



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)

« 01 » жовтня 2021 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 Шелеверу Ярославу Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва відливоч у ТзОВ «Механічно-ливарний завод»

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 29 » вересня 2021 року № 4/7-807

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план основного виробництва в існуючих осях виробничого корпусу підприємства; характеристика та перелік наявних потужностей; електроживлення основного виробництва здійснити від існуючих потужностей КТП; однолінійна схема електропостачання підприємства; існуючі схеми живлення електроприймачів

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. Схема розміщення потужностей основного виробництва

1л. ф – А1

2. Схема електричних з'єднань системи електропостачання

1л. ф – А1

3. Однолінійна схема ВРП системи електропостачання виробництва

1л. ф – А1

4. Однолінійна схема системи електропостачання ливарної дільниці

1л. ф – А1

5. Однолінійна схема системи електропостачання дільниці мехобробки

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                                     | Вакуленко О.О., старший викладач          |                |                  |
|   |   |                |                  |
|   |   |                |                  |
|   |   |                |                  |
|   |   |                |                  |
|   |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 04 жовтня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи                               | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1     | Вступ   | 11.10.2021                     |          |
| 2     | Аналітичний розділ                                | 18.10.2021                     |          |
| 3     | Розрахунково-дослідницький розділ                 | 01.11.2021                     |          |
| 4     | Проектно-конструкторський розділ                  | 15.11.2021                     |          |
| 5     | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 22.11.2021                     |          |
| 6     | Висновки  | 29.11.2021                     |          |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки                  | 06.12.2021                     |          |
| 8     | Оформлення графічної частини                      | 13.12.2021                     |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Шелевер Я. І.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сисак І. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Шелевер Я. І.** Забезпечення ефективності системи електропостачання виробництва відливок у ТзОВ «Механічно-ливарний завод». 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. група ЕЕМ–61. - ТНТУ, 2021.

Стор. - 81; рис. - 4; табл. - 10; креслень - 6; джерел - 29; додатків -.

У кваліфікаційній роботі розроблені заходи підвищення ефективності системи електропостачання комплексу високотехнологічного обладнання з числовим програмним управлінням для ливарного виробництва.

Проведений аналіз комплексу проблем ефективності функціонування систем електропостачання промислових підприємств з низьким рівнем якості електроенергії та визначені методи їх вирішення.

Досліджені особливості побудови схем електропостачання у мережах з вищими гармоніками. Подані математичні моделі додаткових втрат активної потужності та тривалості служби ізоляції.

Розроблений вузол покращення якості електроенергії для виокремленої системи живлення апаратури керування верстатами з числовим програмним управлінням в умовах ливарного виробництва.

Проведений розрахунок електричних навантажень виробничого обладнання, освітлення, потужності ввідно-розподільчого пристрою та силового трансформатора.

Здійснений вибір площі перерізу проводів і жил кабелів, а також захисної апаратури електромережі ливарного виробництва.

**Ключові слова:** ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ВИЩІ ГАРМОНІКИ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 7  |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....  | 10 |
| ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В<br>МАШИНОБУДІВНУ ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ .....  | 10 |
| 1.1 Використання верстатів з числовим програмним керуванням ....  | 10 |
| 1.2 Створення гнучкого автоматизованого виробництва .....   | 12 |
| 1.3 Ефективність функціонування систем електропостачання<br>промислових підприємств та методи її підвищення ..... | 14 |
| 1.4 Технологічний процес ливарного виробництва у ТзОВ<br>«Механічно- ливарний завод» .....                        | 19 |
| 1.5 Визначення категорії надійності і вибір схеми силової мережі ...  | 21 |
| 1.6 Загальна характеристика основного виробництва .....   | 22 |
| 1.7 Загальна характеристика електроспоживання ливарного<br>виробництва .....                                      | 24 |
| 1.8 Висновки до розділу .....   | 24 |
| 2 РОЗРАХУНКОВО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....   | 26 |
| 2.1 Вихідні дані для розрахунку та загальна характеристика<br>електроприймачів .....                              | 26 |
| 2.2 Складання схеми електропостачання ливарно-механічного<br>виробництва .....                                    | 27 |
| 2.3 Розрахунок електричних навантажень ливарно-механічного<br>виробництва .....                                   | 28 |
| 2.4 Розрахунок центрів електричних навантажень .....  | 30 |
| 2.5 Визначення розрахункових навантажень виробничого<br>обладнання .....  | 32 |
| 2.6 Розрахунок електричного освітлення діляниць .....   | 36 |
| 2.7 Розрахунок навантаження щитків освітлення .....   | 39 |
| 2.8 Розрахунок потужності ввідно – розподільчого пристрою .....   | 40 |
| 2.9 Вибір місця встановлення та розрахунок навантаження силового<br>трансформатора .....                          | 40 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.10 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності ливарного виробництва .....      | 41        |
| 2.11 Вибір марки і перерізу високовольтних живильних струмоведучих частин .....                        | 42        |
| 2.12 Висновки до розділу .....   | 44        |
| <b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....</b>  | <b>45</b> |
| 3.1 Вибір площі перерізу проводів і жил кабелів .....  | 45        |
| 3.2 Кабельний журнал .....   | 47        |
| 3.3 Вибір захисної апаратури електромережі виробництва .....   | 47        |
| 3.4 Проектне рішення .....   | 52        |
| 3.5 Максимальні струми кіл навантаження силового трансформатора .....                                  | 53        |
| 3.6 Вибір електрообладнання трансформаторної підстанції й низьковольтної електромережі .....           | 59        |
| 3.7 Перевірка струмопровідних частин на термічну стійкість .....                                       | 62        |
| 3.8 Особливості побудови схем електропостачання у мережах з вищими гармоніками .....                   | 62        |
| 3.9 Висновки до розділу .....  | 67        |
| <b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>                                       | <b>69</b> |
| 4.1 Заходи електробезпеки при експлуатації електроустановок на ливарно–механічному виробництві .....   | 69        |
| 4.2 Вплив шуму на організм людини і розроблення заходів щодо зниженню рівня шуму у виробництві .....   | 71        |
| 4.3 Заходи пожежної безпеки на ливарно–механічному виробництві .....                                   | 72        |
| 4.4 Підвищення стійкості ливарно–механічного виробництва в умовах можливих надзвичайних ситуацій ..... | 74        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>  | <b>79</b> |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підвищення ефективності систем енергопостачання є одним з пріоритетних завдань електроенергетики. Увага до цієї теми зумовлена необхідністю збереження енергоресурсів, виключення їх втрат, зниження аварійних ситуацій на виробництві [7].

Висока частка втрат електроенергії у системах електропостачання промислових підприємств, що сягає за деякими підрахунками (15 ... 17)% виникає, в основному, через експлуатацію застарілого та зношеного обладнання, стан якого вимагає термінового ремонту, а також через відсутність впровадження контрольних автоматизованих систем стеження та регулювання витрат електроспоживання та невідповідності сучасним вимогам стандартів обліку [3].

