлена в кваліфікаційній роботі мета вимагає вирішення таких задач:

– аналіз сучасних методів, які використовуються для покращення

показників якості електроенергії, що зумовлює підвищення ефективності системи електропостачання;

- гармонійний аналіз електромережі підприємства та визначення найбільш впливаючих факторів на роботу технологічного устаткування;

- аналіз математичних моделей, що враховують інтенсивність дії наявних в електромережі підприємства вищих гармонік та несиметрії напруги і впливають на підвищення температурного режиму електрообладнання та старіння ізоляційних конструкцій;

- аналіз ефективності схемо–технічних рішень покращення якості електроенергії в електромережі підприємства з технологічним впливом на показники якості електроенергії;

- розробка системи електропостачання підприємства та розрахунок навантажень електроспоживачів;

- розрахунок силової й освітлювальної електромережі, січення кабельно–провідникової продукції; максимальних струмів к.з. та вибір потужності трансформаторів, високо-і низьковольтного електрообладнання;

Об’єкт дослідження - процес покращення показників якості електроенергії для підвищення ефективності електромережі промислового підприємства.

Предмет дослідження - показники ефективності роботи електрообладнання в умовах впливу на якість електроенергії технологічних чинників.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Отримало подальший розвиток дослідження заходів підвищення ефективності системи електропостачання шляхом впровадження схемо–технічних рішень компенсації вищих гармонік й реактивної потужності в електромережі підприємства.

- Запропонована для подальшого дослідження модель врахування наявності вищих гармонік та несиметрії в електромережі підприємства для оцінювання нагріву ізоляції асинхронних електродвигунів та визначення тривалості її надійного функціонування.

Практичне значення отриманих результатів.

Подане схемо–технічне рішення окремої ділянки електромережі з підвищеними показниками якості електроенергії в умовах дії інтенсивних

чинників технологічного устаткування дозволить ефективно функціонувати устаткуванню з комплексами числового програмного управління.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на XII-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя [20].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (38 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 78 стор., 9 табл., - рис.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Основні засади якості електроенергії

Електронні схеми, які використовуються в елементах керування асинхронними електродвигунами, можуть бути чутливі до проблем, пов'язаних з якістю електроенергії. Поширені проблеми включають тимчасові перенапруги, провали напруги та гармонічні спотворення. Ці проблеми можуть виникати у вигляді аномалій управління, неприємних відключень і, в деяких випадках, пошкоджень електромережі. Конденсатори можуть використовуватись в електричній мережі для забезпечення корекції коефіцієнта потужності, стабілізації напруги в періоди великого навантаження. Якщо ці конденсатори знаходяться під напругою, можуть виникнути перехідні перенапруги [2; 7].

Схеми можуть бути чутливими до тимчасового зниження напруги. Ці падіння напруги, зазвичай, спричинені несправностями споживачів або інженерних електромережі. Системи освітлення та інші електричні пристрої можуть зумовлювати спотворення електричного струму, який може вплинути на якість електроенергії. Системи освітлення з лампами розжарювання не знижують якість електроенергії в системі розподілу тому, що вони мають синусоїдальні форми струму, які знаходяться у фазі з формою хвилі напруги. Сила струму і напруга зростають і зменшуються одночасно. Люмінесцентні та низьковольтні системи, які використовують баласти або трансформатори, можуть мати спотворену форму хвилі струму. Пристрої з сильно спотвореними формами струму використовують вхідний струм короткочасно, замість того, щоб слідувати формі хвилі напруги.

Форма хвилі струму навантаження буде не у фазі з напругою електромережі, що створює фазовий зсув і знижує ефективність кіл змінного струму. Поточна хвиля буде відставати від хвилі напруги.

Якщо пристрій виконує роботу, то він створює потужність. Це компонент потужності, який знаходиться у фазі. Якщо струм і напруга не збігаються по фазі, це створює реактивну потужність. Реактивна потужність створює додаткове навантаження на розподільчу систему, яка повинна мати здатність передавати реактивну потужність, навіть якщо вона не виконує корисної роботи.

1.1.1 Прояви гармонічних спотворень електроенергії

Гармоніка - це хвиля, що кратна основній частоті (50 герц), що накладається на форму хвилі змінного струму. Спотворена 50-герцова хвиля струму може містити гармоніки на частоті 100 Гц, 150 Гц і вище. Гармоніка з частотою, яка вдвічі перевищує частоту основної називається гармонікою другого порядку. Гармоніка, частота якої становить три рази основної гармоніки - третього порядку.

Сильно спотворені сигнали містять багато гармонік. Навіть гармоніки (другого порядку вище) мають тенденцію скасовувати ефекти один одного, але непарні гармоніки, як правило, додаються таким чином, що збільшує спотворення, оскільки піки та спади їхніх хвиль збігаються. Освітлювальні виробни, зазвичай, спричиняють гармонічні спотворення (THD) у вигляді відсотка викривлення. Загальний гармонічний струм (THC) залежить від цього відсотка.

Електронний баласт освітлювального приладу може мати дещо вищий відсоток TDH, ніж магнітний баласт, у якого THC менший, оскільки більшість електронних баластів для люмінесцентних ламп мають фільтри для зменшення спотворень струму.

1.1.2 Вплив гармонік на роботу частотно-регуляторних приводів

Основними частинами частотно-регульованого приводу (ЧРП) є перетворювач, інвертор і контролер. Перетворювач випрямляє вхід змінного струму в постійний, інвертор перетворює постійний струм на регульовану частоту, регульовану сигналом змінної напруги. Обидві вони повинні регулюватися, щоб забезпечити постійне відношення напруга - частота. Схема фільтрує постійний струм перед його надсиланням до інвертора. Контролер

регулює вихідну напругу та частоту на основі сигналу зворотного зв'язку від процесу. Якщо навантаженням є насос, то, зазвичай, це є датчик тиску.

Гармоніки в прямокутному інверторі мають два джерела. На вході керований випрямляч генерує гармоніки, які зумовлюють електричні шуми в енергосистемі. Їх можна відфільтрувати, але це зменшує ефективність і коефіцієнт потужності, який і без того низький у керованому випрямлячі.

Вихідні сигнали також створюють серйозні гармоніки. Вихідні сигнали мають лише непарні гармоніки. Третя і дев'ята гармоніки не викликають проблем, оскільки вони знаходяться в фазі та компенсуються на вхід до асинхронного електродвигуна, з'єднаного за схемою «зірка». Решта гармонік, в основному п'ята і сьома, зумовлюють струми, що збільшують втрати в двигуні і не створюють крутного моменту. Ці гармоніки дещо фільтруються індуктивністю двигуна. Поєднання цих проблем призвело до використання систем широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Ці системи використовують більш складну схему комутації: гармоніки зсуваються до частот, близьких до несучої, яка є набагато вищою, ніж у інвертора прямокутної форми. Ці вищі гармоніки фільтруються індуктивністю двигуна, а результуючий струм - синусоїдальний з невеликою кількістю пульсацій [4; 18].

ЧРП можуть успішно застосовуватися там, де наявне обладнання вже використовує одну зі старих технологій контролю швидкості. Вони повинні використовуватися для заміни мотор-генераторних установок з вихорострумовими муфтами. Обладнання, яке використовує шківи зі змінним кроком (приводи типу Reeves), може бути оновлене за допомогою ЧРП, який зменшує втрати від ковзання та може покращити якість продукції завдяки кращому контролю та підвищеній надійності.

1.1.3 Основні показники якості електроенергії

Гармоніки, як правило, вводяться в електричну систему через нелінійні характеристики деяких силових навантажень та їх роботу. Гармонічні складові струму та напруги кратні нормальним 50 Гц синусоїди змінного струму. Ці гармоніки можуть зумовлювати перегрів провідників двигунів, трансформаторів, вихід з ладу конденсаторів, несправність реле, елементів керування та зниження

ефективності системи. Ці проблеми можна зменшити за допомогою дотримання рекомендованих практик і вимог IEEE-519 щодо гармонічного контролю в електричних енергетичних системах.

Вплив несинусоїдності напруги на ефективність промислової електромережі

Навантаження, що створюють гармоніки, підвищують температуру трансформаторів до неприпустимих рівнів, особливо в тих, які близькі до підключених нелінійних навантажень. Трансформатори нового типу призначені для того, щоб справлятися з впливом гармонік. Це - трансформатори з рейтингом k для електромереж з вмістом гармонік більше 5%.

Гармонійні струми можуть зумовлювати перегрів провідників та ізоляційних матеріалів через явище, відоме як скін-ефект. На нижчих частотах, таких як 50 Гц, буде проходити синусоїдальний струм через весь поперечний переріз провідника. Це забезпечує найнижчий опір і втрати провідника. Зі збільшенням частоти струм прагне витіснитись ближче до поверхні провідника. Опір і втрати провідника можуть значно збільшитися. У випадку нелінійного навантаження кола фаза-нейтраль і результуючого вмісту третьої гармоніки, струм 150 Гц на нейтральному провіднику буде демонструвати це явище [8; 9].

Іншою проблемою є збільшення щільності потоку через осердя. Трансформатори і двигуни, зазвичай, є найбільшими феромагнітними навантаженнями, під'єднаними до системи розподілу. Характеристики навантаження двигунів, як правило, більш лінійні, ніж трансформаторів, оскільки двигуни мають повітряний зазор. Силкові трансформатори можуть постраждати від часткового насичення залізного осердя трансформатора, що зумовить гармонічні струми намагнічування, які сильно відрізняються від синусоїдальної форми.

Можуть циркулювати потрійні гармонічні струми, такі як 3-я, 9-а і 15-а гармоніки в первинній обмотці трансформатора, з'єданого за схемою трикутника. Вони додають до осердя щільність потоку, що може призвести його до насичення. Гармонічні струми 5-ї, 7-ї, 11-ї та 13-ї гармонік проходять безпосередньо через трикутний трансформатор до джерела живлення та можуть

спричинити перегрів й пошкодження джерела.

Перш ніж були доступні трансформатори з рейтингом k , був єдиний спосіб захисту трансформаторів - повинні були обмежити підключене нелінійне навантаження до деяких значень, менших, ніж повне навантаження трансформатора (зниження номінальних характеристик трансформатора). Це зниження навантаження могло коливатися від 20 до 50% [13; 14].

Коефіцієнт k (коефіцієнт несинусоїдності) є функцією як квадрата гармоніки, так і квадрата гармонійного струму. Цю процедуру розрахунку найкраще виконати за допомогою комп'ютерної таблиці. Для розрахунку використовуються такі кроки:

1. Перелічіть порядковий номер гармоніки (h) для кожної генерованої гармоніки, включаючи основну або першу гармоніку (50 Гц).
2. Зведіть у квадрат кожне гармонічне число.
3. Перелічіть значення гармонічних спотворень для кожної гармоніки (включаючи основну), як отримано з аналізатора гармонічної системи. Введіть їх як десяткові еквіваленти ($30\% = 0,30$).
4. Зведіть до квадрату гармонічні складові, включаючи фундаментальні. Потім додайте всі квадратичні складові.
5. Квадрат кожного значення складової помножьте на квадрат її гармонічного номера.
6. Додайте всі ці значення.
7. Розділіть цю суму на суму квадратів складових, щоб отримати коефіцієнт k для цієї частини обладнання.

Типові трансформатори з номіналом k — вентильовані сухі трансформатори на 600 В з k -рейтингами: 4, 13, 20, 30 або 50. Вони, зазвичай, мають трикутно-з'єднані первинні та зірчасто-з'єднані вторинні обвитки. Підвищення температури 150, 115 і 80°C при номінальній напрузі. Більшість використовують 220°C; визнаний стандарт UL системи ізоляції. Обвитки можуть бути мідними або алюмінієвими. Доступні одиниці з шістьма 2,5%, двома FCAN і чотирма FCBN. Більшість має електростатичні екрани між первинною та вторинною обвитками для обмеження електричних шумів [8; 9].

Для компенсації скін-ефекту і вихорових втрат первинні та вторинні

обвитки використовують менше, ніж звичайно, паралельно, окремо ізольовані та транспоновані провідники. Для струмів третьої гармоніки, які циркулюють у первинній обвитці трикутника, ця обвитка має відповідні розміри для обмеження підвищення температури до номінального значення трансформатора. Вторинна нейтраль має удвічі більшу пропускну здатність, ніж провідники вторинної фази. Базовий рівень імпульсу (BIL), зазвичай, розрахований на напругу 10 кВ. Гармонійні струми, створювані сучасними електронними навантаженнями, зберігаються до тих пір, поки виробники не включають у свою продукцію фільтрувальне обладнання, щоб усунути їх. До того часу k-фактор враховуватиметься в системах розподілу електроенергії.

Розрахунок коефіцієнта несинусоїдності k має деякі припущення. Всі вихорові втрати в трансформаторі вважаються втратами на вихорові струми. Втрата I^2R передбачається рівномірно розподіленою у кожній обвитці трансформатора. Втрати на вихорові струми між обвитками приймаються рівними 60% від внутрішньої обвитки і 40% - зовнішньої обвитки для трансформаторів з максимальний рейтинг самоохолодження менше 1000А, незалежно від коефіцієнта витків. Для трансформаторів, що мають коефіцієнт повороту 4 до 1 або менше, такий же відсоток використовується для спліт - проводів. Для трансформаторів з коефіцієнтом витків більше 4 до 1 і з рейтингом самоохолодження понад 1000 А, втрати становлять 70% для внутрішньої обвитки і 30% - зовнішньої обвитки. Втрати на вихорові струми всередині кожної обвитки вважаються нерівномірними, з максимальним вихоровим струмом щільності втрат, що знаходиться поблизу гарячої точки трансформатора. Цей максимум щільності вважається 400% середніх втрат на вихорові струми намотування.

Вищі гармоніки генеруватимуть більше тепла на одиницю струму, ніж гармоніки нижчого порядку. Гармоніки вищого порядку означають вище k число. У більшості систем розподілу електроенергії найвищі рівні гармонійних спотворень виникають у розетці або точці підключення обладнання. Рівень гармонік на панелі значно нижчий. Рівні на робочому трансформаторі є досить низькими, а трансформатор з рейтингом k зазвичай не такий необхідний на даний момент.

Гармонічний аналіз офісу з одним персональним комп'ютером та

відеомонітором, зазвичай, вимірює k від 14 до 20 гармонік різної інтенсивності. Для офісу з великою кількістю таких ПК потрібен трансформатор з k 20 або 30 для живлення розподільної панелі. Ці офіси, зазвичай, містять інше обладнання, таке як копіювальні апарати, принтери та факсимільні апарати. K -фактор для всього обладнання має бути перерахований, зважений за його відносним поточним внеском і усереднений для загальної оцінки k -фактора [2; 37].

Гармонічні вимірювання показують чітке зменшення гармонік, якщо навантаження додаються. Передбачається зменшення п'ятої та вищих гармонік головним чином через гармонічне усунення. Інші ефекти зниження приписуються опору фідера. В одному з тестів k -фактор знизився з початкових 13,9 лише за кілька пристроїв до 4,6 з 26-ма пристроями в мережі. Третя гармоніка була знижена від приблизно 90% від основної до менше, ніж 65% при струмі навантаження, що збільшився. Оскільки третя гармоніка не скасовується, це скорочення є в основному через опір джерела. Так як трансформатор навантаження, зазвичай, є основним омичним опором у фідері, реактивний опір трансформатора відіграє важливу роль у регулюванні спричиненого струму нейтралі третьою гармонікою.

Можна використовувати інший параметр, який називається h -фактором (коефіцієнт гармонійних складових). H -фактор використовується для кількісного визначення гармонік, створених навантаженням, і відноситься до ефекту нагрівання або впливу нелінійного навантаження на трансформатори, компоненти тощо. Фактор h відноситься до причин гармонік. Електропроводка, опір джерела живлення та фазовий кут можуть обмежувати або зменшувати h -фактор. Значення h , зазвичай, менше в джерелі кола живлення (щит вимикача або вторинна обвитка трансформатора), ніж при підключенні навантаження. Коефіцієнт h на пристрої подачі панелей, як правило, буде нижчим найнижчого індивідуального коефіцієнта h , якщо значного лінійного навантаження немає.

Коефіцієнти h навантажень (лінійних і нелінійних) не можуть бути додані арифметично, а імпеданс проводки фідера та відгалуження обмежує вплив гармонійних струмів, створюваних нелінійним навантаженням. Однак, співвідношення фаз окремих гармонійних струмів і окремі струми навантаження забезпечують деяку компенсацію та зменшення гармонійних спотворень. Якщо

навантаження є лінійним, присутні лише одна величина та кут; при нелінійних навантаженнях кожне навантаження представлене величинами та кутами для основної та кожної з гармонік.

Використання електроприводів із змінною частотою (VFD) зростає разом із потребою для збільшення енергоефективного дизайну. Ці приводи мають високе значення h . Ці приводи повинні бути ізольовані від електричної системи, коли це можливо за допомогою трансформатора з відповідним рейтингом k або шляхом встановлення послідовної лінії реактори попереду VFD. Електропроводка послабить або зменшить гармонічні струми. Чим вище число гармоніки, тим більше ослаблення [4; 18].

Повний опір джерела також впливає на гармонійні спотворення, з більшим імпедансом зниження гармонічних струмів. Занадто високий імпеданс призводить до надмірного спотворення напруги і поганого регулювання напруги. Часткове скасування деяких гармонік буде результатом широкої зміни фазові кути. Таким чином, фактор h на сервісній панелі навіть с нелінійних навантажень з високим фактором h , буде нижчим, ніж у кожного окремого нелінійне навантаження.

Коефіцієнт потужності електромережі в умовах спотворень напруги

Коли навантаження є лінійним, як-от при звичайних асинхронних двигунах, напруга та струм, по суті, є синусоїдами, то фактором форми потужності є фактор, який називається коефіцієнтом потужності зміщення (DPF). Переміщення коефіцієнта потужності вказує, де індуктивність навантаження зміщується або зміщується струм від напруги. Справжній коефіцієнт потужності враховує ефективність впливу гармонійного струму. Справжній коефіцієнт потужності завжди нижчий за величину робочого коефіцієнта потужності, коли лінійний струм містить гармоніки.