Одним із проявів підвищених втрат електроенергії є погіршення її якості внаслідок наявності в електромережах вищих гармонійних складових напруги основної частоти. Наявність вищих гармонік зумовлює такі небажані прояви:

- утруднення компенсації реактивної потужності за допомогою установок з конденсаторними батареями;
- поява додаткових втрат в електричних машинах, трансформаторах та електромережах;
- скорочення терміну служби ізоляції електричних машин та апаратів;
- погіршення роботи пристроїв автоматики, релейного захисту, телемеханіки та зв'язку;
- поява значної додаткової похибки лічильників електроенергії та інших вимірювальних приладів [23].

Наявність вищих гармонік в електромережі створює додаткові проблеми для сучасного високотехнологічного обладнання, наприклад, ливарно-механічного, в якому широко застосовуються комплекси з числовим програмним управлінням. Для забезпечення живлення систем управління такими комплексами в умовах ливарно-механічного виробництва необхідна виокремлена електромережа з підвищеною якістю електроенергії.

Таким чином, нагальною необхідністю є запровадження саме в розподільчих мережах енергозберігаючих заходів різноманітного рівня:

модернізація та реконструкція діючих схем живлення трансформаторних підстанцій та електроустановок; вирівнювання нерівномірних добових графіків електричних навантажень; енергоефективна експлуатація трансформаторів підстанцій; врахування показників якості електроенергії при аналізі режимів систем електропостачання [22].

Оскільки значна частина електроенергії в Україні споживається промисловими підприємствами, то розробка заходів із забезпечення енергоефективності систем електропостачання виробництв різного типу для зменшення втрат електроенергії залишається актуальною тематикою.

**Мета і завдання дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності системи електропостачання підприємства з технологією ливарно-механічного виробництва, в якому використовується технологічне обладнання з числовим програмним управлінням реконструкцією схеми електромережі, яка забезпечить підвищення якості електроенергії та відповідатиме вимогам з енергозбереження.

Поставлена в кваліфікаційній роботі мета вимагає вирішення таких задач:

- аналіз заходів щодо зменшення втрат електроенергії на підприємствах з сучасними високотехнологічними комплексами;
- аналіз математичних моделей впливу погіршення якості електроенергії на втрати в електрообладнанні;
- аналіз ефективності схемо–технічних рішень підвищення якості електроенергії для живлення керуючих пристроїв ливарно-механічного обладнання з числовим програмним управлінням;
- розрахунок навантажень електроспоживачів, силової та освітлювальної електромережі підприємства, вибір потужності трансформаторів;
- розрахунок робочих і максимальних струмів, оптимального січення кабельно–провідникової продукції та захисної апаратури електромережі.

**Об’єкт дослідження** - процес зменшення втрат електроенергії в електромережі підприємства з технологією виробництва відливок.

**Предмет дослідження** - показники ефективності заходів підвищення якості електроенергії для забезпечення електропостачання технологічного обладнання з числовим програмним управлінням.



### **Наукова новизна отриманих результатів.**

– Отримало подальший розвиток застосування методів дослідження електромереж промислових підприємств з високотехнологічними виробничими комплексами та низьким рівнем якості електроенергії.

– Запропонована для подальшого дослідження модель для розрахунку втрат потужності та тривалості експлуатації електрообладнання.

– Запропонований для подальшого дослідження спосіб утворення виокремленої електромережі на промисловому підприємстві з підвищеним рівнем якості електроенергії.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Використання схемо–технічного рішення виокремленої електромережі для живлення комплексів з числовим програмним управлінням суттєво знизить втрати електроенергії та підвищить строк експлуатації електрообладнання.

**Апробація.** Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на X-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [23].

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (29 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 81 стор., 10 табл., 4 рис.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МАШИНОБУДІВНУ ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ

На сучасному етапі науково-технічного прогресу нові технології в машинобудуванні з'являються все частіше. Це зумовлено черговим етапом прогресу, який, насамперед, гостро спрямований на виробничу діяльність. Машинобудування є величезною галуззю з безліччю напрямків, куди входять такі як: дизайн та виробництво транспорту, робототехніка, виготовлення промислових верстатів, побутові прилади, радіотехніка, електротехнічна промисловість та ін.

Основоположником сучасного машинобудування справедливо вважаються наукомісткі технології та інновації, що виникають на перетині кількох наук. На даний момент технічний прогрес містить у собі розвиток енергетики, фізичні та хімічні досягнення, комп'ютерні технології, програмні продукти та ін. Це поєднання дозволяє розробляти та виробляти багатокоординатні, гнучкі, багатофункціональні машини та знаходити нові методи їх виробництва.

### 1.1 Використання верстатів з числовим програмним керуванням

Масове виробництво будь-якої продукції характеризується значними затратами робочого часу на виконання допоміжних операцій. Одним із основних напрямків скорочення цих затрат є масове впровадження автоматизації виробничих процесів з використанням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Основна перевага верстатів з ЧПК полягає у суттєвому підвищенні рівня автоматизації основних робочих процесів: участь оператора зводиться до мінімуму, обладнання працює практично автономно. Алгоритм виконання технологічних операцій прописаний у керуючій програмі - верстат самостійно виконує такі дії: переміщення робочих органів; вибір ріжучого інструменту; зміна швидкості та напрямку обертання робочого органу. Слід зауважити, що масштабна автоматизація виробництва аж ніяк не передбачає зниження вимог до

кваліфікації оператора, який повинен не тільки закріплювати заготовки та знімати деталі, а й періодично перевіряти їх розміри, контролювати якість виконаних операцій та зношування інструменту.

Числове програмне керування дозволяє виробляти тисячі одиниць ідентичної продукції з дотриманням стовідсоткової точності розмірів. Щоб потрапити в поле допуску при чистовій обробці посадкового діаметра на токарному верстаті з ручним керуванням, оператору нерідко доводиться кілька разів зупиняти привод і робити проміжні вимірювання. ЧПК дозволяє виконувати повний цикл при постійному обертанні шпинделя. Якщо оператор стежить за якістю ріжучого інструменту, відхилення від заданих розмірів або збільшення шорсткості поверхні виключено. При зміні ріжучого інструменту на «ручному» верстаті оператору доводиться підводити його вручну до поверхні, що обробляється. Це вимагає високої концентрації уваги та гарного зору. У програмі для кожного різця або фрези заданий так званий «нуль інструменту». Верстат сам позиціонує його щодо робочої деталі.

Перевага верстатів з ЧПК у високій продуктивності виконуваних операцій зумовлена не лише зниженням кількості простоїв протягом робочого циклу, а й можливістю точно розрахувати час обробки, збільшити завантаження обладнання. Параметри заготовки та інструменту, відомі керуючій програмі, дозволяють виключити розмітку із циклу обробки. Еволюція самих верстатів з ЧПК дає можливість відмовитися від переустановки заготовок у процесі, тобто виконувати всі операції з однієї бази. Внаслідок цього підвищується продуктивність і точність обробки.

Поряд із очевидними перевагами верстати з ЧПК мають і недоліки. Однак їх можна легко компенсувати ефективною організацією виробництва. Потенційного замовника сучасного верстата з ЧПК найчастіше бентежать такі обставини, як вартість обладнання. Переваги застосування верстатів з ЧПК стають очевидними саме в масовому виробництві. За наявності постійних замовлень капітальні витрати швидко компенсуються. Необхідність оптимізації штату працівників у зв'язку із впровадженням числових технологій не означає скорочення робочих місць. Навпаки, при цьому звільняються найдосвідченіші верстатники від рутинної роботи та можуть бути задіяні у виробництві штучних деталей.

## 1.2 Створення гнучкого автоматизованого виробництва

Основні поняття і номенклатура головних показників гнучких виробничих систем подана в ГОСТ 26228-90 «Системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення». Стандарт дає поняття «гнучкої виробничої системи (ГВС)», характеризуючи її як сукупність автоматизованого технологічного обладнання, яким керують за допомогою засобів обчислювальної техніки. Гнучка виробнича система - це основа ощадливого виробництва будь-якого підприємства, орієнтованого на високоефективну роботу. Сутність такого виробництва в тому, що на одному і тому ж верстаті можна випускати вироби різної номенклатури шляхом заміни затискних з'єднань або прес-форм.

Розрізняють такі види гнучких підсистем:

- конструктивна гнучкість - здатність системи до подальшого нарощування, зміни та об'єднання декількох систем у комплекс;
- номенклатурна гнучкість - адаптація системи до оновлення асортименту та випуску нової продукції;
- технологічна гнучкість - пристосовність до мінливої номенклатури і вимог виробництва: перепрограмування, переналагодження;
- операційна гнучкість - можливість змінювати операційний цикл чи заданий режим обробки, виготовлення виробу;
- інструментальна гнучкість - взаємозамінність інструментів та технологічного оснащення для виробництва при відмові будь-якого з компонентів.

Гнучку виробничу систему вигідно відрізняє можливість оперативного переналагодження, переоснащення обладнання при зміні виробничої програми. Так, підприємство може легко змінювати модельний ряд, скорочувати запаси неліквідних позицій на складі, розширювати асортимент і випускати лише затребувані види продукції. Переваги гнучкої виробничої системи полягають у можливості вибору, додавання або видалення заготовок з виробничого завдання, заміни обладнання за необхідності, а також швидкого впровадження у виробництво будь-яких конструктивних змін.

Підприємство, що використовує ГВС, може випускати різні деталі на своєму виробництві з мінімальними витратами і без істотних втрат. Сучасні промислові виробництва гідно відзначають функціональні можливості такої системи. Використовуючи гнучкі засоби виробництва, підприємство може демонструвати високу продуктивність та адаптивність до мінливих вимог ринку. Безумовно, гнучкість виробництва залежить від можливості застосування сучасних систем, технологій, програмного забезпечення.

Сучасне підприємство з ГВС є високопродуктивним технічним комплексом, що включає обладнання з ЧПК, передові системи промислової автоматизації, робототехнічне обладнання, автоматизовані склади та ін. Очевидно, що високий рівень виробничо-технологічної гнучкості виробництва забезпечується за рахунок автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП). Розрізняють: гнучкий автоматизований завод, цех, дільницю.

Характеристики гнучкого автоматизованого виробництва:

- продуктивність - показник, що характеризує кількість чи обсяг продукції, що випускається за одиницю часу;
- гнучкість - можливість зміни номенклатури та випуску нового виробу в оперативний термін із мінімальними витратами;
- ефективність - показники виробництва, що відображають отриманий результат відповідно до використаних ресурсів.

Поняття «гнучкої автоматизації виробництва» (ГАВ) означає можливість підприємства оперативно та з мінімальними витратами переорієнтувати виробництво на випуск нового виду виробу, застосовуючи засоби АСУ ТП (автоматичне проектування, автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва та ін.). Комплекс засобів автоматизації включає всю сукупність технічних, програмних засобів і компонентів автоматизованої системи.

АСУ ТП - це поєднання технічних, програмних та апаратних засобів, що забезпечує виконання операцій технологічного процесу в автоматичному режимі під керуванням оператора. АСУ ТП може охоплювати як процес виготовлення продукту повністю, так і будь-які технологічні операції окремо: обробка, складування, контроль. Автоматизація виробництва спрямована на підвищення економічної ефективності виробництва шляхом заміни ручних трудомістких

операцій автоматизованими засобами виробництва.

Гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ) здатне у мінімальні терміни виконати проектування та переналагодження для виготовлення нового виду продукції. Зауважимо, що ГАВ відрізняється від ГВС вищим рівнем автоматизації. Автоматизація виробництва з впровадженням гнучких виробничих систем дозволяє поліпшити якість продукції, регулярно оновлювати асортимент, поповнювати товарну номенклатуру новими продуктами за рахунок переналагодження обладнання без зупинки виробництва з мінімальними витратами.

### **1.3 Ефективність функціонування систем електропостачання промислових підприємств та методи її підвищення**

Підвищення ефективності систем енергопостачання (СЕП) – одне з пріоритетних завдань енергетики. Увага до цієї теми зумовлена необхідністю збереження електроенергії, виключення її втрат, зниження аварійних ситуацій на виробництві. Всі ці проблеми є вкрай важливими в сучасних умовах розвитку економіки. Від правильності та оперативності їх вирішення великою мірою залежить конкурентоспроможність підприємства на ринку праці. На даний час існує ціла низка методів підвищення ефективності електропостачання промислових підприємств [7].

Аналіз систем електропостачання та енергетичної ефективності промислових підприємств часто виявляє нераціональні витрати енергоресурсів та невиправдані втрати електричної енергії.

Втрати електроенергії відбуваються безпосередньо під час процесу її передачі в елементах системи електропостачання (трансформаторні підстанції, розподільні пристрої, лінії електропередачі). Висока частка втрат у СЕП промислових підприємств виникає, в основному, через експлуатацію застарілого та зношеного обладнання, стан якого вимагає термінового ремонту, а також через відсутність впровадження контрольних автоматизованих систем стеження та регулювання витрат електроспоживання та невідповідності сучасним вимогам стандартів обліку.