Сьогодні багато електричних систем також мають гармонічні струми лінії. Гармонічні струми, зумовлені нелінійними або імпульсними навантаженнями, наприклад електронні джерела живлення, призводять до того, що повна потужність перевищує активну потужність. У цих ситуаціях форма наявного коефіцієнта потужності називається спотворенням коефіцієнта потужності. Сума потужності зміщення та спотворення є повним коефіцієнтом потужності (TRF).

Обидва значення коефіцієнта потужності є критичними, оскільки коефіцієнт потужності є мірою наскільки ефективно об'єкт використовує потужність своїх енергосистем. Вони визначають, скільки енергії, яка виробляє роботу, так і не виробляє роботу, необхідна для живлення навантаження. Вимірюється енергія, що створює роботу (у Вт), невиробна енергія вимірюється у ВАр.

Гармоніки збільшують видиму потужність, необхідну для певного виконання обсягу роботи. Коли активна потужність ділиться на повну потужність при наявності гармонік, результатом є загальний коефіцієнт потужності (TPF або PF). Компонент, не внесений гармоніками, є потужністю зміщення фактор (DPF) [37].

TPF і DPF відрізняються в будь-якій схемі з нелінійними електричними навантаженнями, оскільки ці навантаження створюють гармоніки. Вони повністю однакові для лінійних кіл, навіть якщо виникають фазові зсуви між напругою та струмом через індуктивні або ємнісні навантаження. Гармонічні струми, спричинені нелінійними навантаженнями, можуть спричинити TPF бути низьким (0,60 до 0,70), тоді як DPF може бути відносно високим (0,90 до 0,95). Через велику кількість нелінійних навантажень, які зараз використовуються, актуальну PF слід розглядати як загальний коефіцієнт потужності.

Особливості врахування гармонічного складу напруги електромережі

Різниця між показниками PF і DPF пропорційна кількості гармонік у системі розподілу електроенергії. Якщо єдиний коефіцієнт потужності вказується для частини обладнання, то специфікації, зазвичай, відносяться до PF. Якщо вимірюється лінійне навантаження, таке як асинхронний двигун, PF і DPF рівні. Оскільки двигун є лінійним навантаженням, має місце фазовий зсув до індуктивності, а DPF представляє загальний коефіцієнт потужності.

Якщо PF і DPF відрізняються на 10% або більше, зазвичай, причина полягає в наявності гармонік. У переважно лінійній системі низький коефіцієнт потужності можна компенсувати за допомогою корекції ємності. Навіть, якщо PF і DPF ідентичні, показання нижче 0,90 означає, що можуть знадобитися модифікації системи. Але, неправильно застосовані конденсатори можуть спричинити резонансні явища, які можуть призвести до перенапруг навіть у

системах з низьким рівнем гармонік.

У системах з уже встановленими конденсаторами, якщо це необхідно, додаються частотні приводи, нові компоненти, які можуть викликати нестабільність і перенапруги. Для їх визначення необхідно провести заміри у відповідних колах. Після цього, з цих кіл коригувальні конденсатори необхідно видалити. Зчитування слід проводити вимірювачем гармонік потужності. Деякі новіші лічильники забезпечують зчитування параметрів сигналу разом із візуальним відображенням форми хвилі та переглядом усього гармонічного спектру. Відображення форми сигналу показує вплив гармонік. Ніж сильніше спотворена синусоїда, то більша кількість гармонік і сильніший їх вплив. Гармонійний спектр показує наявність окремих гармонічних частот і вказує на джерело проблеми.

Фільтри гармонік

Гармонічна комп'ютерна програма може виконувати аналіз стаціонарного стану електричної системи об'єкта для кожної частоти, на якій джерело гармонік присутнє. Програма розраховує гармонічні напруги і струми в системі. У цих гармонічних симуляціях можлива корекція PF, конденсатори можна підключити для перевірки резонансу системи [10].

Для прикладу, було здійснене гармонічне комп'ютерне моделювання енергосистеми 13,8 кВ з реактивною компенсацією 13 МВАр, доданої до основної шини. В результаті був виявлений паралельний резонансний пік, близький до 5-ї гармоніки. Комп'ютеризований гармонічний аналіз показав, що батарея конденсаторів потужністю 13 МВАр потроїла коефіцієнт несинусоїдності напруги (КНІ) та досягла поточного КНІ значення 62% через паралельний резонансний пік поблизу 5-ї гармоніки і викликала гармонічне посилення. На цій частоті потрібен був фільтр. Для цього потрібен був вбудований реактор, що перетворило конденсаторну батарею на фільтр гармонік.

У моделі електричної системи батарея конденсаторів була замінена на банк гармонійних фільтрів шляхом додавання реакторів і резисторів. Це призвело до зменшення коефіцієнта несинусоїдності напруги та струму (THD) від отриманих значень під час тестування перед встановленням блоку фільтрів. Максимальний

КНІ напруги був нижчим за 3%, а максимальний КНІ струму був нижчим за 4%.

Конденсатори, які використовуються з реакторами як частина фільтра, зазнають дії напруги в усталеному режимі вище номінальної напруги кола лінійно-нейтраль електричної системи. Ця надлишкова напруга є функцією гармоніки, на яку налаштований фільтр. При установці конденсаторів у фільтр гармонік, напруги і струми повинні бути в межах, встановлених нижче за стандартами ANSI щодо номінальних характеристик конденсаторів.

Гармонічний аналіз можна використовувати для перевірки значень у групі фільтрів з конденсаторами.

1.2 Економічна ефективність якості електричної енергії та вимоги до її забезпечення

Зниження якості електроенергії (ЯЕ) викликає технічні і економічні втрати, а саме: зростанням втрат значення активної потужності і електроенергії; скороченням терміну служби електрообладнання і передчасною його поломкою; ростом фінансових вливань у системи електропостачання; поганим впливом на оточуюче середовище та здоров'я людини; порушенням технологічного циклу виробництва для енергетичних споживачів, що є наслідком низької якості отриманої продукції та росту енергетичних витрат на виробництво цієї продукції.

Якщо застосовувати певні системи усунення згаданих проблем поганої ЯЕ, то в загальному можна заощадити від 15 до 45% енергії в залежності від кількісного характеру кожного негативного фактору окремо [2; 7].

Згідно експертних даних доля електричної енергії у ціновому еквіваленті окремих видів продукції в нашій державі коливається в межах від 10 до 45%. Відповідно, економія електричної енергії в діапазоні навіть декількох відсотків створює споживачі доволі суттєві фінансові прибутки й дозволяє істотно знизити собівартість отриманої продукції. Це є значним фактором того, щоб на будь якому виробництві з енергетичною потужністю більше 100 кВА обгрунтовано підійти до процедури аналізу й аудиту енергетичного споживання.

Наприклад, за наявності у системі електропостачання індуктивності або ємності електроенергія ними не використовується, а накопичується в електрич-

ному або магнітному полях її споживачів і знову прямує до джерела. Отже, індуктивність та ємність внаслідок зміщення фаз між струмом і напругою представляє собою реактивне навантаження. Відомо, що найбільше реактивної електричної енергії споживають недовантажені електричні двигуни, електричні зварювальні апарати, силові випрямлячі, а також індукційні і дугові печі.

Присутність реактивної потужності є показником низької ЯЕ, погано впливає на передавальний режим ліній живлення, викликає додаткові втрати і нагрівання проводів, змушує безпідставно збільшувати потужність силових трансформаторів та січення проводів і кабелів, викликає перекося, провали та випадкові стрибки напруги в електричній мережі. Варто також відмітити, що споживач при повинен за власні кошти оплачувати наявну некомпенсовану реактивну електричну енергію.

Якщо коефіцієнт потужності (відношення активної до повної потужності) наближається до одиниці, то функціонування електричної установки вважається оптимальним і володіє наступними перевагами: безкоштовне одержання реактивної потужності споживачем; зменшення кількості спожитої електроенергії; зниження втрат активної потужності у кабелях внаслідок зниження споживаного електричною установкою струму; росту стабільної напруги; зменшення втрат електричної енергії у силовому трансформаторі [9; 14].

Значення коефіцієнта потужності електричної установки можна зробити вищим при встановленні у коло споживача з низьким коефіцієнтом додаткового джерела реактивної потужності, що компенсує реактивну потужність основного навантаження. У якості джерел реактивної потужності виступають різні пристрої, але найпоширенішими є фазоконденсатори й конденсатори. Але найбільше застосування отримали конденсатори, так як вони не споживають активної електричної енергії, є недорогими, простими в експлуатації з тривалим терміном роботи.

1.3 Вплив технічних і економічних складових на зниження якості електричної енергії

Проаналізовані у попередньому розділі технічні і економічні наслідки

відхилення ПЯЕ від встановленої норми на промисловому виробництві також присутні і в побуті, зокрема має місце вихід з ладу побутової техніки. До прикладу, звична добова зміна напруги електромережі в діапазоні від 200 В до 240 В може бути наслідком поломки мікрохвильової пічки, в якій є обмеження за максимальною напругою до 230 В. Або зниження нижче норми напруги холодильника - двигун не отримує потрібного пускового моменту, що може привести до виходу з ладу обмотки. Також обірваний провід нейтралі на підстанції може привести до збільшення напруги в електромережі до значення 380 В, яке є критичним для будь якої побутової техніки.

Відповідно до закону забезпечення потрібного технічного стану і безпеки енергетичних електромереж та приладів обліку споживання електричної енергії є першочерговим обов'язком енергетичної постачальної компанії, якщо не передбачені інші законодавчі актами [13; 14].

Погіршення ЯЕ може викликати збитки і в споживачів, і в постачальників електричної енергії, зокрема тут можуть бути усі види негативних наслідків, що виникли під час функціонування системи електричного постачання, споживачів і енергопостачальної компанії. Можна виділити технічний, технологічний і економічний збитки з позиції споживача і постачальника електроенергії.

Якщо виходити з позиції споживача, то:

1) *технічний збиток* може бути викликаний: перегріванням рухомих машин, швидким старінням ізоляції, зменшенням терміну служби або виходом з ладу електричного устаткування; ростом споживання електричної енергії та потрібної потужності електричного обладнання; збоєм під час роботи електронних систем керування, комп'ютерної техніки і іншого обладнання; завадами в побутовій апаратурі та спеціального технічного устаткування;

2) *технологічний збиток* може бути викликаний недотриманням технології виробництва і неповним виробництвом та бракованою продукцією, а також внаслідок простою устаткування, поломкою технологічного обладнання;

3) *економічний збиток* (технічний і технологічний) може бути виражений у фінансовій формі, зокрема, зменшення обсягу продажів внаслідок зниження випущеної кількості продукції і її якості; у фінансовій формі від перевитрати електричної енергії; у формі внаслідок зменшення терміну служби струмових

приймачів та електричного обладнання; у формі зниження продуктивності обладнання.

Якщо виходити з позиції постачальника електроенергії, то:

1) *технічний збиток* може бути викликаний недотриманням правильної роботи й помилковим спрацюванням обладнання релейного захисту та автоматики; низькою ефективністю режимів генерації, передачі і споживання електричної енергії внаслідок зростання втрат в елементах електромережі; зростанням втрат в усіх елементах електромережі;

2) *технологічний збиток* може бути викликаний недотриманням технічних умов режимів технологічного процесу електричного обладнання та похибками приладів вимірювання;

3) *економічний збиток* може бути викликаний додатковими витратами, які необхідні для підстанції, а також втратами електричної енергії з не відповідними нормативними параметрами, тобто абонент може її не оплачувати.

1.4 Ефективність функціонування елементів систем електроспоживання

Зниження показників якості електричної енергії в більшості випадків пов'язано з наявністю взаємного впливу різних видів електричного устаткування внаслідок нелінійності та присутніх ударних навантажень.

Виконаємо аналіз взаємовпливу параметрів якості електричної енергії на ефективність роботи елементів систем електроспоживання [8; 9].

1) *Параметр відхилення напруги*. При цьому параметрі на затискачах асинхронного електричного двигуна спостерігається зміна частота обертання ротора та втрати активної і споживаної реактивної потужності. В результаті отримуємо зміну економічних показників, які є характеристикою роботи електричного двигуна.

Зміни активних втрат в асинхронних електродвигунах при відхиленнях напруги в межах 5-10% від номінальної напруги незначні (не більше 3% від номінального значення активних втрат), однак вони є рівними втратам в мережах живлення.

В процесі підвищення напруги в електромережі підвищуються втрати активної потужності електродвигунів, які можна визначити за формулою:

$$\Delta P = D_1 \left(\frac{Q}{Q_{НОМ}} \right) + D_2 \left(\frac{Q}{Q_{НОМ}} \right)^2,$$

де Q та $Q_{НОМ}$ – генерована реактивна потужність та її номінальне значення, $кВ \cdot Ар$;

D_1 та D_2 – постійні коефіцієнти, що визначаються параметрами конкретного двигуна.

У пристроях на базі вентиляльних перетворювачів відхилення напруги від норми на 5% в електромережі викликає зміну значення коефіцієнта потужності перетворювача в межах від 5 до 7%.

Відхилення параметра напруги в електричних термічних установках викликає зменшення процесу продуктивності цих установок. Збільшення тривалості процесу приводить до збільшення тривалості наступних технологічних циклів, підвищенню витрат електроенергії, і, як наслідок, - до збільшення собівартості продукції.

В освітлювальних електроприймачах відхилення напруги негативно впливає на термін служби ламп, світловий потік та освітлення робочих місць. Так, падіння величини напруги на 10% викликає зниження величини світлового потоку до 40%, а її підвищення на 10% викликає скорочення терміну служби ламп в чотири рази.

2) *Параметр несиметрії напруги.* При цьому параметрі в електричних машинах змінного струму можна спостерігати обертові магнітні поля з синхронною швидкістю в напрямку обертання ротора, а також з подвійною синхронною швидкістю обертання в зворотному напрямку. В наслідок цього отримуємо гальмівний електромагнітний момент та додаткове нагрівання активних частин електричної машини.

В асинхронному електричному двигуні при номінальному значенні обертового моменту та значенні коефіцієнта зворотної послідовності напруг (в межах 2%) термін служби ізоляції може зменшитися на 9% тільки внаслідок додаткового нагрівання, а при несиметрії в межах 5% - термін служби ізоляції може зменшитися в два рази.

При величині несиметрії в межах 2% термін служби синхронних двигунів може зменшитися на 18%, силових трансформаторів – на 5%, а конденсаторних батарей приблизно на 20%.

В лініях електропередач несиметрія струмів викликає зменшення їх пропускної здатності; а також веде до виникнення додаткових втрат при протіканні струмів зворотної послідовності.

Внаслідок несиметрії напруг скорочується термін роботи ламп.

3) *Параметр коливання напруги.* Цей параметр негативно відображається на зоровому сприйнятті предметів, а в результаті – на продуктивності праці робітників. При величині розкиду напруги більше 10% може спостерігатися вимкнення газорозрядних ламп.

Колівання напруги викликають зниження продуктивності електролізного обладнання та скорочення терміну їх служби, оскільки спостерігається підвищене зношування анодів.

При коливанні амплітуди і фази напруги внаслідок роботи прокатних станів виникає коливання електромагнітного моменту, а також параметрів активної та реактивної потужності синхронних генераторів блочних станцій виробничих підприємств, що викликає негативний вплив на економічну роботу станції в загальному випадку.

Процеси коливання параметрів амплітуди та фази напруги створюють ефект вібрації електричних двигунів.

4) *Параметр несинусоїдності напруги.* Електричне обладнання, системи автоматики, телемеханіки, релейного захисту та зв'язку відчують несприятливий вплив вищих гармонік напруги та струму, зокрема можуть появитися додаткові втрати в силових трансформаторах, електромережах та електричних машинах, важко здійснювати компенсацію реактивної потужності при використанні конденсаторних батарей, знижується термін роботи ізоляції електричних машин та апаратів, виникають аварійні ситуації в кабельних електромережах, спостерігаються провали в роботі таких систем як релейний захист, промислова автоматика, телемеханіка та зв'язок [13; 14].

Деякий вплив на величину коефіцієнта потужності та обертового моменту електричних двигунів мають вищі гармоніки напруги та струму, але зниження цих

параметрів (навіть коли коефіцієнти спотворення форми кривої напруги коливається в межах 10-15%), є несуттєвим. Величина додаткових активних втрат від впливу вищих гармонік в мережах промислових підприємств, потужних промислових центрів та електрифікованого залізничного транспорту може коливатися в межах від 10 до 15%.

В значній кількості електричних мереж, які мають різні напруги, з джерелами вищих гармонік конденсаторні батареї фактично не працюють, так як вони вимикаються через перевантаження за струмом, або за невеликий період виходять з ладу в наслідок роздування або вибухів. Конденсатори, які експлуатуються в промислових підприємствах, в більшості випадків попадають в режим резонансу струмів (або наближеної до цього режиму частоти деяких гармонік), що викликає небезпечне їх перевантаження по величині струму.

Опираючись на статистичні дані, найбільшому впливу вищих гармонік зазнають конденсатори (більше 70% від загального числа поломок і відмов електричного устаткування).

При несинусоїдальній напрузі має місце дуже швидке старіння ізоляції електричних машин, силових трансформаторів, конденсаторів та кабелів в наслідок незворотних фізичних і хімічних процесів, які функціонують під дією полів вищих гармонік та високого ступеня нагрівання струмопровідних частин. В лініях електропередачі струми вищих гармонік можуть продукувати процес підвищення втрат електричної енергії.

1.5 Вибір схеми силової мережі підприємства

Надійність представляє собою властивість систем електричного споживання загального призначення здійснювати поставлені задачі в визначеному обсязі при певних умовах функціонування.

На ділянках ливарній й механо-зварювальній деталей підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» розташоване технологічне обладнання з ЧПУ, яке складається з спеціалізованих ЕОМ для автоматичної обробки електричних сигналів згідно встановлених програм обчислень. Припинення на деякий час подачі електричної енергії може зупинити загальний комплекс робіт,

електрична обчислювальна машина зупиняється і потрібно заново перезапустити її систему з повторним встановленням програм обчислень. Втрачається час, інформація та продуктивність обладнання ливарної дільниці з системами ЧПУ, яке потрібно віднести до другої категорії споживачів.