Істотні технологічні втрати електроенергії в СЕП підприємств, як правило, спричинені такими факторами [3]:

- незадовільним станом діючих електричних мереж через зниження обсягів капітальних ремонтів, реконструкції та заміни технічно застарілого та зношеного обладнання;

- вимушеною роботою елементів СЕП у неоптимальних режимах за підвищеного електроспоживання у години максимальних навантажень;

- експлуатацією цехових трансформаторів з низьким коефіцієнтом завантаження;

- наявністю значних перетоків реактивної потужності в електричних мережах, які призводять не тільки до збільшення втрат електроенергії, але й до зниження їх пропускної здатності, збільшення втрат напруги;

- наявністю на підприємстві навантажень, що зумовлюють несинусоїдальність і несиметрію фаз при відсутності заходів щодо їх усунення;

- нераціональними режимами роботи основного електрообладнання;

- застарілими схемами розподільчих мереж;

- стабільною нерівномірністю добових графіків навантажень;

- суттєвими відхиленнями показників якості електроенергії від нормованих значень;

- зростанням числа нелінійних та різкозмінних електроприймачів [3].

Розглянемо деякі методи, які є найбільш практичними та економічно раціональними для підвищення ефективності СЕП промислових підприємств.

1. Модернізація та реконструкція діючих СЕП підприємств, розподільних схем живлення цехових трансформаторних підстанцій (ТП) та електроустановок. Це здійснюється шляхом заміни застарілого електрообладнання на нове з підвищеним ККД та ступенем надійності, запровадження енергозберігаючих технологій. Такий метод є найпоширенішим [22].

2. Вирівнювання нерівномірних добових графіків електричних навантажень. Цей метод дозволяє суттєво зменшити піковий максимум навантаження, що сприяє зниженню втрат та економії електричної енергії в мережі.

3. Енергоефективна експлуатація трансформаторів цехових підстанцій. Якщо трансформатори вичерпали свій ресурс під час експлуатації та необхідна

модернізація застарілих ТП, доцільно їх замінити на трансформатори зі зниженим рівнем втрат, що дає змогу знизити втрати на (20 ... 60)%.

4. Встановлення компенсуючих пристроїв. Установка компенсації реактивної потужності сприяє зниженню: перетікань реактивної потужності; втрат електроенергії в розподільних електромережах і збільшення їх пропускної здатності для під'єднання нових навантажень без збільшення вартості мереж; загальних витрат на електроенергію; навантажень трансформаторних підстанцій, електроустановок та силових ліній; теплових втрат електричного струму; впливу вищих гармонік й несиметрії фаз.

5. Усунення перекосу фазної напруги. Застосування симетруючих пристроїв дозволяє отримати високі енергетичні показники симетрування, а саме: покращити якість електроенергії, підвищити коефіцієнт потужності, компенсувати вищі гармоніки, регулювати напругу.

6. Врахування показників якості електроенергії при аналізі режимів СЕП. Система обліку якості електроенергії забезпечує вимірювання нормованих показників якості електроенергії, обробляє результати вимірювань, накопичує та систематизує дані. Також здійснюються контроль за формуванням звітів та надання аналітичної інформації, на основі яких розробляються заходи щодо підвищення якості електроенергії.

7. Усунення вищих гармонік СЕП та використання відповідних фільтрів. Джерелами вищих гармонік (ВГ) можуть бути [23]:

а) силові електронні апарати: приводи постійного струму з частотним регулюванням, безперебійники, випрямлячі, пристрої плавного пуску двигуна, імпульсні джерела живлення, індукційні печі з тиристорним керуванням та різні напівпровідники;

б) електродугові апарати: дугові печі, обладнання зварювання, ртутні та люмінесцентні лампи;

в) апарати, що працюють у режимі насичення: електродвигуни, електрогенератори, трансформатори та реактори.

Наявність вищих гармонік в СЕП зумовлює такі небажані прояви:

– утруднення компенсації реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей;



- поява додаткових втрат в електричних машинах, трансформаторах та мережах;
- скорочення терміну служби ізоляції електричних машин та апаратів;
- погіршення роботи пристроїв автоматики, релейного захисту, телемеханіки та зв'язку;
- поява значної додаткової похибки лічильників електроенергії та інших вимірювальних приладів.

Основними формами впливу ВГ на СЕП є:

- збільшення струмів та напруг гармонік внаслідок паралельного та послідовного резонансів;
- зниження процесів генерації, передачі та використання електроенергії;
- старіння ізоляції електрообладнання та скорочення внаслідок цього терміну її служби;
- хибна робота обладнання.

Основним способом зниження вищих гармонік напруги та струму в СЕП є використання потужних силових фільтрів. Фільтри можуть бути типу режекторних, тобто налаштованих на одну частоту (при резонансних явищах в СЕП, коли амплітуда однієї з гармонік різко перевищує амплітуду інших ВГ) або смуговими фільтрами низьких частот [26].

Для зниження рівня ВГ найбільш ефективно використання в якості фільтра багатофункціонального пристрою, який, поряд зі зниженням рівня ВГ, виконує роль компенсатора реактивної потужності. Такі пристрої називаються фільтро-компенсуючими пристроями (ФКП). Спочатку розраховують потужність конденсаторної батареї, необхідну для компенсації реактивної потужності, а потім визначають параметри реакторів з умов фільтрації вищих гармонік, що мають місце в СЕП.

8. Використання силових кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену (ЗПЕ). Кабелі ЗПЕ мають високі механічні, діелектричні властивості та більший температурний робочий діапазон, на відміну від інших кабельних ізоляційних матеріалів.

9. Розміщення обладнання, що вимагає значної потужності, ближче до джерела високовольтної лінії живлення. Цей метод доцільний через омичні втрати

потужності живильної мережі, які (при заданій потужності) тим вищі, ніж нижча напруга.

10. Впровадження активно-адаптивних та нейронних мереж з метою управління споживанням електроенергії. Управління споживанням електроенергії включає такі заходи:

- планувати оптимальне споживання електроенергії;
- планувати та проводити оперативний ремонт силових установок;
- змінювати режими навантаження;
- мати повний контроль над втратами електроенергії;
- компенсувати реактивну потужність.

Концепція Smart Grid передбачає поєднання релейного захисту з інформаційно-вимірювальними функціями. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту вимірюють струми та напруги у векторній формі, накопичують дані про спрацьовування та аварійні режими у спеціальних блоках пам'яті. Таким чином, релейний захист перетворюється на своєрідний центр обробки інформації, елемент системи діагностики та моніторингу електрообладнання.

11. Застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ще одним способом підвищення ефективності функціонування електротехнічних комплексів та СЕП підприємств є розвиток розподілу генерації за рахунок відновлюваних джерел енергії (сонячних, вітрових енергетичних установок, малих ГЕС, біогазових установок) [7, 9].

Застосування комбінованих джерел живлення (ВДЕ та централізованої електричної мережі) у системах електропостачання підприємств дозволяє знизити втрати в енергоустановках, тим самим знижуючи втрати у розподільній мережі та електроприводах, підвищити якість електроенергії, що впливає на економічність роботи електроприймачів, забезпечити безперебійність електропостачання.

Таким чином, на кожному промисловому підприємстві повинен здійснюватися індивідуальний підхід до наявних методів вирішення проблеми підвищення ефективності СЕП з кваліфікованою оцінкою обсягів витрат, заощадження та терміну їх окупності. застосування.

#### **1.4 Технологічний процес ливарного виробництва у ТзОВ «Механічно-**

## ливарний завод»

Процес литва є заповненням розплавленим металом, що має форму одержуваної виливки, порожнини в термостійкій виливниці. Для отримання внутрішньої порожнини у виробі у виливниці встановлюється стрижень.

Ливарна технологія містить таке:

- виготовлення моделі виробу;
- виготовлення виливниці та стрижнів, складання виливниці;
- плавку та рафінування металу;
- Розливання металу у виливницю;
- Охолодження відливки;
- звільнення металевої відливки з виливниці та від стрижня;
- видалення зайвого металу з отриманої відливки.

Основні принципи ливарної технології нітрохи не змінилися за тисячі років. Проте деякі її процеси стали механізованими, а окремі – автоматизованими. На зміну дерев'яним моделям прийшли металеві та пластмасові, розроблені нові матеріали для виробництва стрижнів та виливниць, застосовується широкий діапазон сплавів.

Чавун, сталь, латунь та бронза - традиційні для литва сплави. У найбільшому секторі ливарної промисловості виробляються виливки із сірого чавуну та чавуну з кулястим графітом. У цехах з виробництва сірого чавуну використовується чавун (нові чушки) для виготовлення стандартних чавунних виливків. У цехах з виробництва чавуну з кулястим графітом у ковші з розплавленим металом перед його розливом додаються магній, церій або інші присадки (часто звані ковшовими присадками). Вони мають незначний вплив на персонал у робочій зоні.

Решту ливарного сектора чорної металургії займає виробництво сталі та ковкого чавуну. Головні замовники найбільших заводів чорної металургії - автомобільна та будівельна промисловість, виробництво сільськогосподарських знарядь. Кількість робітників, зайнятих у чавуноливарному виробництві, скорочується у міру того, як зменшуються розміри блоків циліндрів двигунів та їх вдається відливати в одній виливниці, а також у зв'язку з витісненням ливарного

чавуну алюмінієм. У виробництві кольорових металів (особливо в алюмінієвому) та литві під тиском зайнята значна кількість робітників. Латунне виробництво (як загального профілю, так і з випуску сантехнічного обладнання) скорочується, проте залишається важливим з погляду профілактики професійних захворювань.

В останні роки у ливарному виробництві використовуються: титан, хром, нікель, магній і, навіть, такі високотоксичні метали як берилій, кадмій та торій.

Хоча можна припускати, що металолivarна галузь виникла при переплавці металу у вигляді болванок або чушок, процеси литва чавуну та сталі на великих установках можуть бути настільки інтегрованими, що розподіл стає менш очевидним. Наприклад, доменна піч, що виробляє вироби для комерційних цілей, може бути переведена на випуск переробного чавуну, але на інтегрованому підприємстві деяка частина чавуну піде на отримання виливків (беручи участь таким чином у ливарному процесі), а інша - на виготовлення сталі. У звичайному чавуноливарному виробництві переплавлення чушкового чавуну включає і рафінування. У ливарному виробництві кольорових металів часом потрібне додавання металів та інших речовин, що є процесом легування.

Загальний опис технологічного процесу. За кресленнями конструкторів створюється модель кінцевої металевої виливки. Таким же чином виготовляються стрижні, необхідні для отримання внутрішньої конфігурації готового виробу. Лиття в піщані форми - найбільш широко використовуваний метод, але застосовуються інші прийоми. До них відносяться такі: кокільне лиття з використанням чавунних чи сталевих виливниць; лиття під тиском (розплавлений метал (часто легкий сплав) подається в металеву виливницю під тиском; лиття за моделями, що виплавляються (для кожної виливки виготовляється воскова модель, що покривається вогнетривким матеріалом; вона стає виливницею). Для отримання алюмінієвих виливків використовуються разові шаблони зі спіненого полістиролу в піщано-глинистій суміші (технологія з полістиролом, що видаляється).

Метали або сплави готуються в печі - вагранці, карусельній, відбивній, тигельній, електродуговій, індукційній електричній каналній типу або індукційній тигельній. Виконуються відповідні металургійні чи хімічні аналізи. Розплавлений метал заливається в зібрану виливницю або з ковша або

безпосередньо з печі. Після охолодження металу виливниця і стрижневий матеріал видаляються (вибивні ґрати, стрипер, вставний постійний стрижень); вилівок очищається і обробляється (видалення ливників і випорів, дробоструминне очищення, гідроструминне очищення, а також інше абразивне оздоблення). У деяких випадках виливки піддаються остаточній доробці за допомогою зварювання, термообробки або фарбування.

### **1.5 Визначення категорії надійності і вибір схеми силової мережі**

На ливарній дільниці й мехобробки розташоване обладнання, в складі якого є спеціалізовані ЕОМ зі спеціальними програмами обчислень. Якщо тимчасово припиняється подача електроенергії, це призводить до зупинки всього комплексу робіт, спеціалізована ЕОМ дає збій, що потребує повний перезапуск системи з повторним встановленням «нулів» програми обчислень. На це витрачається певний час, втрачається певна інформація та зменшується продуктивність ливарного обладнання. Тому ливарне обладнання з системами ЧПК слід віднести до 2-ї категорії споживачів.

Перерва в подачі електроенергії на ливарні машини та верстати механічної обробки деталей у момент проведення технологічних операцій небезпечна тим, що в робочій зоні залишаються відливки металів у навантаженому стані. Протягом відсутності електроенергії відливка металу є потенційним джерелом ушкодження як обслуговуючого персоналу, так і самого обладнання. Тому ливарні машини та верстати механічної обробки деталей також відносимо до 2-ї категорії споживачів.

Припинення подачі електроенергії на плавильні установки порушує встановлений тепловий баланс, що зумовлює похибки при замірах їх теплового режиму та прямі втрати металу. Тому теплові установки відносимо до 2-ї категорії споживачів.

Оскільки живлення системи електропостачання ливарного виробництва здійснюється одним кабелем від цехової ТП, а окреме живлення електроенергією для допоміжного обладнання проводити економічно не вигідно, то систему електропостачання споживачів всього виробництва відносимо до 2-ї категорії

споживачів з електропостачання.

На плані виробничого приміщення ливарно-механічного комплексу відмічаємо місця розташування обладнання. Електричне живлення виробничого обладнання будемо здійснювати за допомогою кабелю, прокладеного від КТП підприємства до ввідно – розподільчого пристрою (ВРП), вздовж стін на кабельних полицях. Електроприймачі дільниць будемо заживлювати двома розподільчими пристроями (РП1–РП2) за допомогою проводів, прокладених у трубах. Від ВРП електроенергія буде поступати також на щитки освітлення (ЩО1–ЩО2–ЩО3–ЩО4), від яких будемо заживлювати освітлювальні прилади та розетки всього виробництва.