Припинення подачі електроенергії на ливарне обладнання та обладнання механічної обробки деталей під час виконання технологічного процесу небезпечно тим, що в технологічній зоні присутні заготовки металів у навантаженому стані. Отже, ливарне обладнання та обладнання механічної обробки деталей також потрібно віднести до другої категорії споживачів.

Якщо зникає подача електричної енергії на плавильне обладнання, то порушується встановлений тепловий баланс, а це викликає безпосередні втрати металу. Отже, теплове обладнання також потрібно віднести до другої категорії споживачів.

Оскільки система електропостачання ливарного виробництва отримує живлення за допомогою одного кабеля від цехової трансформаторної підстанції, всю систему електричного постачання можна також віднести до другої категорії споживачів.

На загальному плані приміщення виробництва вказуємо місця розміщення устаткування. Електроживлення здійснюємо кабелем від КТП підприємства до ВРП. Електроприймачі виробничих дільниць заживлюємо від двох розподільних пристроїв (РП1–РП2) проводами, які попередньо укладені у трубах. Від ВРП заживлюємо щитки освітлення ЩО (1, 2, 3, 4), а потім під'єднуємо освітлювальне обладнання та силові розетки для виробництва загалом.

1.6 Узагальнена характеристика базового виробництва

На презентаційному слайді «Схема принципова електричних з'єднань силової мережі» представлено схему розміщення потужностей базового виробництва у такому складі:

- дільниця ливарно–ковальська;
- дільниця механічних і зварювальних робіт;
- дільниця руху транспорту.

На дільниці ливарно–ковальських робіт розташовано наступне обладнання:

- установка ливарна з камерою гарячого пресування з ЧПУ типу J–214;
- установка ливарна з камерою холодного пресування з ЧПУ типу J–116 E;
- установка ливарна з камерою холодного пресування типу A 711 A 08;
- установка для фігурного формування по металу типу PRI–60;
- установка для фігурного формування по металу типу TR 3–25;
- прес ковальський (гідравлічний) з ЧПУ типу GPI–16.

На дільниці механічних і зварювальних робіт розміщено наступне обладнання:

- установка лазерна гравірувальна з ЧПУ типу MARK–III–B;
- установка універсальна заточувальна типу 3Д 642E;
- установка 3D–оброблювальна з ЧПУ типу VDL–1000;
- установка токарна карусельна з ЧПУ типу TFM–100V;
- установка фрезерувальна з ЧПУ типу BMV–850/1000;
- перетворювач зварювальний типу MA-500 - 1 шт. (поз. 2.8);
- машина електрозварювальна типу НШМ-20 - 1 шт. (поз. 2.9);
- напівавтомат контактного зварювання типу СТН-18 - 1 шт. (поз. 2.10).

Робочі місця з шкідливими викидами обладнані місцевими витяжними вводами з єдиної витяжної системи (W4E370-CP06-31), які обладнані щитками кнопковими (ПКЕ 222-2У2).

Місцеве освітлення оснащено світильниками для робочих місць (НКП 03–60). Заземлення виконано всіх одиниць виробничого обладнання і об'єднане в єдину систему цехового заземлення.

1.7 Узагальнена характеристика електричного споживання автоагрегатного підприємства

Електричні двигуни виробничого устаткування, насоси, вентилятори та електричне освітлення дільниць промислового виробництва виступають основними споживачами електричної енергії.

Від комплектної двотрансформаторної підстанції напругою 10/0,4 кВ та

потужністю 1000 $kV \cdot A$, яка розташована у виробничому корпусі ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод», здійснюється електричне постачання обладнання виробництва силовими кабелями Основним джерелом електропостачання є комплектні підстанції «ААЗ» на напругу 110/10 кВ і потужністю $2 \times 16000 kV \cdot A$, а також «ППФ» на напругу 35/10 кВ і потужністю $2 \times 10000 kV \cdot A$. Основне й допоміжне обладнання ливарно–механічного виробництва має загальну встановлену потужність електричних приймачів, яка становить 200 kW .

Обслуговування електричних приймачів та електричного устаткування системи електричного постачання виробництва здійснюється енергетичною службою підприємства в складі: старшого майстра, трьох електриків, електрослюсара КВПіА, а також інженера–енергетика з нормування енергетичних витрат.

1.8 Висновки до розділу

1. Проведений аналіз показав, що ефективність системи електропостачання споживачів у значній мірі визначається якістю електроенергії. Пониження її рівня зумовлює виникнення втрат електроенергії, сировини, обладнання та ін., передчасний вихід з ладу та пошкодження електроприймачів.

2. Проаналізовані причини техніко-економічних збитків від низького рівня якості електроенергії, при усуненні яких можна зекономити від 10 до 40% енергії, залежно від ступеня прояву кожного з негативних факторів.

3. Проведений аналіз впливу відхилення від нормативних значень на зростання збитків в електромережах таких показників якості електроенергії як відхилення, коливання, несиметрія, несинусоїдність напруги.

4. Проведений аналіз проблем впливу гармонічного складу напруги електромережі на роботу електроприводів двигунів і сформовані заходи щодо зменшення впливу цього показника на втрати в електромережі.

5. Проведений аналіз впливу несинусоїдності напруги на зменшення коефіцієнта потужності електромережі, включно з електрообладнанням для компенсації реактивної потужності.

6. Приведено перелік та загальні характеристики потужності ливарно-

зварювальної ділянки та прийняті заходи щодо охорони праці.

7. Виконано оцінку категорій навантажень базового виробництва, приведено загальну характеристику його електричного постачання.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз вихідних даних. Загальна характеристика струмоприймачів

Дані для проектування СЕП наведено в розділі 1. Відповідно до цих даних основне виробництво ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» складається з таких дільниць: ливарно–ковальська; механо–зварювальних робіт.

В таблиці 2.1 предстало перелік обладнання, та його встановлені потужності.

Таблиця 2.1 – Перелік обладнання ливарно-механічної дільниці

№ з/п поз.	Назва	Тип виробу або позначення	cosφ	Потужність, кВт
1	2	3	4	5
1.1	Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ	J-214	0.6	14.0
1.2	Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ	J-214	0.6	14.0
1.3	Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ	J-116 E	0.6	11.0
1.4	Машина ливарна з холодною камерою пресування	A 711 A 08	0.7	9.0
1.5	Верстат для фігурного формування по металу	PRI-60	0.6	8.0
1.6	Верстат для фігурного формування по металу	TR 3-25	0.6	6.0
1.7	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	GPI-16	0.5	14.0
1.8	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	GPI-16	0.5	14.0
2.1	Вверстат лазерно–гравірувальний з ЧПУ	MARK-III-B	0.6	6.5
2.2	Верстат універсально–заточувальний	ЗД 642E	0.6	4.0
2.3	Центр 3D–оброблювальний з ЧПУ	VDL-1000	0.5	6.0
2.4	Центр 3D–оброблювальний з ЧПУ	VDL-1000	0.5	7.0
2.5	Верстат токарно–карусельний з ЧПУ	TFM-100V	0.6	9.0
2.6	Верстат токарно–карусельний з ЧПУ	TFM-100V	0.6	9.0
2.7	Верстат фрезерувальний з ЧПУ	BMV-850/1000	0.6	10.0
2.8	Перетворювач зварювальний	MA-500	0.6	9.0
2.9	Машина електрозварювальна	ПШМ-20	0.5	19.0
2.10	Напівавтомат контактного зварювання	СТН-18	0.5	8.0
Всього:				174,5

В цеху встановлено 19 одиниць електроприймачів з нерегульованим електроприводом; номінальна активна потужність становить 170,5 кВт. Кран-балка споживає 4,0 кВт активної потужності. Все це обладнання споживає і

реактивну потужність. Сумарна активна потужність, без освітлення, основного і допоміжного обладнання цеху становить 176,9кВт.

2.2 Розрахунок електричних навантажень

В таблиці 2.2 представлено дані для розрахунків електричного навантаження струмоприймачів.

Екв. к-сть електроприймачів (ЕП):

$$n_e = \frac{\left(\sum_i P_{Hi} \cdot n_i \right)^2}{\sum_i P_{Hi}^2 \cdot n_i} = \frac{(174,5)^2}{1796,3} = 16,95 \approx 17.$$

Еф. потужн. ЕП:

$$P_e = \frac{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i}{n_e} = \frac{174,5}{17} = 10,29 \approx 10,3 [\text{кВт}].$$

Середньозваж. коеф. використ. k_B :

$$k_B = \frac{P_e}{P_H} = \frac{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi}}{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i};$$

$$\sum_{i=1}^{19} P_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi} = 14,0 \cdot 2 \cdot 0,75 + \dots + 4,0 \cdot 1 \cdot 0,75 = 125,7 [\text{кВт}].$$

$$k_B = \frac{125,7}{174,5} = 0,72.$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень основного виробництва

№ поз. на плані	Назва	К-сть один., n	Встановл. потужн. $P_{Hi}, кВт$	Сум. потужн., $P_{сум}, кВт$	Коеф. використ., k_B	$\cos\varphi$ обладнання	$tg\varphi$ обладнання	Сума квадратів встановл. потужн., $кВт^2$
1,1; 1,2	Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ	2	14,0	28,02	0,75	0,5	1,73	394
1,3	Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ	1	11,0	11,0	0,60	0,5	1,73	123
1,4	Машина ливарна з холодною камерою пресування	1	9,0	9,03	0,60	0,6	1,33	82
1,5	Верстат для фігурного формування по металу	1	8,0	8,01	0,90	0,6	1,33	63
1,6	Верстат для фігурного формування по металу	1	6,0	6,03	0,75	0,6	1,33	35,8
1,7; 1,8	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	2	14,0	28,02	0,90	0,5	1,73	391,9
2,1	Верстат універсально-заточувальний	1	6,5	6,4	0,60	0,6	1,33	42,15
2,2	Верстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ	1	4,0	4,02	0,90	0,7	1,02	15,8
2,3	Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ	1	6,0	6,1	0,60	0,6	1,33	35,6
2,4	Верстат токарно-карусельний з ЧПУ	1	7,0	7,2	0,60	0,7	1,02	48,8
2,5; 2,6	Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ	2	9,0	18,3	0,60	0,6	1,33	161,7
2,7	Верстат фрезерувальний з ЧПУ	1	10,0	10,2	0,75	0,6	1,33	100,2
2,8	Верстат горизонтально-розточувальний з ЧПУ	1	9,0	9,1	0,60	0,5	1,73	82,0
2,9	Верстат свердлильний з ЧПУ	1	12,0	12,1	0,75	0,6	1,33	143,8
2,10	Прес гідравлічний обрубний	1	8,0	8,3	0,60	0,6	1,33	63,6
КБ	Кран-балка	1	4,0	4,2	0,75	0,5	1,73	15,8
–	Всього:	19	–	174,3	–	–	–	1795,8

Середн. коеф. реактив. потужн. $tg\varphi_c$:

$$tg\varphi_c = \frac{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi} \cdot tg\varphi_i}{\sum_i P_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi}};$$

$$\sum_{i=1}^{19} P_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi} \cdot tg\varphi_i = 14,0 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1,73 + \dots + 4,0 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,73 = 189,24 [кВт].$$

$$tg\varphi_c = \frac{189,24}{125,70} = 1,506.$$

За допомогою методу впорядкованих діаграм $k_M = f(n_e; k_e)$ [31], щоб

визначити значення n_e та k_e знаходимо коефіцієнт максимуму: $k_M = 1,12$.

Значення активного розрахункового навантаження:

$$P_p = k_M \cdot p_e = k_M \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{Hi} \cdot n_i \cdot k_{Bi} = 1,12 \cdot 125,7 = 140,79 [\text{кВт}].$$

Значення реактивного розрахункового навантаження:

$$Q_p = k_M \cdot \sum_{i=1}^{19} p_{ni} \cdot n_i \cdot k_{Bi} \cdot \text{tg} \varphi_i = 1,12 \cdot 189,24 = 211,95 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{140,79^2 + 211,95^2} = 254,45 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

Значення повного розрахункового струму:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{254,45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 386,59 [\text{А}].$$

2.3 Розрахунок ЦЕН

Використовуємо план розміщення потужностей ливарного відділення в координатах $x - y$. Точка з координатою $x = 0; y = 0$ розміщена в лівому куті ливарної ділянки виробничого корпусу.

Таблиця 2.3 – Розміщення потужностей виробництва

№ з/п згідно плану	Назва	Встановлена потужність P_{Hi} , кВт	Координата x_i , м	Координата y_i , м	$P_{Hi} \cdot x_i$	$P_{Hi} \cdot y_i$
РП-2						
1.1	Машина ливарна з гарячою камерою з ЧПУ	14.0	6.8	4.0	95.2	56.0
1.2	Машина ливарна з гарячою камерою з ЧПУ	14.0	13.6	4.0	190.4	56.0
1.3	Машина ливарна з холодною камерою з ЧПУ	11.0	19.8	4.0	217.8	44.0
1.4	Машина ливарна з холодною камерою	9.0	23.2	4.0	208.8	36.0

продовження таблиці 2.3

1.5	Верстат для фігурного формування по металу	8.0	26.2	4.0	209.6	32.0
1.6	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	6.0	29.2	4.0	175.2	24.0
1.7	Верстат для фігурного формування по металу	14.0	35.6	4.0	498.4	56.0
1.8	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	14.0	39.6	4.0	554.4	56.0
КБ	Кран-балка	4.0	45.6	8.4	182.4	33.6
–	Всього:	94.0	–	–	2332.2	393.6
РП-1						
2.1	Верстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ	6.5	6.6	12.6	42.9	81.9
2.2	Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ	4.0	10.2	12.6	40.8	50.4
2.3	Верстат універсально-заточувальний	6.0	13.8	12.6	82.8	75.6
2.4	Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ	7.0	18.0	12.6	126.0	88.2
2.5	Верстат фрезерувальний з ЧПУ	9.0	21.6	12.6	194.4	113.4
2.6	Верстат токарно-карусельний	9.0	27.2	12.6	244.8	113.4
2.7	Прес гідравлічний обрубний	10.0	30.6	12.6	306.0	126.0
2.8	Верстат свердлильний з ЧПУ	9.0	34.2	12.6	307.8	113.4
2.9	Верстат горизонтально-розточувальний з ЧПУ	19.0	37.2	12.6	706.8	239.4
2.10	Верстат токарно-карусельний	8.0	40.4	12.6	323.2	100.8
–	Всього:	87.5	–	–	2375.5	

$$РП2: x_0 = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{Hi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^9 p_{Hi}} = \frac{2332,2}{94,0} = 24,8 [м];$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^9 p_{Hi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^9 p_{Hi}} = \frac{393,6}{94,0} = 4,2 [м].$$

$$РП1: x_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi}} = \frac{2375,5}{87,5} = 27,2 [м];$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{10} p_{Hi}} = \frac{1102,5}{87,5} = 12,6 [м].$$

Після коригування координат РП-1 будуть: $x_{РП1} = 24,0 м$; $y_{РП1} = 16,0 м$, а РП-2: $x_{РП2} = 24,0 м$; $y_{РП2} = 0 м$.

ВРП-1 розміщуємо неподалік вводу силового кабеля від *КТП* у територію у ливарну дільницю з координатами $x_{ВРП} = 60,0 м$; $y_{ВРП} = 13,2 м$.

Оскільки освітлювальні щитки (*ЩО1–ЩО2*) заживлюються від *ВРП*, їх розмістимо якомога ближче до *ВРП* і до входних дверей: $x_{ЩО1} = 0 м$; $y_{ЩО1} = 4,4 м$ та $x_{ЩО2} = 47,6 м$; $y_{ЩО2} = 0 м$.

2.4 Розрахунок навантаження виробничого обладнання

2.4.1 Ливарно-ковальська дільниця.

В цій дільниці розміщено 9 одиниць основного обладнання, які позначені на схемі електричних з'єднань силової мережі цифрами 1.1...1.8 та КБ (кран-балка).

Здійснимо розрахунок навантаження деякого обладнання.

Електроприймачі *ЕП1.1* та *ЕП1.2* Ливарна машина з гарячою камерою з ЧПУ типу *J – 214* (380 В; 50 Гц; 14,0 кВт):

Значення активного розрахункового навантаження:

$$P_{P1.1} = k_{Bi} \cdot P_{H1.1} = 0,75 \cdot 14,0 = 10,5 \text{ кВт};$$
$$P_{P1.2} = k_{Bi} \cdot P_{H1.2} = 0,75 \cdot 14,0 = 10,5 \text{ кВт};$$

де $k_{Bi} = 0,75$ (див. табл. 2.1).

Значення реактивного розрахункового навантаження:

$$(\cos\varphi_{1.1} = 0,5; \cos\varphi_{1.2} = 0,5):$$

$$Q_{P1.1} = P_{P1.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{1.1} = 10,5 \cdot 1,73 = 18,17 \text{ кВ}\cdot\text{Ар};$$
$$Q_{P1.2} = P_{P1.2} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{1.2} = 10,5 \cdot 1,73 = 18,17 \text{ кВ}\cdot\text{Ар};$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_{P1.1} = \sqrt{P_{P1.1}^2 + Q_{P1.1}^2} = \sqrt{10,5^2 + 18,17^2} = 20,98 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$
$$S_{P1.2} = \sqrt{P_{P1.2}^2 + Q_{P1.2}^2} = \sqrt{10,5^2 + 18,17^2} = 20,98 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Значення повного розрахункового струму:

$$I_{P1.1} = \frac{S_{P1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1}} = \frac{20,98}{\sqrt{3} \cdot 380} = 52,93 \text{ А}; \quad I_{P1.2} = \frac{S_{P1.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.2}} = \frac{20,98}{\sqrt{3} \cdot 380} = 52,93 \text{ А}.$$

Ном. струм:

$$I_{H1.1} = \frac{P_{H1.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.1} \cdot \cos \varphi_{1.1}} = \frac{14,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5} = 42,54 \text{ A};$$

$$I_{H1.2} = \frac{P_{H1.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.2} \cdot \cos \varphi_{1.2}} = \frac{14,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5} = 42,54 \text{ A}.$$

Аналігічно визначаються значення розрахункового навантаження для інших одиниць електричного обладнання.