## **1.6 Загальна характеристика основного виробництва**

На листі *Схема розміщення потужностей. Заземлення* подана схема розміщення потужностей ливарного виробництва у складі:

- ливарно–ковальської дільниці;
- дільниці механооброблювальних робіт;
- дільниці руху транспорту.

На ливарно–ковальській дільниці розташоване таке обладнання:

– машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ типу J–214 - 2 шт.  
(поз. 1.1, 1.2);

– машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ типу J–116 E - 1 шт. (поз. 1.3);

– машина ливарна з холодною камерою пресування типу A 711 A 08 - 1 шт.  
(поз. 1.4);

– верстат для фігурного формування по металу типу PRI–60 - 1 шт.  
(поз. 1.5);

– верстат для фігурного формування по металу типу TR 3–25 - 1 шт.  
(поз. 1.6);

– прес гідравлічний ковальський з ЧПУ типу GPI–16 - 2 шт. (поз. 1.7, 1.8).

На дільниці механо-оброблювальних робіт розташоване таке обладнання:

– верстат лазерно–гравірувальний з ЧПУ типу MARK–III–B - 1 шт.

(поз. 2.1);

- верстат універсально–заточувальний типу 3Д 642Е - 1 шт. (поз. 2.2);
- центр 3D–оброблювальний з ЧПУ типу VDL–1000 - 2 шт. (поз. 2.3, 2.4);
- верстат токарно–карусельний з ЧПУ типу TFM–100V - 2 шт. (2.5, 2.6);
- верстат фрезерувальний з ЧПУ типу BMV–850/1000 - 1 шт. (поз. 2.7);
- верстат свердлильний з ЧПУ типу ОФ–100 Ф2 - 1 шт. (поз. 2.8);
- верстат горизонтально–розточувальний з ЧПУ типу 2В 623 ПМФ 4 - 1 шт.

(поз. 2.9);

- прес гідравлічний обрубний типу GHT–35 - 1 шт. (поз. 2.10).

Одним із заходів з охорони праці на робочих місцях даного виробництва з шкідливими викидами є встановлення місцевих витяжних вводів, об'єднаних єдиною витяжною системою з приточно-витяжними пристроями типу W4E370-CP06-31 та кнопками управління - постами кнопковими ПКЕ 222-2У2.

Місцеве освітлення робочих місць оснащено світильниками типу НКП 03–60.

Всі одиниці виробничого обладнання об'єднані єдиною системою контурного заземлення.

## **1.7 Загальна характеристика електроспоживання ливарного виробництва**

Основне споживання електричної енергії здійснюється електродвигунами виробничого устаткування, насосами, вентиляторами, електричним освітленням ділянок виробництва.

Електричне живлення виробничого обладнання здійснюється силовими кабелями від комплектної двотрансформаторної підстанції 10/0,4 кВ потужністю 1000 кВ·А, розташованої у виробничому корпусі підприємства. Основним джерелом електропостачання є комплектна підстанція «Нововолинськ» 35/10 кВ потужністю 4000 кВ·А. Ливарно–механічне виробництво має загальну встановлену потужність електроприймачів основного й допоміжного обладнання 200 кВт.

Енергетична служба підприємства займається обслуговуванням

технологічних електроприймачів та електрообладнанням системи електропостачання. Керує службою - інженер-енергетик; у нього в підпорядкуванні є: майстер електродільниці, два електрики й електрослюсар КВПіА,

## **1.8 Висновки до розділу**

Поданий аналіз використання верстатів з числовим програмним керуванням й гнучких автоматизованих виробництв для виготовлення відливок на ливарно-механічному виробництві.

Проаналізований комплекс проблем ефективності функціонування систем електропостачання промислових підприємств та визначені методи її підвищення.

Розглянуті основні засади технологічного процесу ливарного виробництва.

Обґрунтований підхід до віднесення окремих дільниць ливарного виробництва до певної категорії надійності й проведений вибір схеми силової мережі.

Подана загальна характеристика основного виробництва, його величини споживання й схеми розміщення виробничих потужностей та системи електропостачання підприємства.



## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вихідні дані для розрахунку та загальна характеристика електроприймачів

Вихідні дані для розрахунку системи електропостачання наведені в розділі 1. Згідно з цими даними основне виробництво ТзОВ «Механічно-ливарний завод» представлено такими дільницями:

- ливарно–ковальська дільниця;
- дільниця механо–оброблюваних робіт.

В табл. 2.1 наведений перелік потужностей ливарно-механічного виробництва згідно плану їх розміщення з вказаними номінальними потужностями кожного електроприймача (ЕП) та його  $\cos\phi$ .

Таблиця 2.1 - Перелік потужностей ливарно-механічного виробництва

| № з/п поз. | Тип виробу або позначення | Назва  | Потужність, кВт | $\cos\phi$ |
|------------|---------------------------|--|-----------------|------------|
| 1          | 2                         | 3  | 4               | 5          |
| 1.1        | J-214                     | Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ  | 14,0            | 0,6        |
| 1.2        | J-214                     | Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ  | 14,0            | 0,6        |
| 1.3        | J-116 E                   | Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ | 11,0            | 0,6        |
| 1.4        | A 711 A 08                | Машина ливарна з холодною камерою пресування       | 9,0             | 0,7        |
| 1.5        | PRI-60                    | Верстат для фігурного формування по металу         | 8,0             | 0,6        |
| 1.6        | TR 3-25                   | Верстат для фігурного формування по металу         | 6,0             | 0,6        |
| 1.7        | GPI-16                    | Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ                | 14,0            | 0,5        |
| 1.8        | GPI-16                    | Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ                | 14,0            | 0,5        |
| 2.1        | MARK-III-B                | Вверстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ              | 6,5             | 0,6        |
| 2.2        | ЗД 642E                   | Верстат універсально-заточувальний                 | 4,0             | 0,6        |
| 2.3        | VDL-1000                  | Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ                      | 6,0             | 0,5        |
| 2.4        | VDL-1000                  | Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ                      | 7,0             | 0,5        |
| 2.5        | TFM-100V                  | Верстат токарно-карусельний з ЧПУ                  | 9,0             | 0,6        |

Продовження таблиці 2.1

| 1       | 2            | 3  | 4     | 5   |
|---------|--------------|--|-------|-----|
| 2.6     | TFM-100V     | Верстат токарно-карусельний з ЧПУ          | 9,0   | 0,6 |
| 2.7     | BMV-850/1000 | Верстат фрезерувальний з ЧПУ               | 10,0  | 0,6 |
| 2.8     | ОФ-100 Ф2    | Верстат свердлильний з ЧПУ                 | 9,0   | 0,6 |
| 2.9     | 2В 623 ПМФ 4 | Верстат горизонтально-розточувальний з ЧПУ | 19,0  | 0,5 |
| 2.10    | GHT-35       | Прес гідравлічний обрубний                 | 8,0   | 0,5 |
| Всього: |              |  | 174,5 | –   |

Основні споживачі електричної енергії - електроприводи ливарних й металооброблюваних верстатів, електродвигун кран-балки, комплекси спеціалізованого обладнання ЧПУ, розетки та освітлювальна мережа.