2.4.2 Дільниця механо-зварювальних робіт.

В цій дільниці розміщено 10 одиниць обладнання, які на схемі електричних з'єднань силової мережі позначено цифрами 2.1...2.10. Розрахунок електричного навантаження дільниці проведемо аналогічним способом.

Електроприймач *ЕП2.2 Верстат універсально-заточувальний типу 3Д 642Е* (380 В; 50 Гц; 4,0 кВт):

$$P_{P2.2} = k_{Bi} \cdot P_{H2.2} = 0,90 \cdot 4,0 = 3,60 \text{ кВт},$$

$$Q_{P2.2} = P_{P2.2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2.2} = 3,60 \cdot 1,02 = 3,67 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

$$S_{P2.2} = \sqrt{P_{P2.2}^2 + Q_{P2.2}^2} = \sqrt{3,60^2 + 3,67^2} = 5,14 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{P2.2} = \frac{S_{P2.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.2}} = \frac{5,14}{\sqrt{3} \cdot 380} = 7,81 \text{ А}.$$

$$I_{H2.2} = \frac{P_{H2.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.2} \cdot \cos \varphi_{2.2}} = \frac{4,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,70} = 8,68 \text{ А}.$$

Аналігічно визначаються значення розрахункового навантаження для інших одиниць електричного обладнання.

2.4.3 Кімната майстрів.

Тут розташовані 4 розетки, які на схемі електричних з'єднань силової мережі позначено цифрами 3.1...3.4.

Розрахунок навантаження розеток проведемо аналогічно попередньому.

Електроприймачі *ЕП3.1...3.4 Розетка внутрішньої установки із заземленням моделі РШ – п – 20 – С – 02 – 10 / 220* (220 В; 50 Гц; 0,6 кВт):

$$P_{P3.1...3.4} = k_{Bi} \cdot P_{H3.1...3.4} = 4 \cdot 0,75 \cdot 0,60 = 1,80 \text{ кВт},$$

$$Q_{P3.1...3.4} = P_{P3.1...3.4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{3.1...3.4} = 1,80 \cdot 0,62 = 1,12 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

$$S_{P3.1...3.4} = \sqrt{P_{P3.1...3.4}^2 + Q_{P3.1...3.4}^2} = \sqrt{1,80^2 + 1,12^2} = 2,12 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{P3.1...3.4} = \frac{S_{P3.1...3.4}}{\sqrt{3} \cdot U_{H3.1...3.4}} = \frac{2,12}{\sqrt{3} \cdot 220} = 5,56 \text{ А}.$$

$$I_{H3.1...3.4} = \frac{P_{H3.1...3.4}}{\sqrt{3} \cdot U_{H3.1...3.4} \cdot \cos \varphi_{3.1...3.4}} = \frac{2,40}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,85} = 7,41 \text{ А}.$$

Значення розрахункових потужностей електроприймачів відповідно до їх розподілу на ділянках виробництва зводимо у таблицю.

Таблиця 2.4 – Значення розрахункових навантажень обладнання

№з/п позиц.	Назва електро- приймача	Нап- руга, В	По- туж- ність, кВт	cosφ	tgφ	Розрахункові навантаження				
						P _p , кВт	Q _p , кВ·Ар	S _p , кВ·А	I _p , А	I _н , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дільниця ливарно-ковальська з верстатами ЧПУ (РП2)										
1.1	Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ	380	14.0	0.5	1.73	10.5	18.17	20.98	52.93	42,54
1.2	Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ	380	14.0	0.5	1.73	10.5	18.17	20.98	52.93	42,54
1.3	Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ	380	11.0	0.5	1.73	6.6	11.42	13.19	20.04	33,43
1.4	Машина ливарна з холодною камерою пресування	380	9.0	0.6	1.33	5.4	7.18	8.99	13.66	22,79
1.5	Верстат для фігурного формування по металу	380	8.0	0.6	1.33	7.2	9.58	11.98	18.20	20,26
1.6	Верстат для фігурного формування по металу	380	6.0	0.6	1.33	4.5	5.99	7.48	11.39	15,19
1.7	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	380	14.0	0.5	1.73	12.6	21.80	25.18	38.27	42,54
1.8	Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ	380	14.0	0.5	1.73	12.6	21.80	25.18	38.27	42,54
КБ	Кран-балка	380	4.0	0.5	1.73	3.0	5.19	6.00	9.15	12,16
Всього:		–	94.0	–	–	72.9	119.30	139.97	254.84	273.99

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дільниця мехобробки та зварювання з верстатами ЧПУ (РП1)										
2.1	Верстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ	380	6.5	0.6	1.33	3.90	5.19	6.49	9.86	16,46
2.2	Верстат універсально-заточувальний	380	4.0	0.7	1.02	3.60	3.67	5.14	7.81	8,68
2.3	Центр оброблювальний з ЧПУ 3D-	380	6.0	0.6	1.33	3.60	4.79	5.99	9.10	15,19
2.4	Центр оброблювальний з ЧПУ 3D-	380	7.0	0.7	1.02	4.20	4.28	6.00	9.12	15,19
2.5	Верстат токарно-карусельний з ЧПУ	380	9.0	0.6	1.33	5.40	7.18	8.99	13.66	22,79
2.6	Верстат токарно-карусельний з ЧПУ	380	9.0	0.6	1.33	5.40	7.18	8.99	13.66	22,79
2.7	Верстат фрезерувальний з ЧПУ	380	10.0	0.6	1.33	7.50	9.98	12.48	18.96	25,32
2.8	Перетворювач зварювальний МА-500	380	9.0	0.5	1.73	5.40	9.34	10.79	16.39	27,35
2.9	Машина електро-зварювальна ПШМ-20	380	12.0	0.6	1.33	9.00	11.97	14.98	22.76	30,39
2.10	Напівавтомат контактного зварювання СТН-18	380	8.0	0.6	1.33	4.80	6.38	7.99	12.14	20,26
Всього:		–	80.5	–	–	52.80	69.96	87.84	133.46	204.42
Кімната майстрів										
3.1(р).. 3.4(р)	Розетки силові	220	0.60x 4 = 2.40	0.85	0.62	1.80	1.12	2.12	5.56	7.41
Всього:			2.40	–	–	1.80	1.12	2.21	5.56	7.41

2.5 Розрахунок електричного освітлення дільниць

Для освітлення дільниць ливарно-механічного цеху використаємо стельові світильники *ГСП04В – 400 – 512* з лампами високого тиску *ДРІ – 400 – 6*, а також стельові світильники *ЛПО21 – 2x65* з люмінесцентними лампами *ЛБР – 65* або світлодіодні з таким же світловим потоком типу *ДПО – 01 – НСП – 4А*.

Розташування світильників визначається розмірами приміщення:

$H = 7,0 \text{ м}$ – висота приміщення;

$b = 36 \text{ м}; l = 60 \text{ м}$ – розміри приміщення;

$h_c = 1,0 \text{ м}$ – відстань від перекриття до світильника;

$h_{\Pi} = 6,0 \text{ м}$ – відстань від підлоги до світильника;

$h_p = 1,0 \text{ м}$ – висота від підлоги до розрахункової поверхні;

$h = h_{\Pi} - h_p = 5,0 \text{ м}$ – висота від розрахункової поверхні до світильника.

Світильники монтуємо в чотири ряди на відстані 4,5 м від стіни та 4,5 м між собою.

Згідно [21; 29] прийmemo освітлення дільниць: $E_1 = E_2 = 250 \text{ лк}$. Коефіцієнт запасу $K_3 = 1,5$.

Індекс дільниці цеху:

$$i = \frac{b \cdot l}{h(b+l)} = \frac{36 \cdot 60}{5,0 \cdot (36 + 60)} = 4,50.$$

Коеф. відбивання поверхонь [21; 29]: $\rho_c = 90\%$ - для стелі; $\rho_{CT} = 30\%$ - для стін; $\rho_{II} = 10\%$ - для підлоги. Таким чином, $\eta = 0,65$.

Світловий потік:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{\eta} = \frac{250 \cdot 1,5 \cdot 2633 \cdot 1,15}{0,65} = 174694 [\text{Лм}],$$

де S – площа дільниці, м;

z – поправочний коефіцієнт на мінімальну освітленість; прийmemo $z = 1,15$.

З [38] виберемо лампу високого тиску ДРІ – 400 – 6 з паспортними даними: $P_{\text{Л}} = 400 \text{ Вт}$; $U_{\text{Н}} = 220 \text{ В}$; $\cos \varphi = 0,85$; $\text{tg} \varphi = 0,62$; $\Phi_{\text{Л}} = 4000 \text{ Лм}$; $K_B = 0,75$; термін служби – 10000 год.

При встановленні світильників в кількості $N = 44 \text{ шт}$ на всіх дільницях загальний потік буде:

$$\Phi_C = 44 \cdot 4000 = 176000 \text{ Лм}.$$

Запас світлового потоку $\delta = (-10 \dots +20)\%$:

$$\delta = \frac{\Phi_C - \Phi}{\Phi_C} = \frac{176000 - 174694}{176000} \cdot 100\% = +0,75\%.$$

Таким чином, умова виконана.

Ном. потужн. всіх ламп світильників:

$$P_H = N_1 \cdot P_{\text{Л}} = 44 \cdot 0,4 = 17,4 \text{ кВт},$$

Значення активної потужності:

$$P_P = k_B \cdot P_{H1} = 0,75 \cdot 17,6 = 13,1 \text{ кВт}$$

Значення реактивної потужності:

$$Q_P = P_P \cdot \text{tg} \varphi = 13,2 \cdot 1,02 = 13,36 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{13,2^2 + 13,46^2} = 18,85 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Значення розрахункового струму:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{H1}} = \frac{18,85}{\sqrt{3} \cdot 220} = 49,5 \text{ А}.$$

Значення номінального струму:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{17,6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,70} = 66 \text{ А}.$$

Кімната майстрів:

$$H_3 = 3,5 \text{ м}; b_3 = 6 \text{ м}; l_3 = 6 \text{ м}; h_C = 0,2 \text{ м}; h_{II} = 3,5 - 0,2 = 3,3 \text{ м};$$

$$h_p = 1,0 \text{ м}; h = h_{II} - h_p = 2,3 \text{ м}.$$

Світильники монтується в один ряд на відстані 2,0 м від стін та 2,0 м між собою.

Згідно [21; 29] $E_3 = 300 \text{ лк}$. Коеф. запасу $K_3 = 1,5$.

Індекс приміщення:

$$i_2 = \frac{b \cdot l}{h(b+l)} = \frac{6,0 \cdot 6,0}{2,3 \cdot (6,0 + 6,0)} = 1,31.$$

Коефіцієнт використання $\eta_3 = 0,56$.

Необхідний світловий потік ламп:

$$\Phi_2 = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot z}{\eta_3} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,15}{0,56} = 28830 [\text{Лм}],$$

З [38] вибираємо люмінесцентну лампу ЛБР-65 з характеристиками: $P_{II} = 65 \text{ Вт}; U_H = 220 \text{ В}; \cos \varphi = 0,85; \text{tg} \varphi = 0,62; \Phi_{II} = 4800 \text{ Лм}; K_B = 0,75$; термін служби – 15000 год.

Світловий потік дволампового світильника:

$$\Phi_C = 2 \cdot 4800 = 9600 \text{ Лм}.$$

Якщо $N_2 = 3 \text{ шт.}$ світильників, загальний потік дорівнюватиме:

$$\Phi_{C2} = 3 \cdot 9600 = 28800 \text{ Лм}.$$

Згідно норм запас світлового потоку $\delta = (-10 \dots + 20)\%$.

$$\delta_2 = \frac{\Phi_C - \Phi_2}{\Phi_C} = \frac{28800 - 28830}{28800} \cdot 100\% = -0,11\% .$$

Умова виконується.

Таким чином, кімнату майстрів освітлюватиме $3шт.$ світильників типу ЛПО21–2х65 з лампами ЛБР–65. Можна встановити більш енергоефективні і більш довговічні світлодіодні світильники стельових типу ДПО–01–НСП–4А (8Вт) такуж кількість.

Ном. потужн. всіх світильників у даному приміщенні:

$$P_{H2} = 3 \cdot 2 \cdot 0,065 = 0,382 \text{ кВт}.$$

Значення активної потужності:

$$P_{P2} = k_B \cdot P_{H2} = 0,75 \cdot 0,390 = 0,287 \text{ кВт}.$$

Значення реактивної потужності:

$$Q_{P2} = P_{P2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 0,293 \cdot 0,62 = 0,179 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_{P2} = \sqrt{P_{P2}^2 + Q_{P2}^2} = \sqrt{0,293^2 + 0,182^2} = 0,345 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Значення розрахункового струму:

$$I_{P2} = \frac{S_{P2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{0,345}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0,905 \text{ А}.$$

Значення розрахункового струму:

$$I_{H2} = \frac{P_{H2}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{0,390}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,85} = 1,204 \text{ А}.$$

Сумарна актив. потужн. розеток:

$$P_{P\Sigma} = 4 \cdot 0,60 = 2,40 \text{ кВт}.$$

Навантаження ЩО-1 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,412 = 4,8 \text{ кВт}.$$

Навантаження ЩО-2 (8+3 світильники; розетки):

$$P_{ЩО2} = 0,48 + 2,4 + 0,39 = 6 \text{ кВт}.$$

Навантаження ЩО-3 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,412 = 4,8 \text{ кВт}.$$

Навантаження ЩО-4 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,412 = 4,8 \text{ кВт}.$$

Для комутації освітлення перед входом у приміщення цеху встановимо освітлювальний щиток (ЩО-1). Ще один освітлювальний щиток (ЩО-2)

встановимо біля кімнати майстрів.

2.6 Розрахунок навантаження освітлювальних щитків

Значення активної потужності освітлення та розеточної групи (ЩО-1-ЩО-2):

$$P_{\Sigma} = 4,8 + 6,0 = 10,76 \text{ кВт}.$$

Розподілимо значення активної потужності по трьом фазах:

– фаза «А» (ЕП (осв) - 10 шт.: ливарна дільниця: $P_A = 4,0 \text{ кВт}$;

– фаза «В» (ЕП (осв) - 10 шт.: дільниця мехобробки: $P_B = 4,0 \text{ кВт}$;

– фаза «С» (ЕП (р): 3.1...3.4 + ЕП (осв): кімната майстрів:

$$P_C = 0,39 + 2,40 = 2,79 \text{ кВт}.$$

Оскільки фаза «А» (чи «В») є найбільш завантаженою, здійснемо розрахунок освітлення та розеточної групи для цієї фази:

$$P_{OP} = 4,0 \cdot 3 = 12,0 \text{ кВт}.$$

2.7 Розрахунок потужності ВРП

Потужності ЕП розподільчих пристроїв та освітлювального обладнання зведемо у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Значення розрахункових навантажень ВРП-1

№ з/п	Електроприймач	Потужність, кВт	Напруга, В	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	Розрахункові навантаження				
						P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВ·А	I_p , А	I_H , А
1	РП-1	87.5	380	–	–	52.8	69.96	87.84	133.46	204.43
2	РП-2	94.0	380	–	–	72.9	119.30	139.97	254.84	273.97
3	ЩО-1, ЩО-2	8.0	380	–	–	3.46	3.47	4.90	12.86	17.72
4	ЩОр-2	2.40	380	–	–	1.80	1.12	2.12	5.56	7.43
5	ВРП	191.9	380	–	–	130.96	193.85	234.83	406.72	503.44

2.8 Розрахунок навантаження силового трансформатора та вибір місця встановлення

Значення сумарної активної розрахункової потужності виробничого електрообладнання, освітлення та розеточної групи:

$$P_{P_{\Sigma}} = P_{P_E} + P_{P_O} + P_{P_P} = 140,79 + 3,46 + 1,80 = 146,05 \text{ [кВт]}.$$

Значення сумарної реактивної розрахункової потужності:

$$Q_{P_{\Sigma}} = Q_{P_E} + Q_{P_O} + Q_{P_P} = 211,95 + 3,47 + 1,12 = 216,54 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}.$$

Значення повної розрахункової потужності:

$$S_P = \sqrt{P_{P_{\Sigma}}^2 + Q_{P_{\Sigma}}^2} = \sqrt{146,05^2 + 216,54^2} = 261,19 \approx 262 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}.$$

На КТП-2 в одному із силових трансформаторів типу ТМЗ 1000–10 / 0,4 кВ виділимо комірку для ливарно-механічного відділення, потужність якого дорівнює:

$$S_{TP_K} = 1,2 \cdot S_P = 1,2 \cdot 262 = 313,43 \approx 315 \text{ [кВ} \cdot \text{А]}$$

пропускна здатність струму:

$$I_{TP_K} = 1,2(I_{P_E} + I_{P_O} + I_{P_P}) = 1,2 \cdot (386,6 + 12,9 + 5,6) = 1,2 \cdot 405,1 = 486,12 \approx 500 \text{ [А]}.$$

Як резервне живлення для ливарно–механічного відділення передбачимо другу лінію від КТП-3 заводу.