В цеху встановлено 19 од. технологічного устаткування з нерегульованими електроприводами асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором; активна ном. потужн. електродвигунів становить 170,5 кВт. Електродвигун кран-балки споживає 4,0 кВт активної потужності. Всі електродвигуни є споживачами реактивної потужності, яка буде розрахована нижче. Сумарна активна потужність виробничого і допоміжного обладнання цеху без освітлення становить 176,9 кВт.

Баланс системи електропостачання передбачає витрати активної потужності при загальному освітленні діляниць цеху та кімнати майстрів, значення яких будуть визначені відповідно до схеми розміщення цих потужностей.

## **2.2 Складання схеми електропостачання ливарно-механічного виробництва**

На плані основного виробництва заводу у складі ливарної діляниці й діляниці механо-оброблювальних робіт (див. *лист Силова мережа. Схема електричних з'єднань*) відмічаємо місця розташування обладнання. Електропостачання виробництва будемо здійснювати за допомогою кабеля, прокладеного від КТП заводу до *ввідно – розподільчого пристрою (ВРП1)* ливарного цеху вздовж стін на кабельних полицях. ЕП діляниць ливарного цеху матимуть живлення від *розподільчих пристроїв (РП1 та РП2)* проводами, прокладеними у трубах. Від *ВРП1* електроенергія буде поступати на два

розподільчих пристрої та щитки освітлення (ЩО1–ЩО2), з яких матимуть живлення освітлювальні прилади обох ділянок, кімнати майстрів та її розетки.

Крім цього, від ВРП2 електроенергія буде поступати на щитки освітлення ЩО3–ЩО4 іншої частини виробничого корпусу, де розміщені потужності складського господарства й ремонтного цеху допоміжного виробництва.

### 2.3 Розрахунок електричних навантажень ливарно-механічного виробництва

Табл. 2.2 наповнена основними даними для розрахунку електричних навантажень ЕП ливарно-механічного виробництва.

Еквівалент. к-сть ЕП:

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

Ефект. потужн. ЕП:

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

Середньозважений коеф. використ.  $k_B$ :

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

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

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

Таблиця 2.2 - Розрахунок навантажень основного виробництва

| № поз. на плані | Назва  | Встановлена потужн. $P_H, кВт$ | К-сть один., $n$ | Сумарна потужн., $P_{сум}, кВт$ | Коеф. вико-рист., $k_B$ | $\cos\varphi$ обладнання | $tg\varphi$ обладнання | Сума квадратів встановл. потужн., $кВт^2$ |
|-----------------|--|--------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| 1.1;<br>1.2     | Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ  | 14,0                           | 2                | 28,00                           | 0,75                    | 0,5                      | 1,73                   | 392,0                                     |
| 1.3             | Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ | 11,0                           | 1                | 11,0                            | 0,60                    | 0,5                      | 1,73                   | 121,0                                     |
| 1.4             | машина ливарна з холодною камерою пресування       | 9,0                            | 1                | 9,0                             | 0,60                    | 0,6                      | 1,33                   | 81,0                                      |
| 1.5             | Верстат для фігурного формування по металу         | 8,0                            | 1                | 8,0                             | 0,90                    | 0,6                      | 1,33                   | 64,0                                      |
| 1.6             | Верстат для фігурного формування по металу         | 6,0                            | 1                | 6,0                             | 0,75                    | 0,6                      | 1,33                   | 36,0                                      |
| 1.7;<br>1.8     | Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ                | 14,0                           | 2                | 28,0                            | 0,90                    | 0,5                      | 1,73                   | 392,0                                     |
| 2.1             | Верстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ               | 6,5                            | 1                | 6,5                             | 0,60                    | 0,6                      | 1,33                   | 42,25                                     |
| 2.2             | Верстат універсально-заточувальний                 | 4,0                            | 1                | 4,0                             | 0,90                    | 0,7                      | 1,02                   | 16,0                                      |
| 2.3             | Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ                      | 6,0                            | 1                | 6,0                             | 0,60                    | 0,6                      | 1,33                   | 36,0                                      |
| 2.4             | Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ                      | 7,0                            | 1                | 7,0                             | 0,60                    | 0,7                      | 1,02                   | 49,0                                      |
| 2.5;<br>2.6     | Верстат токарно-карусельний з ЧПУ                  | 9,0                            | 2                | 18,0                            | 0,60                    | 0,6                      | 1,33                   | 162,0                                     |
| 2.7             | Верстат фрезерувальний з ЧПУ                       | 10,0                           | 1                | 10,0                            | 0,75                    | 0,6                      | 1,33                   | 100,0                                     |
| 2.8             | Верстат свердильний з ЧПУ                          | 9,0                            | 1                | 9,0                             | 0,60                    | 0,5                      | 1,73                   | 81,0                                      |
| 2.9             | Верстат горизонтально-розточувальний з ЧПУ         | 12,0                           | 1                | 12,0                            | 0,75                    | 0,6                      | 1,33                   | 144,0                                     |
| 2.10            | Прес гідравлічний обрубний                         | 8,0                            | 1                | 8,0                             | 0,60                    | 0,6                      | 1,33                   | 64,0                                      |
| КБ              | Кран-балка   | 4,0                            | 1                | 4,0                             | 0,75                    | 0,5                      | 1,73                   | 16,0                                      |
| –               | Всього:  | –                              | 19               | 174,5                           | –                       | –                        | –                      | 1796,3                                    |

Середній коефіцієнт реактивної потужності  $tg\varphi_C$  визначається за допомогою виразу:

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

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

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

Для знаходження коеф. максимуму:  $k_M = 1,12$  використаємо впорядковані діаграми  $k_M = f(n_e; k_e)$  [12] для визначених значень  $n_e$  та  $k_e$ .

Активне розрах. навантаження ЕП цеху становить:

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

Реактивне розрах. навантаження:

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

Повна розрах. потужн. виробн. устаткування:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{140,79^2 + 211,95^2} = 254,45 [\text{кВ} \cdot \text{А}].$$

Повний розрах. струм основного виробництва ливарного цеху:

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

## 2.4 Розрахунок центрів електричних навантажень

В центрі електр. навантажень з координатами  $(x_0; y_0)$  буде розташований розподільчий пункт подачі електроенергії до ЕП згідно радіальної схеми живлення.