2.9 Вибір та розрахунок пристроїв компенсації пристроїв реактивної потужності

Орієнтовна потужн. компенс. пристроїв виробництва:

$$Q_{KB_H} = P_P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\Phi} - \operatorname{tg} \varphi_H), \text{кВ} \cdot \text{Ап},$$

де $\operatorname{tg} \varphi_H = 0,329; \cos \varphi = 0,95; \operatorname{tg} \varphi_{\Phi} = \operatorname{tg} \varphi_C = 1,506; P_P = 140,8 \text{ кВт}.$

Маємо

$$Q_{KB_H} = 140,8 \cdot (1,506 - 0,329) = 165,7 \text{ [кВ} \cdot \text{Ап]}.$$

Реакт. потужн. НВ конденсаторів:

$$Q_{KH_{opt}} = \frac{Q_P}{2} - \frac{M}{r_{E_r} \cdot (1 + \lambda)}, \text{кВ} \cdot \text{Ап},$$

де $r_{E_r} = 0,0022 \text{ Ом}; \lambda = 0,6;$

$$M = U_H^2 \cdot \left(\frac{112,5 \cdot K_{ДКН}}{C_{O_E} \cdot T_B} + 0,5 \right), \text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом},$$

де $K_{ДКН} = 6,0 \frac{\text{грн}}{\text{кВ} \cdot \text{Ар}}$; $T_B = 8760 \text{ год}$; $C_{O_E} = \frac{A}{T_{МАКС}} + B \cdot 10^{-3}$;

$$\left. \begin{array}{l} A = 437 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}}, \\ B = 77 \frac{\text{коп}}{10 \text{ кВт} \cdot \text{год}} \end{array} \right\} \text{— складові тарифу на електроенергію;}$$

$$T_{МАКС} = 4239 \text{ год}.$$

$$C_{O_E} = \frac{431}{4239} + 77 \cdot 10^{-3} = 0,18 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

$$M = 0,38^2 \cdot \left(\frac{112,5 \cdot 6,0}{0,18 \cdot 8760} + 0,5 \right) = 0,134 [\text{кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Ом}].$$

Тоді отримаємо:

$$Q_{КН\text{опт}} = \frac{211,95}{2} - \frac{0,134}{0,0022 \cdot (1 + 0,6)} = 67,88 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Виберемо конденсаторну типу УК – 0,38 – 72 потужн. 72 кВ · Ар.

Залишок реакт. потужн. скомпенсуємо ВВ КУ, потужн. якої визначимо з виразу:

$$Q_{КБВ} = Q_{КБН} - Q_{ККВ} = 165,7 - 72 = 93,7 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Вибираємо стандартну конденсаторну установку КУ – 10 – 1 потужністю 330 кВ · Ар на ном. Напругу 10 кВ.

Утворений запас по компенсації реакт. потужн. в кількості 230 кВ · Ар реалізуємо при розрах. компенсації ін. проєднаних виробництв.

2.10 Вибір площі перерізу проводів і жил кабелів

Переріз провідників виберемо згідно ПУЕ, а також [36] з врахуванням додатковго нагрівання провідників, які прокладаються у металевих трубах, за додатковим коефіцієнтом зменшення номінального струму $k_H = 0,8$.

Значення поперечного перерізу провідників, марка проводів або кабелів,

також довжина будуть мати наступні значення:

- ЕП-1.1: $I_H = 42,54 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$; площа поперечного перерізу провідників – $10,0 \text{ мм}^2$; довжина відрізка лінії – 18 м ; марка проводу – ПВЗ-10,0-0,66;
- ЕП-1.2: $I_H = 42,54 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$; – $10,0 \text{ мм}^2$; – 12 м ; – ПВЗ-10,0-0,66;
- ЕП-1.3: $I_H = 33,43 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$; – $6,0 \text{ мм}^2$; – 12 м ; – ПВЗ-6,0-0,66;
- ЕП-1.4: $I_H = 22,79 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$; – $4,0 \text{ мм}^2$; – 10 м ; – ПВЗ-4,0-0,66;
- ЕП-1.5: $I_H = 20,26 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$; – $4,0 \text{ мм}^2$; – 12 м ; – ПВЗ-4,0-0,66;
- ЕП-1.6: $I_H = 15,19 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$; – $2,5 \text{ мм}^2$; – 10 м ; – ПВЗ-2,5-0,66;
- ЕП-1.7: $I_H = 42,54 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$; – $10,0 \text{ мм}^2$; – 15 м ; – ПВЗ-10,0-0,66;
- ЕП-1.8: $I_H = 42,54 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$; – $10,0 \text{ мм}^2$; – 17 м ; – ПВЗ-10,0-0,66;
- ЕП КБ: $I_H = 12,16 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 14 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$; – $1,5 \text{ мм}^2$; – 20 м ; – ПВЗ-1,5-0,66;

ВРП – РП2 (ЕП1.1...ЕП1.8–ЕП КБ):

- $I_H = 42,54 + 42,54 + 33,43 + 22,79 + 20,26 + 15,19 + 42,54 + 42,54 + 12,16 = 273,99 \text{ A}$;
 $I_{\text{ДОП}} = 340 \cdot 0,8 = 272 \text{ A}$; – 95 мм^2 ; – 38 м ; марка кабелю – ПсВГ 3х95+1х35;
- ЕП-2.1: $I_H = 42,54 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$; – $10,0 \text{ мм}^2$; – 18 м ; марка проводу – ПВЗ-10,0-0,66;
 - ЕП-2.2: $I_H = 8,68 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ A}$; – $1,0 \text{ мм}^2$; – 14 м ; – ПВЗ-1,0-0,66;
 - ЕП-2.3: $I_H = 15,19 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$; – $2,5 \text{ мм}^2$; – 14 м ; – ПВЗ-2,5-0,66;
 - ЕП-2.4: $I_H = 15,19 \text{ A}; I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$; – $2,5 \text{ мм}^2$; – 12 м ; –

ПВ3 – 2,5 – 0,66;

– ЕП-2.5: $I_H = 22,79 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$; – 4,0 мм²; – 12 м; –

ПВ3 – 4,0 – 0,66;

– ЕП-2.6: $I_H = 22,79 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$; – 4,0 мм²; – 14 м; –

ПВ3 – 4,0 – 0,66;

– ЕП-2.7: $I_H = 25,32 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$; – 4,0 мм²; – 14 м; –

ПВ3 – 4,0 – 0,66;

– ЕП-2.8: $I_H = 27,35 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$; – 6,0 мм²; – 16 м; –

ПВ3 – 6,0 – 0,66;

– ЕП-2.9: $I_H = 30,39 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$; – 6,0 мм²; – 12 м; –

ПВ3 – 6,0 – 0,66;

– ЕП-2.10: $I_H = 20,26 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$; – 2,5 мм²; – 14 м; –

ПВ3 – 2,5 – 0,66;

ВРП – *РП* – 1 (*ЕП*2.1...*ЕП*2.10):

$I_H = 16,46 + 8,68 + 15,19 + 15,19 + 22,79 + 22,79 + 25,32 + 27,35 + 30,39 + 0,26 = 204,42 \text{ A}$;

$I_{\text{доп}} = 285 \cdot 0,8 = 228 \text{ A}$; – 70 мм²; – 14 м;

марка кабелю – *ПсВГ* 3х70+1×25;

– ЕП світильники: $I_H = 9,0 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$; – 1,0 мм²; – 30 м;

марка проводу – *ПВ3* – 1,0 – 0,66;

– ЕП світильники (мехобробка): $I_H = 7,50 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$; –

1,0 мм²; – 20 м; марка проводу – *ПВ3* – 1,0 – 0,66;

– ЕП світильники (кімната майстрів):

– ЕП-3.1(р)–ЕП-3.4(р):

$I_H = 7,41 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$; – 1,0 мм²; – 38 м; – *ПВ3* – 1,0 – 0,66;

ВРП – *ЩО*-1–*ЩО*-2:

$I_H = 9,0 + 7,50 + 1,20 + 7,41 = 25,15 \text{ A}$; $I_{\text{доп}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$; – 6,0 мм²; –

12 м; – *ПВ3* – 6,0 – 0,66;

КТП – *ВРП* (*РП* – 1 – *РП* – 2 – *ЩО* – 1 – *ЩО* – 2):

$I_H = 204,42 + 273,99 + 25,15 = 503,56 \text{ A}; I_{\text{доп}} = 570 \cdot 0,9 = 513 \text{ A}; -240 \text{ мм}^2;$
– 10 м; марка кабелю – АББШв 3×240+1×70 – відкрита
проводка.

2.11 Висновки до розділу

1. Проведений розрахунок електричних навантажень електроприймачів основного виробництва та вибір схеми електропостачання розподільних пристроїв і підприємства в цілому.

2. Проведений розрахунок освітлювальної мережі виробничих потужностей підприємства. Вибір світильників класу захисту IP 34 здійснений з врахуванням загазованості шкідливими викидами виробничої атмосфери.

3. Проведений техніко-економічний розрахунок некомпенсованої реактивної потужності та здійснений вибір установок компенсації на низькій та високій стороні напруги живлення.

3 ПРОЕКТНО–КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Вибір захисної апаратури електромережі виробництва

3.1.1 Вибір запобіжників.

Запобіжники ЕП вибираємо, виходячи з умов їх роботи:

$$I_{п.у} \geq \frac{I_{пк}}{\alpha},$$

де $I_{п.у}$ – струм плавкої уставки запобіжника, A ;

$I_{пк}$ – піковий струм при увімкненні ЕП, A ;

α – коеф., що враховує умови увімкнення ЕП;

$$I_{пк} = k_{п} \cdot I_{н},$$

де $k_{п}$ – кратність струму пускового моменту;

$I_{н}$ – номінальний струм електроприймачів, A .

Отже:

ВРП: РП1–РП2–ЩО1–ЩО2:

$$I_{н} = (204,4 + 273,09 + 25,2) = 503,5 \text{ A};$$

$$I_{пк} = 3 \cdot 503,5 = 1510,5 \text{ A};$$

$$I_{п.уст} \geq \frac{1510,5}{2,5} = 604,2 [A];$$

запобіжник типу ППНІ–39–3 (630 A).

3.1.2 Вибір АВ.

Автоматичні вимикачі вибираються із умови:

$$I_{НОМ} > (1,1 \dots 1,3) \cdot I_{н},$$

де $I_{НОМ}$ – номінальний струм АВ, A ;

$I_{н}$ – номінальний струм електроприймача, A .

Перевіримо струм спрацювання відсічки електромагнітного роз'єднувача за максимальним піковим струмом:

$$I_{ВДС} \geq (1,25 \dots 1,35) \cdot I_{пк},$$

де $I_{\text{ПСК}}$ – піковий струм електроприймачів, A .

Вибираємо вставку теплового розчеплювача із умови:

$$I_T \geq (1,1 \dots 1,2) \cdot I_H.$$

Отже:

ВРП: РП2: ЕП1.1: $I_H = 42,64 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 212,8 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 55,20 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 265,77 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 52,05 A;$$

автоматичний вимикач $BA88 - 35$; $I_{\text{НОМ}}, A: 250$; $I_p, A: 125$;

ЕП1.2: $I_H = 42,64 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 212,8 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 55,20 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 265,77 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 52,05 A;$$

$BA88 - 35$; $I_{\text{НОМ}}, A: 250$; $I_p, A: 125$;

ЕП1.3: $I_H = 33,33 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 167,05 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 43,36 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 208,84 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 40,02 A;$$

$BA88 - 35$; $I_{\text{НОМ}}, A: 250$; $I_p, A: 125$;

ЕП1.4: $I_H = 22,69 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 113,85 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 29,53 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 142,34 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,25 A;$$

$BA88 - 33$; $I_{\text{НОМ}}, A: 160$; $I_p, A: 32$;

ЕП1.5: $I_H = 20,16 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 101,2 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 26,24 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 126,53 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 24,21 A;$$

$BA88 - 32$; $I_{\text{НОМ}}, A: 125$; $I_p, A: 25$;

ЕП1.6: $I_H = 15,09 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 75,85 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 19,65 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 94,84 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,13 A;$$

$BA88 - 32$; $I_{\text{НОМ}}, A: 125$; $I_p, A: 25$;

ЕП1.7: $I_H = 42,44 A$; $I_{\text{ПСК}} = 5 \cdot I_H = 212,6 A$;

$$I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot I_H = 55,20 A; I_{\text{ВДС}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПСК}} = 265,77 A;$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 51,15 A;$$

BA88 – 35; $I_{НОМ}$, A: 250; I_p , A: 125;

ЕП1.8: $I_H = 42,44$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 212,6$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 55,20$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 265,77$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 51,15$ A;

BA88 – 35; $I_{НОМ}$, A: 250; I_p , A: 125;

ЕП КБ: $I_H = 12,06$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 60,7$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 15,71$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 76,10$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 14,49$ A;

контактор КМИ – 11860; $I_{НОМ}$, A: 18; РТИ1321;

РП1: ЕП2.1: $I_H = 16,36$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 82,27$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 21,30$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 102,78$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 19,65$ A;

BA88 – 32; $I_{НОМ}$, A: 125; I_p , A: 25;

ЕП2.2: $I_H = 8,58$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 43,3$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 11,18$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 54,14$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 10,32$ A;

BA88 – 32; $I_{НОМ}$, A: 125; I_p , A: 12,5;

ЕП2.3: $I_H = 15,09$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 75,85$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 19,65$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 94,84$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,13$ A;

BA88 – 32; $I_{НОМ}$, A: 125; I_p , A: 25;

ЕП2.4: $I_H = 15,09$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 75,85$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 19,65$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 94,84$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,13$ A;

BA88 – 32; $I_{НОМ}$, A: 125; I_p , A: 25;

ЕП2.5: $I_H = 22,69$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 113,85$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 29,53$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 142,34$ A;

$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,25$ A;

BA88 – 33; $I_{НОМ}$, A: 160; I_p , A: 32;

ЕП2.6: $I_H = 22,69$ A; $I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 113,85$ A;

$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 29,53$ A; $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 142,34$ A;

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,25 \text{ A};$$

$$BA88 - 33; I_{НОМ}, A: 160; I_p, A: 32;$$

$$\text{ЕП2.7: } I_H = 25,22 \text{ A}; I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 126,5 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 32,82 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 158,15 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 30,28 \text{ A};$$

$$BA88 - 33; I_{НОМ}, A: 160; I_p, A: 32;$$

$$\text{ЕП2.8: } I_H = 27,25 \text{ A}; I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 136,65 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 35,46 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 170,84 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 32,72 \text{ A};$$

$$BA88 - 35; I_{НОМ}, A: 250; I_p, A: 125;$$

$$\text{ЕП2.9: } I_H = 30,29 \text{ A}; I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 151,85 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 39,41 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 189,84 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 36,37 \text{ A};$$

$$BA88 - 35; I_{НОМ}, A: 250; I_p, A: 125;$$

$$\text{ЕП2.10: } I_H = 20,16 \text{ A}; I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 101,2 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 26,24 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 126,53 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 24,21 \text{ A};$$

$$BA88 - 32; I_{НОМ}, A: 125; I_p, A: 25;$$

$$\text{ВРП: РП2: } I_H = 273,89 \text{ A}; I_{ПНК} = (273,89 - 42,54) + 5 \cdot 42,54 = 444,05 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 356,09 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 555,09 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 328,69 \text{ A};$$

$$BA88 - 40; I_{НОМ}, A: 800; I_p, A: 400;$$

$$\text{ВРП: РП1: } I_H = 204,32 \text{ A}; I_{ПНК} = (204,32 - 30,39) + 5 \cdot 30,39 = 325,88 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 265,85 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПНК} = 407,38 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 245,20 \text{ A};$$

$$BA88 - 37; I_{НОМ}, A: 400; I_p, A: 250;$$

$$\text{ЩО1: ЕП (осв. 6+6шт.): } I_H = 9,0 \text{ A}; I_{ПНК} = 5 \cdot I_H = 18,04 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 11,6 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПНК} = 24,2 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 10,7 \text{ A};$$

$$C60L1P C; I_{НОМ}, A: 63; I_p, A: 16 - 2шт.$$

ЩО2: ЕП (осв. 4 + 4шт.): $I_H = 7,40 A$; $I_{ПСК} = 5 \cdot I_H = 15,08 A$;
 $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 9,65 A$; $I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПСК} = 20,15 A$;
 $I_T = 1,2 \cdot I_H = 9,06 A$;
С60L1P C; $I_{НОМ}, A: 63$; $I_P, A: 10 - 2шт.$

ЩО2: ЕП (осв. 3шт.): $I_H = 0,68 A$; $I_{ПСК} = 5 \cdot I_H = 1,24 A$;
 $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 0,77 A$; $I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПСК} = 1,71 A$;
 $I_T = 1,2 \cdot I_H = 0,61 A$;
С60L1P C; $I_{НОМ}, A: 63$; $I_P, A: 1$;

ЕП3.1(p)...3.4(p): $I_H = 7,31 A$; $I_{ПСК} = 3 \cdot I_H = 22,19 A$;
 $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 9,53 A$; $I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПСК} = 30,11 A$;
 $I_T = 1,2 \cdot I_H = 8,86 A$;
С60L 2P C; $I_{НОМ}, A: 63$; $I_P, A: 10$;

ВРП: ЩО1 – ЩО2: $I_H = 24,48 A$; $I_{ПСК} = (24,48 - 9,0 - 7,41) + 2 \cdot 9,0 +$
 $3 \cdot 7,41 = 8,17 + 18,0 + 22,23 = 48,30 A$;
 $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 31,85 A$; $I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПСК} = 65,24 A$;
 $I_T = 1,2 \cdot I_H = 29,40 A$;
ВА88 – 32; $I_{НОМ}, A: 125$; $I_P, A: 32$;

ВРП – РП1 – РП2 – ЩО1 – ЩО2: $I_H = 503,06 A$; $I_{ПСК} = (503,06 - 274,1)$
 $+ 5 \cdot 274,1 = 1599,3 A$; $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 653,88 A$;
 $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПСК} = 1998,65 A$; $I_T = 1,2 \cdot I_H = 603,62 A$;
ВА88 – 43; $I_{НОМ}, A: 1600$; $I_P, A: 1000$.

3.2 Проектне рішення

- на ВРП встановлюється рубильник типу РПБ3 – 6;
- у кімнаті майстра встановлюємо вимикач освітлення С2 – 06 – 6 / 220 та 4 розетки внутрішньої установки РШ – n – 20 – С – 02 – 10 / 220;
- на ЩО встановлюємо АВ: триполюсний вхідний ВА88 – 32; однополюсні С60L1P _C; двополюсний - для розеток із розчіплювачем струму у нульовому проводі і фазі типу С60L2P10АС;
- встановлюємо світильники у кількості 12 + 8шт типу ГСП04В – 400 – 512

із лампами *ДРІ – 400 – 6*; світильники у кількості *3шт.* типу *ЛПО21 – 2x65* із люмінесцентними лампами типу *ЛБР65* або *ДПО – 01 – НСП – 4А*;

- передбачаємо захист ВРП від струмів короткого замикання із сторони навантаження (РП1–РП2 та ЩО1–ЩО2) - запобіжниками *ППНІ – 39 – 3 – 3шт.*

- вхід ВРП буде комутувати АВ типу *ВА88 – 43* і рубильник триполюсний типу *РПБ3 – 6*;

- до ВРП від КТП проводимо силовий броньований кабель із ПВХ-ізоляцією і ПВХ-шлангом *АВБбШв3 × 240 + 1 × 70* зовнішньою проводкою=10м

- на щитку збірному КТП для електроживлення ливарно–механічного виробництва виділяємо комірку із АВ типу *ВА88 – 43*.

3.3 Розрахунок максимальних струмів кіл навантаження силового трансформатора

Визначимо відносні опори елементів схеми для визначення струмів КЗ у т. К1.

Однолінійну схему для розрахунку к.з. показано на рис. 3.1.

Повний опір:

$$Z_T = \frac{(u_{к.з.} / 100)U^2}{S_{ном.Т}},$$

де $u_{к.з.}$ - напруга к.з., %;

$S_{ном.Т}$ - ном. потужність тр-ра, *кВА*;

U - напруга мережі, *В*.

$$Z_T = \frac{(5,5 / 100) \cdot 380^2}{1600 \cdot 10^3} = 0,00496 \text{ Ом} = 4,96 \text{ мОм}.$$

Активний опір визначається за наступною формулою:

$$R_T = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U^2}{(S_{ном.Т})^2},$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати від к.з., *кВт*;

$$R_T = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 380^2}{(1600 \cdot 10^3)^2} = 0,00102 \text{ Ом} = 1,02 \text{ мОм}.$$

Реактивн. опір:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2};$$

$$X_T = \sqrt{4,96^2 - 1,02^2} = 4,85 \text{ мОм}.$$

Сумарн. опір кола трифазного КЗ в точці К1:

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{(R_{\Sigma}^{(3)})^2 + (X_{\Sigma}^{(3)})^2};$$

$$(R_{\Sigma}^{(3)}) = R_T + R_{Ш} + R_a + R_K + R_{Т.Т};$$

$$(X_{\Sigma}^{(3)}) = X_T + X_{Ш} + X_a + X_{Т.Т},$$

де $R_T; X_T$ - активн. та реактивн. опори трансформатора;

$R_{III}; X_{III}$ - опори шин від трансформатора до АВ ($R_{III}=0,5$ мОм;
 $X_{III}=2,25$ мОм);

$R_a; X_a$ - опори котушок розчіплювачів максимального струму АВ;

R_k - перехідні опори контактів;

$R_{TC}; X_{TC}$ - первинні опори обвиток трансформатора струму;

$$R_{\Sigma 1}^{(3)} = 1,02 + 0,5 + 0,25 + 0,12 + 0,2 = 2,09 \text{ мОм}.$$

$$X_{\Sigma 1}^{(3)} = 4,85 + 2,25 + 0,094 + 0,3 = 7,50 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma 1}^{(3)} = \sqrt{2,09^2 + 7,50^2} = 7,79 \text{ мОм}.$$

Діюче знач. струму трифазн. к.з.:

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}^{(3)}};$$

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7,79 \cdot 10^{-3}} = 28,2 \cdot 10^3 \text{ А} \approx 28 \text{ кА}.$$

Ударн. струм к.з.:

$$i_{к.з.}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{y.c.} \cdot I_{к.з.}^{(3)},$$

де $k_{y.c.}$ - ударний коефіцієнт (для трансформатора 1000 кВА $k_{y.c.}=1,4$);

$I_{к.з.}^{(3)}$ - діюче знач. струму трифазн. к.з..

$$i_{к.з.}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 28 = 55,4 \cdot 10^3 \text{ А} \approx 55 \text{ кА}.$$

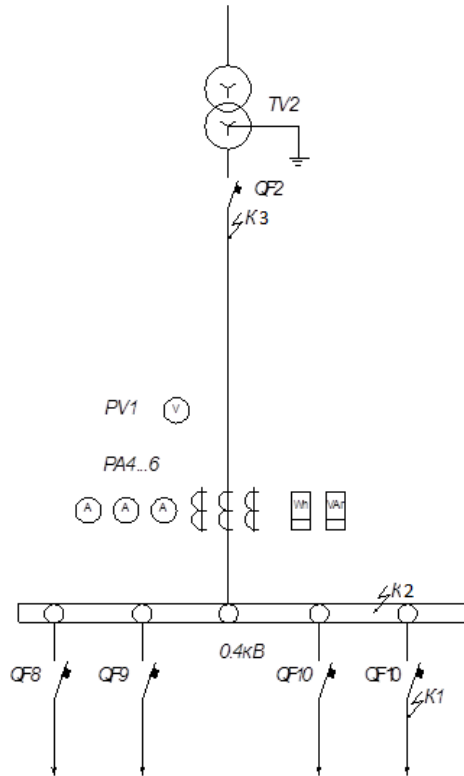


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема для розрахунку струмів к. з.

Для визначення сумарного ударн. струму знаходимо струми КЗ від АЕД всіх навантажень в-цтв, приєднаних до шини тр-ора *TV 2* :

$$\Sigma i_{y.Д.} \approx 6,5 \Sigma I_{ном.Д.},$$

де $\Sigma I_{ном.Д.}$ - сума номінальних струмів всіх АЕД.

$$\Sigma i_{y.Д.} \approx 6,5 \cdot (0,95 \cdot 300 + 0,95 \cdot 500 + 0,60 \cdot 450 + 0,80 \cdot 150) = 7475 A \approx 7,48 кА.$$

Сумарн. ударн. струм:

$$i_{y.Σ}^{(3)} = i_{y.c}^{(3)} + \Sigma i_{y.Д.};$$

$$i_{y.Σ}^{(3)} = 55,4 + 7,48 = 62,88 кА.$$

Визначаємо струми к.з. в точці *K2* аналогічним чином.

$$Z_{Σ2}^{(3)} = \sqrt{(R_{Σ2}^{(3)})^2 + (X_{Σ2}^{(3)})^2};$$

$$R_{Σ2}^{(3)} = R_{Σ1}^{(3)} + R_{ш} + R_{л};$$

$$X_{Σ2}^{(3)} = X_{Σ1}^{(3)} + X_{ш} + X_{л};$$

$$R_{Σ2}^{(3)} = 2,09 + 0,5 + 0,1 = 2,60 мОм;$$

$$X_{\Sigma 2}^{(3)} = 7,5 + 2,25 + 0,05 = 9,80 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma 2}^{(3)} = \sqrt{2,60^2 + 9,80^2} = 10,14 \text{ мОм}.$$

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 10,14 \cdot 10^{-3}} = 21,64 \cdot 10^3 \text{ А} \approx 22 \text{ кА}.$$

$$i_{к.з.}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 22 = 43,6 \text{ кА}.$$

$$\Sigma i_{y.д.} \approx 6,5 \cdot 1150 \approx 7,48 \text{ кА}$$

$$i_{y.Σ}^{(3)} = 43,6 + 7,48 = 51,08 \text{ кА}$$

Згідно такого ж алгоритму визначаємо струми КЗ у точці КЗ.

$$Z_{\Sigma 3}^{(3)} = \sqrt{(R_{\Sigma 3}^{(3)})^2 + (X_{\Sigma 3}^{(3)})^2};$$

$$R_{\Sigma 3}^{(3)} = R_{\Sigma 2}^{(3)} + R_{III} + R_{II};$$

$$X_{\Sigma 3}^{(3)} = X_{\Sigma 2}^{(3)} + X_{III} + X_{II};$$

$$R_{\Sigma 3}^{(3)} = 1,67 + 1,8 + 1,3 = 5,70 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma 3}^{(3)} = 9,80 + 0,86 + 0,14 = 10,80 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma 3}^{(3)} = \sqrt{5,70^2 + 10,80^2} = 12,21 \text{ мОм}.$$

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 12,21 \cdot 10^{-3}} = 17,97 \cdot 10^3 \text{ А} \approx 18,0 \text{ кА}.$$

$$i_{к.з.}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 18,0 = 35,6 \text{ кА}.$$

$$\Sigma i_{y.д.} \approx 6,5 \cdot 478,4 = 3109,7 \text{ А} \approx 3110 \text{ А} = 3,11 \text{ кА}.$$

$$i_{y.Σ}^{(3)} = 35,6 + 3,11 = 38,71 [\text{кА}] \approx 39 \text{ кА}.$$

Таблиця 3.1 – Опори котушок розчеплювачів максимального струму автоматичного вимикача

Номінальний струм АВ, A	100,0	140,0	200,0	400,0	600,0
$X_a, мОм$	0.86	0.55	0.28	0.10	0.094
$R_a, мОм$	1.8	0.74	0.36	0.15	0.12

Таблиця 3.2 –Перехідні опори контактів захисної апаратури

Ном. струм, A	50,0	100,0	200,0	400,0	600,0	1000,0	1600,0
АВ: $R_K, мОм$	1.3	0.75	0.6	0.4	0.25	-	-
Рубильник: $R_K, мОм$	-	0.5	0.4	0.2	0.15	0.08	-

Таблиця 3.3 – Первинні опори обвиток трансформатора струму

Коеф. трансформації тр-ра струму	100 / 5	150 / 5	200 / 5	300 / 5	400 / 5
$X_{TC}, мОм$	2.7	1.2	0.67	0.3	0.17
$R_{TC}, мОм$	1.7	0.75	0.42	0.2	0.17

3.4 Вибір основного обладнання ПС та низьковольтної мережі

Вибіраємо ВВ вимикач, який встановлений на ЗРП головної понижувальної підстанції 10кВ, що призначений для комутування ВЛ живлення КТП підприємства.

Результати вибору зводимо в таблицю 3.4

Таблиця 3.4 - Характеристики ВВ вимикача 10кВ

Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1 Ном., кВ ($U_{HB} \geq U_{HY}$)	10,0	10,0
2 Довготривалий струм, А $I_{HB} \geq I_{PY}$	36.5	630,0
3 Струм відмикання, кА $I_{Відм} \geq I_{\infty}$	8.1	15,0
4 Потужн. відмикання, МВ·А $S_{відм} \geq S_{КЗ}$	140.1	150,0
5 Ударний струм к.з., кА $i_{У.В} \geq i_{У}$	22.3	26,0
6 Струм термічної стійкості, кА $I_{Н.Т.С.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{НТС}}}$	4.1	12,0

де U_{HB} - ном. напруга АВ;

U_{HY} - номінальна напруга вставки;

I_{HB} - номінальний струм АВ;

I_{PY} - розрах. струм уставки;

I_{∞} - усталений струм КЗ у місці встановлення АВ;

$S_{відм}$ - потужн. відмикання АВ;

$S_{КЗ}$ - потужн. КЗ у місці встановлення АВ;

$i_{У.В}$ - доп. ударн. струм АВ;

$i_{У}$ - ударн. струм КЗ;

$I_{Н.Т.С.}$ - номінальний струм термічної стійкості АВ;

$t_{П}$ - приведена тривалість дії струму КЗ;

$t_{НТС}$ - номінальна тривалість дії струму КЗ.

З довідникових даних вибираємо ВВ АВ типу *ВМН* – 10.

Здійснимо вибір АВ навантаження і запобіжника з ВВ сторони КТП підприємства (див. табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Вибір АВ навантаження і запобіжника

№	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані АВ
1.	Ном. напруга, $kB U_{HB} \geq U_{HY}$	10,0	10,0
2.	Довготривалий струм АВ, $A I_{HB} \geq I_P$	36.3	40,0
3.	Довготривалий струм запобіжника, $A I_{HB} \geq I_P$	36.4	40,0
4.	Струм відмикання запобіжника, $KA I_{Відм} \geq I_{\infty}$	6.44	12,0
5.	Потужн. відмикання запобіжника, $MB \cdot A S_{відм} \geq S_{Kз}$	113.0	150,0
6.	Ударн. струм кз, $KA i_{y.B} \geq i_y$	16.6	26,0

З довідникових даних вибираємо АВ типу *ВНП – 17УЗ* та запобіжник типу *ПК – 101.40*.

Вибираємо трансформатори струму, встановлені на стороні НВ КТП (див. табл. 3.6).

Таблиця 4.6 - Вибір ТС

№	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1.	Ном. напруга, $kB U_{HB} \geq U_{HY}$	0.38	0.66
2.	Струм первинної обвитки, $A I_{HB} \geq I_{PY}$	1001.4	1500,0
3.	Навантаження на вторинну обвитку, $KA S_{2н} \geq S_2$	4.87	20,0
4.	Кратність доп. струму електродинам. стійкості $K_{дин} \geq \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{HT}}$	32.8	40,0
5.	Кратність струму термічн. стійкості, $KA I_{H.T.C.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{II}}{t_{HTC}}}$	4.19	20,0

З довідникових даних вибираємо ТС типу *ТНШЛ – 0,66*.

Проведемо перевірку навантажувальної характеристики вторинного кола ТС:

$$S_2 = S_p + I_{H2}^2 \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 1}{j \cdot S_{пров}} + R_K \right) B \cdot A,$$

де $S_p = 1 B \cdot A$; $I_{H2} = 5 A$; $j = 32 A \cdot мм^{-2}$; $S_{пров} = 2,5 мм^2$; $R_K = 0,1 Ом$.

Отримаємо:

$$S_2 = 1 + 5^2 \left(\frac{\sqrt{3}}{32 \cdot 2,5} + 0,1 \right) = 4,85 B \cdot A - \text{відповідає нормативу.}$$

Вибираємо АВ на НВ КТП (див. табл. 4.7).

Таблиця 3.7 - Вибір АВ 0,4 кВ

№ п/п	Величина, що вибирається та перевіряється	Розрахункові дані	Довідникові дані вимикача
1.	Ном. напруга, кВ $U_{HA} \geq U_{HV}$	0.38	0.66
2.	Довготривалий струм, А $I_{HA} \geq I_P$	1001.6	1500,0
3.	Струм відмикання, кА $I_{відм} \geq I_\infty$	25.8	30,0

З даних після розрахунку вибираємо АВ типу АВМ-0,4.

3.5 Перевірка на термічну стійкість

Здійснимо перевірку:

$$S_{мін} \leq S_n \text{ мм}^2,$$

$$S_{мін} = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_n}}{C} \text{ мм}^2,$$

де I_∞ - усталений струм КЗ на початку лінії, А;

t_n - приведена тривалість дії струму КЗ, с;

$C = 85$ - коефіцієнт для кабелю із алюмінієвими жилами.

Звідси:

$$S_{мін} = \frac{35000 \cdot \sqrt{0,25}}{85} = 205,9 \text{ мм}^2.$$

Оскільки $S_{\min} = 205,9 \text{ мм}^2 \leq S_n = 240 \text{ мм}^2$, кабель живлення вибраний вірно.

3.6 Висновки до розділу

1. Проведений розрахунок струмів к.з. у мережі ВН 10кВ та максимальних струмів кіл навантаження трансформатора у мережі 0,4кВ. Підтверджено, що вибрані автоматичні вимикачі витримують дію ударних струмів КЗ.

2. Запропоновано встановлення новітнього електрообладнання із метою модернізації системи електропостачання даного підприємства.

3. Здійснено розрахунок та вибір високовольтного та низьковольтного електрообладнання на лініях електроживлення підприємства. Перевірена термічна стійкість обох кабельних ліній.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з електробезпеки на інструментально–зварювальному виробництві

При роботі на технологічних установках промислових підприємств виділяють три системи засобів і заходів з електробезпеки [29]:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

До систем технічних засобів електробезпеки належать засоби і заходи з електробезпеки, що реалізуються в конструкціях електроустановок при їх розробці, виготовленні та монтажі відповідно до чинних нормативів.

За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяють на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блокувальні пристрої безпеки;
- виконання електроустановок з ізолюванням від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;

- вирівнювання потенціалів.

З метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовуються всі з перерахованих вище технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією. Отже, одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є перевірка ізоляції струмовідних частин.

Ще одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є застосування блокувальних пристроїв безпеки. Блокувальні пристрої безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огорожених струмовідних частин, в комутаційних апаратах, помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки.

Призначення блокувальних пристроїв безпеки:

- унеможливити доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги;
- попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок;
- не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання без попереднього від'єднання його від джерела живлення.

До числа заходів щодо вирішення питань з електробезпеки є виконання електричних мереж з ізолюванням від землі. В мережах, ізольованих від землі, при однофазному під'єднанні людини під напругу і відсутності пошкодження ізоляції інших фаз, величина струму через людину визначається опором ізоляції фаз відносно землі, який, щонайменше, становить 10^5 Ом (вимога ПУЕ [21]). Таким чином, виконання мереж, що ізольовані від землі, обмежує величину струму через людину

за рахунок опору ізоляції фаз відносно землі при умові забезпечення необхідного стану ізоляції. При наявності фаз з пошкодженою ізоляцією і доторканні людини до фазного проводу з непошкодженою ізоляцією сила струму через людину значно зростає. Тому, застосування мереж, ізольованих від землі, вимагає обов'язкового контролю опору ізоляції.

Одним із найголовніших заходів профілактики електротравм та інших нещасних випадків є проведення інструктажу з охорони праці на виробництві.

Виконання заходів електробезпеки при експлуатації електроустановок забезпечить безпечне виконання роботи працівниками на виробництві.

4.2 Заходи пожежної безпеки на інструментально–зварювальному виробництві

Пожежі представляють особливу небезпеку, оскільки зв'язані з великими матеріальними втратами. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалення. Горючими компонентами є: мастильні матеріали, ізоляція кабелів та ін.

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, направлених на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі [13].

Джерелами спалаху можуть бути електричні проводки, прилади, використані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В електроустановках в безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні проводи, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливе оплавлення ізоляції. Для відведення надмірної теплоти служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи є додатковою пожежною небезпекою, а приміщення з їх розташуванням відносять до категорії В пожежної небезпеки [13].

Енергопостачання виробництва здійснюється від трансформаторної підстанції, на якій особливу небезпеку представляють трансформатори з оливним охолодженням. У зв'язку з цим перевагу слід віддавати сухим трансформаторам.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих спалахів, відносять внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. ін.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. За видом гасіння речовини вогнегасники поділяють на такі основні групи.

Водопінні вогнегасники - застосовуються для гасіння рідин, різних матеріалів, конструктивних елементів і устаткування, що горять, окрім електроустаткування, що знаходиться під напругою.

Газові вогнегасники - застосовуються для гасіння рідких і твердих речовин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою.

В приміщенні, де працюють електроустановки, застосовують головним чином вуглекислотні вогнегасники типу ВВ-5, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, збереження електричного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1000В, а також пожеж на транспорті в житлових і виробничих приміщеннях. Вимагають перезарядки один раз на п'ять років, а також контрольне зважування - один раз на рік для усунення витоків.

Вуглекислотні вогнегасники заборонено встановлювати поблизу нагрівальних приладів і під вплив прямих сонячних променів. Вогнегасники, що не пройшли контрольного зважування, або з вичерпаним терміном придатності необхідно перезарядити.

Для виявлення початкової стадії загоряння і сповіщення служби пожежної охорони використовують системи автоматичної пожежної сигналізації (АПС). Крім того, вони можуть самостійно приводити в дію установки пожежогасіння, коли пожежа ще не досягла великих розмірів. Системи АПС складаються з

пожежних сповіщувачів, ліній зв'язку і приймальних пультів (станцій).

Відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні» (Наказ МВС України за №1417 від 30.12.2014 р.) приміщення обладнуються димовими пожежними сповіщувачами. Їх застосовують в таких приміщеннях, де на початку пожежі при горінні різних мастильних, пластмасових, ізоляційних матеріалів виділяється значна кількість диму, але ще мало теплоти.

Щоб ліквідувати загоряння необхідно:

- а) припинити виділення предметом, що горить, горючих газів та парів, ізолювавши їх середовищем, яке не підтримує горіння;
- б) охолодити цей предмет нижче температури його спалаху або займання;
- в) видалити горючі речовини.

Під час роботи генераторів, електродвигунів, трансформаторів, випрямлячів, розподільних пристроїв буває надмірне нагрівання ізоляції обвиток та інших елементів, що може призвести до пожежі. Іскріння та електричні дуги, що виникають під час аварій та вимикання струму, можуть стати причиною спалахування накопиченого пилу й горючих газів. Тому залежно від пожежної небезпеки виробництва застосовується електроустаткування різних конструкцій, які перешкоджають виникненню пожежі.

Гасіння пожеж в електроустановках має такі особливості та порядок:

- а) відімкнути обладнання від мережі електропостачання;
- б) виявити джерело загоряння;
- в) при потребі викликати відповідні рятувальні служби (тел. 101);
- г) евакуювати персонал у безпечне місце;
- е) локалізувати та ліквідувати, по можливості, загоряння;
- є) обмежити доступ персоналу до місця загоряння.

Гасіння проводиться засобами, що не є провідниками. Для гасіння на електроустановках найкраще використовувати такі речовини:

- інертні гази (вуглекислота, азот), при гасінні якими відбувається зниження відсоткового вмісту кисню в повітрі, внаслідок чого уже при 12-15% вуглекислого газу в ньому горіння припиняється;

– гасіння піском або землею.

Використання заходів і засобів пожежної безпеки допоможе врятувати

життя працівників та матеріальні цінності виробництва, а також сприятиме зменшенню впливу пожеж на виробництво продукції.

4.3 Причини виникнення виробничих надзвичайних ситуацій

Виробничі надзвичайні ситуації - аварії можуть бути різноманітними. Причинами їх можуть бути: стихійні лиха (землетруси, зсуви, повені, пожежі тощо). а також порушення технології виробництва і правил техніки безпеки.

Найбільш типовими наслідками аварій можуть бути: вибухи, пожежі, затоплення, завали шахт, зараження навколишнього середовища сильнодіючими отруйними речовинами.

Аварії виникають і унаслідок необачного поводження з вогнем. Крім того, причинами аварії можуть бути:

- порушення вимог і правил техніки безпеки;
- низька трудова і технологічна дисципліна;
- відсутність належного контролю за процесом виробництва.

Аналіз причин аварій показує, що вони виникають головним чином унаслідок поганої навченості персоналу, допущеної халатності, порушень технологічного процесу виробництва і правил техніки безпеки.

Для запобігання аваріям на промислових підприємствах заздалегідь розробляються і здійснюються організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення їх стійкості й безаварійності роботи.

4.4 Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективний спосіб зменшення шкоди та збитків від надзвичайних ситуацій – запобігти їх виникненню, а в разі виникнення виконувати відповідні до даної ситуації заходи.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання

у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків.

Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру в нашій країні покликана виконувати Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ), затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 р. №11. ЄДСЦЗ включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організують проведення роботи із запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат. ЄДСЦЗ складається з постійно діючих функціональних та територіальних підсистем і має чотири рівні: загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий. Кожен рівень ЄДСЦЗ має координуючі та постійні органи управління.

Координуючими органами ЄДСЦЗ є [31]:

- на загально державному рівні: - Державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій; Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення;
- на регіональному рівні – комісії обласних державних адміністрацій з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій;
- на місцевому рівні – комісія районних державних адміністрацій і виконавчих органів рад з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій;
- на об'єктовому рівні – комісії з питань надзвичайних ситуацій об'єктів.

До систем повсякденного управління ЄДСЦЗ входять оснащені необхідними засобами зв'язку, оповіщення, збирання, аналізу і передачі інформації:

- центри управління в надзвичайних ситуаціях, оперативно-чергові служби уповноважених органів з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення усіх рівнів;

➤ диспетчерські служби центральних та місцевих органів виконавчої влади, державних підприємств, установ та організацій.

До складу сил і засобів ЄДСЦЗ входять військові і спеціальні цивільні аварійно-рятувальні (пошуково-рятувальні) формування, які укомплектовуються з урахуванням необхідності проведення роботи в автономному режимі не менше трьох діб і перебувають у стані постійної готовності, а також недержавні (добровільні) рятувальні формування. Залежно від масштабів і особливостей надзвичайної ситуації, що прогнозується або виникла, може існувати один із таких режимів функціонування ЄДСЦЗ: повсякденної діяльності, підвищеної готовності, діяльності у надзвичайній ситуації, діяльності у надзвичайному стані [31].

З метою ліквідації наслідків надзвичайної ситуації у мирний час може проводитись також цільова мобілізація.

Ефективність функціонування систем захисту населення і територій досягається через завчасну підготовку, оперативне реагування та ефективне управління під час надзвичайних ситуацій, своєчасне відновлення життєдіяльності населення в їх зоні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досліджено підвищення ефективності функціонування системи електропостачання ливарно–механічного виробництва підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» для забезпечення рівня якості електроенергії та надійності її постачання.

Отримані такі результати:

1. Проведений аналіз електромережі підприємства для дослідження впливаючих факторів на якість електроенергії, зумовлених технологічним устаткуванням, а також заходів щодо зниження втрат електроенергії.

2. Проведений аналіз гармонічного складу напруги електромережі внаслідок дії технологічного устаткування для застосування спеціально налаштованих фільтро-компенсуючих пристроїв.

3. Досліджена можливість впровадження в існуючій електромережі з негативним впливом технологічного устаткування на якість електроенергії окремих ділянок з її підвищеною якістю для живлення мікропроцесорного обладнання.

4. Встановлено, що ділянка електромережі з покращеною якістю електроенергії повинна мати у своєму складі антирезонансні дроселі й конденсатори для компенсації присутніх в електромережі вищих гармонік.

5. Встановлено, що зменшення додаткових втрат в електромережі підприємства та підвищення навантажувальних характеристик асинхронних електродвигунів можна досягти компенсацією вищих гармонійних складових.

6. Досліджена математична модель, яка враховує вплив несиметрії напруги та наявності вищих гармонік в електромережі підприємства на підвищення температури ізоляції асинхронних електродвигунів та скорочення терміну її служби.

7. Проведений вибір установок компенсації реактивної потужності як на низькій стороні напруги електромережі, так і на високій із застосуванням техніко–економічного обґрунтування.

8. Проведений розрахунок максимальних струмів кіл навантаження силового трансформатора в електромережах 0,4 кВ й 10 кВ та вибрані

автоматичні вимикачі відповідного типу.

9. Проведений вибір високо- і низьковольтного обладнання на трансформаторній підстанції підприємства, а також розрахунок термічної стійкості ввідних кабельних ліній.

10. Проведений розрахунок електричних навантажень підприємства та вибрана схема електропостачання розподільних пристроїв.

11. Проведений розрахунок освітлення підприємства з врахуванням загазованості випарами від ливарного виробництва.

12. Проведений розрахунок та зроблений вибір кабельно-провідникових елементів й комутаційної апаратури схеми живлення електроприймачів підприємства.

Спроектована електромережа технологічного обладнання ливарно-механічного виробництва ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» з врахуванням проведеної модернізації та результатів досліджень відповідає усім вимогам щодо надійності й ефективності функціонування, забезпечення безпеки персоналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-цтво НУ «Львів. політехн.», 2009. - 360 с.
2. Божко В. М. Визначення втрат електроенергії і методи її зниження в системах електропостачання промислових підприємств / В. М. Божко, Г. Я. Вагін // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2001. – №4. – С. 43–50.
3. Бойко О. А. Єдина державна система цивільного захисту в умовах реалізації завдань децентралізації влади // Матеріали 20-ї ВНК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м. Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 49–51.
4. Варецький Ю. О. Загрози гармонік в електричних мережах // Електричні мережі та системи. – 2016. - №4–5. – С. 101–109.
5. Василега П. О. Електропостачання. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
6. Васійчук В. О. Основи цивільного захисту: навч. посібник / В. О. Васійчук, В. Є. Гончарук. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехн.», 2010. - 417с.
7. Владіміров Ю. В. Вплив промислових споживачів на втрати в електричних мережах / Ю. В. Владіміров, В. С. Доля // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №2. – С. 53–56.
8. Войцицький А. П. Аналіз причин погіршення якості показників електроенергії, які характеризують форму напруги / А. П. Войцицький, Ю. А. Колос // Вісник Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. Механізація. – 2016. - №1 (53), Т. 1. – С. 264–269.
9. Волошко А. В. Щодо моніторингу якості електричної енергії / А. В. Волошко, А. Л. Харчук // Вісник Кременчук. нац. ун-ту. Енерго-та ресурсозберігаючі технології. – 2014. – Вип 2. – С. 47–52.
10. Гарасьова Н. Ю. Вибір параметрів фільтрокомпенсуючих пристроїв для мереж нижче 1000 В / Н. Ю. Гарасьова, І. В. Савеленко, К. Г. Петрова // Наукові записки. - 2010. - Вип. 10, Ч. II. – С. 205–208.
11. Електробезпека на промислових підприємствах : довідник / Р. Б. Сабарно,

- А. Г. Степанов, А. В. Слонченко. – К. : Техніка, 1985. – 288 с.
12. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.
 13. Євтух П. С. Сучасні методи діагностування якості електроенергії та покращення її показників / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко, В. Р. Щербатюк // Матеріали VIII МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (27–28 листопада 2019 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. 3. – Тернопіль, 2019. – С. 20–21.
 14. Єгорова О. Ю. Комплексна оцінка якості електроенергії з урахуванням надійності електропостачання в сільських електромережах / О. Ю. Єгорова, М. В. Михалко // Системи обробки інформації. Обробка інформації в складних технічних системах. – 2011. – Вип. 5 (95). – С. 41–44.
 15. Жежеленко І. В. Технічні засоби забезпечення якості електроенергії в електричних мережах з дуговими сталеплавильними печами / І. В. Жежеленко, М. Л. Рабинович. - Київ : Тов-во «Знання», 1982. - 23 с.
 16. Жежеленко І. В. Якість електроенергії на промислових підприємствах / І. В. Жежеленко, М. Л. Рабинович, В. М. Божко. - Київ : Техніка, 1981. - 160 с.
 17. Жигулін О. А. Безпека праці в енергоустановках : навч. посібн. - Ніжин : Ніжин. агротехн. ін-т, 2020. - 189 с.
 18. Закладний О. М. Вплив якості напруги живлення на електроприводи з синхронними двигунами / О. М. Закладний, О. О. Закладний, Т. Ю. Оборонов // Вісник нац. техн. ун-ту «КПІ». Гірництво. – 2012. – Вип. 22. – С. 180–188.
 19. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
 20. Куземко Н. А. Вплив технологічних чинників на якість електроенергії та ефективні методи діагностування / Н. А. Куземко, О. О. Вакуленко, І. Т. Гарматій // Матеріали XII МНПК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (6–7 грудня 2023 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. – Тернопіль, 2023. – С. 248.
 21. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу «Проектування промислового освітлення» / Укл. Костик Л. М. - Тернопіль : ТНТУ, 2015 - 28 с.

22. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств : підручн. для електромех. спец. / В. І. Мілих, Т. П. Павленко. - К. : Каравела, 2018 - 272 с.
23. Ниник Л. Р. Стійкість роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях. – Рівне : Вид-во УДАВГ, 1998. – 162 с.
24. Основи безпечної експлуатації електроустановок: підручн. / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
25. Охорона праці в галузі : методичні вказівки / Укл. к.т.н., доц. каф. ТМ І. Г. Ткаченко. – Тернопіль, ТДТУ, 2001. – 32 с.
26. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002–2007 / Вид. офіційне. Держпожбезпеки МНС України. – К., 2007. – 25 с.
27. Овчаренко Т. І. Оцінка ефективності статичних компенсуючих пристроїв на промислових підприємствах // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2013. – №8. – С. 25–30.
28. Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Запарний [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. - 2-е вид., доп. та перероб. — К. : Основа, 2006. - 448 с.
29. Пилипчук Р. В. Енергоефективне промислове освітлення: метод.-дов. посібн. / Р. В. Пилипчук, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук. – Донецьк : Каштан, 2005. – 364 с. : рис., табл.
30. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : ДНАОП 0.00-1.21-1998 / Вид. офіційне. Мінпраці України. – К. : Офіц. вісн. України, 12.03.1998. - №8. – С. 394.
31. Правила улаштування електроустановок / Вид. офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Вид-во «Форт», 2017. – 760 с.
32. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018 / Вид. офіційне. Мінрегіон України. – К. : Укрархбудінформ, 2018. – 133 с.
33. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навч. посібн. – Суми : ВТД «Університ. книга», 2007. – 280 с.
34. Салтиков В. О. Проектування, монтаж і експлуатація освітлювальних установок : консп. лекцій для студ. електромех. спец. - Х. : Харків нац. ун-т міськ. госп., 2020. - 95 с.

35. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку :
Матеріали 20-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 9–
10 жовтня 2018 р. – К. : Вид. дім «Гельветика», 2018. – 536 с.
36. Шестеренко В. Є. Електропостачання промислових підприємств : посібн.
для курс. та дипл. проект. / В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. - К. : Нова
книга, 2013. - 424 с.
37. Якість електричної енергії. Терміни та визначення : ДСТУ 3466–96. – [Чинний
від 1998–01–01]. – К. : Держкомстандартизації, 1997. – 35 с. (Державний
стандарт України).
38. Яковлев В. Ф. Проектування систем електрифікації технологічних процесів
на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення : навч. посібн. / В. Ф.
Яковлев, Р. В. Кушлик, С. О. Квітка; за заг. ред. Яковлева В. Ф. - Мелітополь,
2010. - 106 с.

ДОДАТКИ

Дослідження впливу технологічних агрегатів на якість електроенергії у мережі промислового підприємства

Дослідження спектрів вищих гармонік

Зварювальні випрямлячі чинять негативний вплив на роботу іншого електроустаткування.

На рис. 1 зображено спотворення кривої напруги зварювальними апаратами. Вищі гармоніки струму збільшують коефіцієнт нелінійних спотворень напруги K_U мереж, доводячи його до 7 % і вище. Значення коефіцієнта нелінійних спотворень струму $THDi$ при роботі зварювальних джерел живлення лежить в діапазоні (8-120) %, а напруги K_U - (2-7) %, що свідчить про погану електромагнітну сумісність з більшістю однофазних зварювальних джерел живлення. Особливо небезпечна генерація третьої і кратних їй гармонік струму.

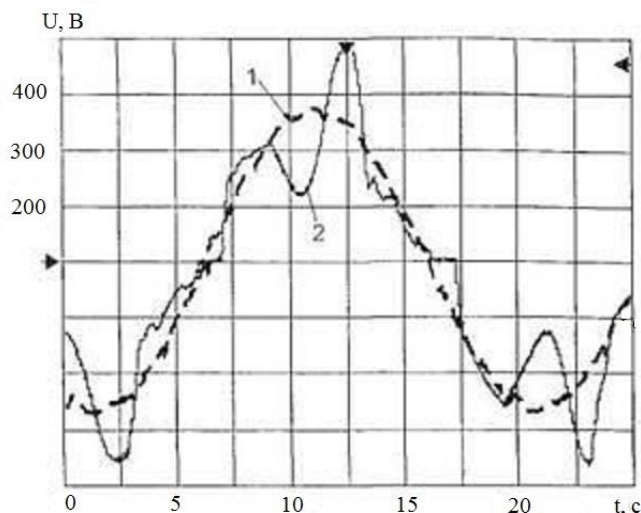


Рисунок 1 - Спотворення кривої напруги зварювальними апаратами:

- 1 - крива напруги мережі;
- 2 - крива спотворення напруги мережі

Найбільш широкий спектр вищих гармонік струму генерують зварювальні інвертори, які значно спотворюють синусоїдну форму струму і напруги мережі, що вимагає обов'язкового застосування фільтрів вищих гармонік струму.

Дослідження спотворення напруги при роботі потужних випрямлячів

Зварювальні апарати створюють безперервні по спектру частот складові, для кожного режиму свої. Тривалість кожного процесу варіюється від однієї до декількох секунд залежно від типу зварювального апарату [16; 30]. Коливання і спектр гармонік в типовому процесі роботи дугового зварювання, виміряні на вторинній обмотці трансформатора, приведені на рис. 2.

У [13; 15] було проведено дослідження таких зварювальних джерел живлення, що живляться від однофазної мережі змінного струму частотою 50 Гц.

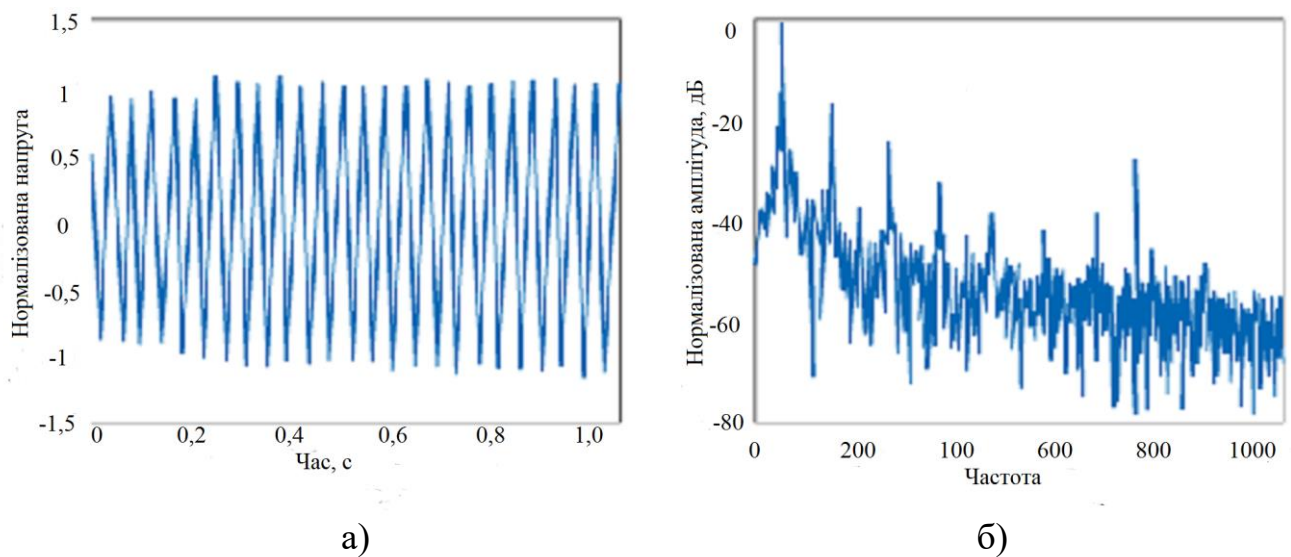


Рисунок 2 - Коливання і спектр гармонік в типовому процесі роботи дугового зварювання, виміряні на вторинному контурі трансформатора:

Для інверторного джерела живлення ВДИ-L - 200 в живлячій мережі виражені практично усі непарні гармоніки струму, зокрема, 3-я гармоніка струму, що становить 75% від 1-ої гармоніки; 5-а - 39%; 7-а - 10%; 9-а - 8%; 11-а - 7%. Непарні гармонік напруги, що перевершують 1%: 3-а - 5,2%; 5-а - 2,2 %; 7-а - 1,4%. Коефіцієнти нелінійних спотворень струму і напруги цього джерела живлення рівні: $THDi = 86 \%$; $K_U = 6,0 \%$.

Для зварювального трансформатора СТШ-250 із стабілізатором горіння зварювальної дуги в живлячій мережі виражені 3-я гармоніка струму, що становить 15 % від 1-ої гармоніки, і 5-а - 2 %; інші непарні гармоніки струму не перевершують 1 %. Непарні номери гармонік напруги мають значення: 3-я - 3%; 5-а - 1%; 9-а - 1 %.: $THDi = 169 \%$; $K_U = 3 \%$.

Для джерела живлення з конденсаторним помножувачем напруги ВДУ-125-УЗ в живлячій мережі виражені 3-я гармоніка струму, що становить 16% від 1-ої гармоніки, і 5-а - 5%; інші непарні гармоніки струму не перевершують 1%. Непарні номери гармонік напруги, що перевищують 1 %, мають значення: 3-я - 2%; 5-а - 1%.: $THDi = 17\%$; $K_U = 2 \%$.

Однофазні зварювальні апарати на відмінність від трифазних значно завантажують нульовий провід, не призначений для великих навантажень, вищими гармоніками струму нульової послідовності.

Дослідження електромережі підприємства при роботі потужних спотворювачів

Для отримання експериментальних даних за допомогою пристрою контролю параметрів якості електричної енергії УК-1 були вибрані різні по принципу роботи і потужності зварювальні трансформатори. Експерименти проводилися для різних режимів роботи трансформаторів: – режим холостого ходу; – режим короткого замикання.

Спектрограми n -х гармонійних складових напруги для зварювального трансформатора S - MIG - 160, зняті для електромережі, приведені на рис. 3.

Видно, що коефіцієнти n -х гармонійних складових напруги $K_{U(n)}$ за час виміру були такими: у режимі холостого ходу зростають 7, 11, 13, 23 і 25-а гармонійні складові, а в режимі короткого замикання - 2-6-а; 8-10-а і 15-а гармоніки.

Короткочасна доза флікера PSt за час виміру виходила за межі допустимих значень і для фази А складала 7,8 у. о.

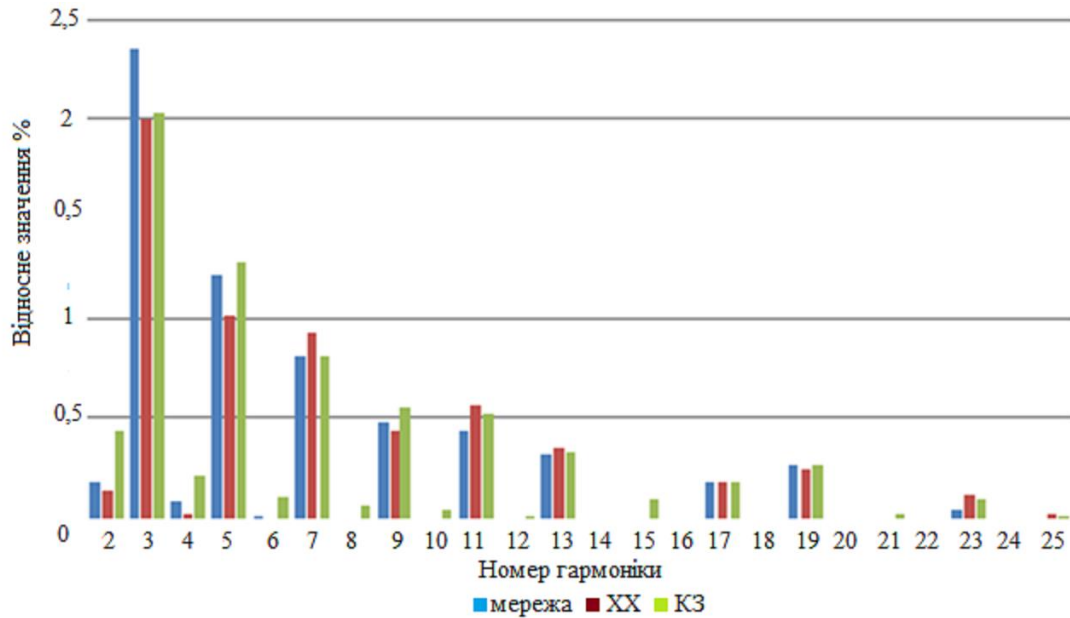


Рисунок 3 - Звідний спектр вищих гармонік напруги електромережі, знятий при трьох режимах

Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги K_U по фазі А за час виміру не перевищував 4% (при нормально і гранично допустимих значеннях для номінальної напруги 0,38 кВ, рівних 8 і 12 %).

Тривалість провалів напруги t_n за час виміру перевищувала значення, встановлені ГОСТ 13109-97. При цьому у фазі А за час виміру зареєстровано 23 провали напруги тривалістю більше 100 мс. Тривалість провалів напруги за час виміру знаходилася в діапазоні від 10 до 320 мс.

Дослідження впливу спотворення напруги електромережі на роботу технологічного електроустаткування

Вищі гармоніки напруги і струму несприятливо впливають на електроустаткування, створюючи додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах і мережах, скорочуючи термін служби ізоляції електричних машин і апаратів, підвищуючи аварійність в кабельних мережах, викликаючи збої в роботі систем релейного захисту, автоматики, телемеханіки і зв'язку.

Також вищі гармоніки напруги і струму впливають на значення коефіцієнта потужності, крутного моменту електродвигунів.

Якість діелектрика кабелів характеризується струмом витоку, що визначає втрати в ізоляції кабелю. Вимірами [8; 9] встановлено, що при $K_U = 6,9\%$ за 2,5

року струм витоку зростає на 34%, а через 3,5 року на 42%.

При несинусоїдальній напрузі спостерігається прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, конденсаторів і кабелів в результаті підвищеного нагріву струмоведучих частин, а також безповоротних фізико-хімічних процесів, що протікають під впливом електричних полів, що створюються вищими гармоніками струму.

Вплив на терміни служби машин, що обертаються, проявляється в основному через перевищення температури обмоток над допустимим значенням, що викликає прискорене старіння ізоляції. Нагрів обмоток обумовлений одночасною дією температури довкілля, відносного завантаження машини по потужності β_m , відхиленням напруги δU , напругою зворотної послідовності U_2 і вищих гармонік U_v . Чотири останні параметри визначають перевищення температури обмоток над температурою довкілля.

Найбільший нагрів відбувається при повному завантаженні двигуна $\beta_m = 100\%$ і нижній межі допустимого відхилення напруги $\delta U = -5\%$. На підставі досліджень [8; 9], запаси температурної дії по завантаженню двигуна A_β і по коливаннях напруги $A_{\delta U}$ можна визначити згідно виразу (1) як результат дії напруги зворотної послідовності і вищих гармонік v :

$$A_{2,v} = 120 \sqrt{K_{2U}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{\sqrt{v}}}. \quad (1)$$

Таблиця 1 - Запас температурної дії по завантаженню двигуна

Завантаження електродвигуна $\beta_m, \%$	100	90	80	70	60
Запас $A_\beta, \%$	0	3,2-5,3	5,7-9,1	7,1-13	8,9-14

Таблиця 2 - Запас температурної дії по відхиленню напруги

Колівання напруги $\delta U, \%$	-5	0	+5	+10
Запас $A_{\delta U}, \%$	0	5,4-8,7	6,7-11	7,1-13

Додаткові втрати активної потужності, зумовлені несиметрією і несинусоїдністю напруги, не залежать від навантаження двигунів і визначаються з виразу [8]:

$$\Delta P_{\text{АД}} = \Delta P_{\text{М1НОМ}} \cdot k_{\text{п}}^2 \left(2,41 \cdot K_{2\text{U}}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \cdot \frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right), \quad (2)$$

де $\Delta P_{\text{М1НОМ}}$ - втрати в міді статора при ном. струмі основної частоти;

$k_{\text{п}}$ – кратність пускового струму при ном. напрузі основної частоти;

$K_{2\text{U}}$ – коефіцієнт несиметрії напруги, рівний відношенню напруги зворотної послідовності до номінальної;

U_v – відношення напруги v -ої гармоніки до номінальної;

знак «+» під знаком кореня відповідає симетричним складовим гармонік, що створюють поля обертання, зустрічні полю основної гармоніки, а знак «-» - попутні.

Для практичних розрахунків використовується така формула додаткових втрат [8]:

$$P_{\text{АД дод}} = \left(k_2 \cdot K_{2\text{U}}^2 + k_{\text{Г}} \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \frac{P_{\text{н}}}{10^4}, \quad (3)$$

де $P_{\text{н}}$ - ном. потужність електродвигуна.

Для асинхронних двигунів значення коефіцієнтів визначають згідно формул [8]:

$$k_2 = 2,41k_{\text{д}}; \quad (4)$$

$$k_{\text{Г}} = 2k_{\text{д}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт $k_{\text{д}}$ залежить від номінальної потужності двигуна і визначається з виразів:

$$\begin{aligned} &\text{при } P_{\text{н}} \leq 5 \text{ кВт, } k_{\text{д}} = 3 + 0,3(5 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } 5 < P_{\text{н}} \leq 100 \text{ кВт, } k_{\text{д}} = 1 + 0,02(100 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } 100 < P_{\text{н}} \leq 1000 \text{ кВт, } k_{\text{д}} = 0,4 + 0,0007(1000 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } P_{\text{н}} > 1000 \text{ кВт, } k_{\text{д}} = 0,4. \end{aligned} \quad (6)$$

Додаткове перегрівання обвиток АД, зумовлене несиметрією і несинусоїдністю живлячої напруги, обчислюється за формулою:

$$\Delta T = \frac{\Delta P_{\text{М1НОМ}} k_{\text{п}}^2}{B} \left(1,55 K_{2\text{U}}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \frac{\sqrt{v} + 0,39\sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right), \quad (7)$$

де B - тепловий параметр асинхронного двигуна.

Тривалість служби ізоляції визначається згідно емпіричної формули [9]:

$$Z = C e^{-b\theta}, \quad (8)$$

де C і b - постійні коеф. для цього виду ізоляції;

θ - температура ізоляції.

Відносне значення тривалості служби ізоляції при температурі θ :

$$z = \frac{Z}{Z_{\text{ном}}} = e^{-b\Delta\tau}, \quad (9)$$

де $Z_{\text{ном}}$ - тривалість служби при номінальній температурі;

$\Delta\tau = \theta - \theta_{\text{ном}}$ - перевищення температури.

Зазвичай використовується спрощена формула для тривалості служби ізоляції :

$$z = \exp \left[-280 \cdot \left(1,55 \cdot K_{2U}^2 + 1,39 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \right], \quad (10)$$

Величина, зворотна z , називається кратністю зниження терміну служби:

$$\gamma = \frac{1}{z} = e^{b\Delta\tau} = e^{k_{\text{ном}}}, \quad (11)$$

де $k_{\text{ном}}$ - коефіцієнт спотворення.

Для асинхронних двигунів

$$k_{\text{ном}} = 389 \cdot K_{2U}^2 + 434 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}}. \quad (12)$$

При несиметрії напруги в 2% термін служби АД скорочується на 11%, трансформаторів — на 4% [4]. Для того, щоб уникнути додаткового нагріву, навантаження двигуна (момент на валу) має бути понижене. При номінальному навантаженні трансформатора і коефіцієнті несиметрії струмів рівному 0,1 термін служби ізоляції трансформатора скорочується на 16%.

Улаштування виокремленої ділянки електромережі для роботи технологічного обладнання з ЧПУ

На листі «Схема електричних з'єднань пристрою покращення якості електроенергії» подана розроблена на основі мікропроцесорного регулятора типу BR6000-6R/T фірми "Ercos" схема принципова електричних з'єднань пристрою покращення якості електроенергії та перелік його елементів. Вузли в кількості 2-х штук вмонтовуються у місці розташування розподільчих пристроїв електромережі (РП1 та РП2), до якої під'єднуються технологічні установки, що вимагають особливу якість електроенергії, наприклад, мікропроцесорні пульти управління верстатів з числовим програмним управлінням.

Схема побудована за тим же принципом, що й фільтро–компенсуючі пристрої на основі антирезонансних дроселів та послідовно сполучених з ними фазних конденсаторів.

Антирезонансний дросель характеризується значним опором на частоті гармоніки. Індуктивний характер опору конденсаторної батареї на частоті гармоніки зумовлює те, що резонансний контур «конденсатор–індуктивний опір дроселя» більше не утворюється: струм гармоніки не підсилюється, а послаблюється.

На частоті першої гармоніки контур «дросель–конденсатор» має тільки ємнісний (невеликий по модулю) опір. Більше всього використовують антирезонансні дроселі з коефіцієнтами відлаштувань: $p = 5,6\%$; 7% та 14% . Так, при коефіцієнті відлаштування дроселя $p = (f_I / f_R) \cdot 100\% = 14\%$, де f_I - частота струму мережі, $\Gamma\text{ц}$; f_R - частота резонансу послідовної системи «дросель–конденсатор», при $f_I = 50 \Gamma\text{ц}$ маємо $f_R = 135 \Gamma\text{ц}$ (тип дроселя: B44066-D1405-S400; $16,8\text{мГн}$; $135\Gamma\text{ц}$).

Мікропроцесорний регулятор забезпечує інтелектуальний контроль параметрів мережі. Управління тиристорними (релейними) контакторами (тип: TSM-C) оптимізоване таким чином, що заданий коефіцієнт потужності досягається мінімальним числом команд.

Технічні дані регулятора BR 6000–6R/T:

- комп'ютерний інтерфейс RS–232;

- індикація вищих гармонік;
- два реле на виході: аварійного контакту та контролю температури;
- рідкокристалічний індикатор з підсвіткою: 2 ряди по 12 символів;
- багатопрофільне меню;
- для живлення регулятора та заміру струму достатньо використання однієї фази трифазної мережі;
- запам'ятовується така інформація: кількість комутацій, максимальні значення напруги, активної, реактивної та повної потужності, а також температура.

Таким чином, за допомогою даного мікропроцесорного пристрою може бути створено виокремлену систему електропостачання в умовах дії інтенсивних навантажень виробничого характеру, що неминуче спотворюють показники якості електроенергії, із окремими двома лініями підвищеної якості електроенергії, утвореними за допомогою вузлів якості електроенергії по місцю розташування комплексу комп'ютеризованого та іншого високоточного технологічного обладнання з ЧПУ.

Пристрій покращення якості електроенергії розроблений на базі компонентів фірми "Ercos": мікропроцесорного регулятора BR 6000-6R/T на *шість* виходів комутації з індикацією показників якості; шести дроселів антирезонансних В 44066–D 5005–S 400 (3 шт.: 6,12 мГн; 210 Гц) та В 44066–D 1405–S 400 (3 шт.: 6,8 мГн; 135 Гц); *шести* блоків фазних конденсаторів (по три у блоці) МКК 400-D-05-01 (16 мкФ; 5,0 кВ·Ар; 7,2 А), *шести* контакторів тиристорних TSM-C.

Розроблені блоки скомплектовані попарно на кожну фазу і працюють як фільтрокомпенсуючі пристрої. На виході пристрою утворюється трифазна система напруг нормованої якості електроенергії.

Слід зауважити, що фільтрація вищих гармонік є смуговою і вимагає попереднього дослідження електромережі на наявність тих чи інших гармонічних складових.