Місце розташування центра електричних навантажень розраховуємо з використанням даних табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Розташування потужностей виробництва

| №з/п на плані                  | Назва  | Встановл. потужн. $P_{Hi}$ , кВт | Координата $x_i$ , м | Координата $y_i$ , м | $P_{Hi} \cdot x_i$ | $P_{Hi} \cdot y_i$ |
|--------------------------------|--|----------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Розподільчий пристрій 2 (РП 2) |  |                                  |                      |                      |                    |                    |
| 1.1                            | Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ  | 14,0                             | 6,8                  | 4,0                  | 95,2               | 56,0               |
| 1.2                            | Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ  | 14,0                             | 13,6                 | 4,0                  | 190,4              | 56,0               |
| 1.3                            | Машина ливарна з холодною камерою пресування з ЧПУ | 11,0                             | 19,8                 | 4,0                  | 217,8              | 44,0               |
| 1.4                            | Машина ливарна з холодною камерою пресування       | 9,0                              | 23,2                 | 4,0                  | 208,8              | 36,0               |
| 1.5                            | Верстат для фігурного формування по металу         | 8,0                              | 26,2                 | 4,0                  | 209,6              | 32,0               |
| 1.6                            | Верстат для фігурного формування по металу         | 6,0                              | 29,2                 | 4,0                  | 175,2              | 24,0               |

Продовження таблиці 2.3

|                                |  |      |      |      |        |       |
|--------------------------------|--|------|------|------|--------|-------|
| 1.7                            | Прес гідравлічний ковальський з ЧПУ        | 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 |
| Розподільчий пристрій 1 (РП 1) |  |      |      |      |        |       |
| 2.1                            | Верстат лазерно-гравірувальний з ЧПУ       | 6,5  | 6,6  | 12,6 | 42,9   | 81,9  |
| 2.2                            | Верстат універсально-заточувальний         | 4,0  | 10,2 | 12,6 | 40,8   | 50,4  |
| 2.3                            | Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ              | 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 токарно-карусельний                | 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                            | Верстат фрезерувальний з ЧПУ               | 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                           | Прес гідравлічний обрубний                 | 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 коректування місця розташування центрів навантажень їх координати на плані розміщення потужностей такі: РП1:  $x_{РП1} = 24,0 м$ ;  $y_{РП1} = 16,0 м$ , а РП2:  $x_{РП2} = 24,0 м$ ;  $y_{РП2} = 0 м$ .

Ввідний розподільчий пристрій ВРП1 розміщуємо з координатами  $x_{ВРП1} =$

60,0 м;  $u_{ВРП} = 13,2$  м.

Щитки освітлення (ЩО1–ЩО2) розміщуємо якнайближче до вхідних дверей:  $x_{ЩО1} = 0$  м;  $u_{ЩО1} = 4,4$  м та  $x_{ЩО2} = 47,6$  м;  $u_{ЩО2} = 0$  м.

## 2.5 Визначення розрахункових навантажень виробничого обладнання

### 2.5.1 Дільниця ливарно–ковальська.

На дільниці розташовано 9 од. виробн. обладнання, які на листі *Силова мережа*. Схема електричній з'єднань позначені цифрами 1.1...1.8 та КБ.

Нижче поданий приклад розрахунку навантажень деяких ЕП.

Електроприймачі ЕП 1.1 та ЕП 1.2 Машина ливарна з гарячою камерою пресування з ЧПУ типу J–214 (380 В; 50 Гц; 14,0 кВт):

Активна розрах. потужн.:

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

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

де  $k_{Bi} = 0,75$  (див. табл. 2.1).

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

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

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

Повна розрах. потужн.:

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

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

Струм розрах.:

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

Струм ном.:

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

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

Електроприймач ЕП 1.5 Верстат для фігурного формування по металу

типу *PRI-60* (380 В; 50 Гц; 8,0 кВт):

$$P_{P1.5} = k_{Bi} \cdot P_{H1.5} = 0,90 \cdot 8,0 = 7,2 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P1.5} = P_{P1.5} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{1.5} = 7,2 \cdot 1,33 = 9,58 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

$$S_{P1.5} = \sqrt{P_{P1.5}^2 + Q_{P1.5}^2} = \sqrt{7,2^2 + 9,58^2} = 11,98 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

$$I_{P1.5} = \frac{S_{P1.5}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.5}} = \frac{11,98}{\sqrt{3} \cdot 380} = 18,20 \text{ А.}$$

$$I_{H1.5} = \frac{P_{H1.5}}{\sqrt{3} \cdot U_{H1.5} \cdot \cos\varphi_{1.5}} = \frac{8,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 20,26 \text{ А.}$$

Електроприймач *ЕП КБ Кран-балка НК 1100 ГП2Т* (380 В; 50 Гц; 4,0 кВт):

$$P_{Pкб} = k_{Bi} \cdot P_{Hкб} = 0,75 \cdot 4,0 = 3,0 \text{ кВт.}$$

$$Q_{Pкб} = P_{Pкб} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{кб} = 3,0 \cdot 1,73 = 5,19 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

$$S_{Pкб} = \sqrt{P_{Pкб}^2 + Q_{Pкб}^2} = \sqrt{3,0^2 + 5,19^2} = 6,00 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

$$I_{Pкб} = \frac{S_{Pкб}}{\sqrt{3} \cdot U_{Hкб}} = \frac{6,00}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,15 \text{ А.}$$

$$I_{Hкб} = \frac{P_{Hкб}}{\sqrt{3} \cdot U_{Hкб} \cdot \cos\varphi_{кб}} = \frac{4,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5} = 12,16 \text{ А.}$$

За такою ж методикою визначаються розрах. навантаження для всіх ЕП дільниці.

### 2.5.2 Дільниця механо-оброблювальних робіт.

На дільниці розташовано 10 одиниць обладнання, які на листі *Силова мережа. Схема електричної з'єднань* позначені цифрами 2.1...2.10.

Електроприймач *ЕП 2.2 Верстат універсально-заточувальний типу 3Д 642Е* (380 В; 50 Гц; 4,0 кВт):

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

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

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

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



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

Електроприймач ЕП 2.4 Центр 3D-оброблювальний з ЧПУ типу VDL-1000 (380 В; 50 Гц; 7,00 кВт):

$$P_{P2.4} = k_{Bi} \cdot P_{H2.4} = 0,60 \cdot 7,00 = 4,20 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P2.4} = P_{P2.4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2.4} = 4,20 \cdot 1,02 = 4,28 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

$$S_{P2.4} = \sqrt{P_{P2.4}^2 + Q_{P2.4}^2} = \sqrt{4,20^2 + 4,28^2} = 6,00 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

$$I_{P2.4} = \frac{S_{P2.4}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.4}} = \frac{6,00}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,12 \text{ А.}$$

$$I_{H2.4} = \frac{P_{H2.4}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.4} \cdot \cos \varphi_{2.4}} = \frac{7,00}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,7} = 15,19 \text{ А.}$$

Електроприймач ЕП 2.10 Прес гідравлічний обрубний типу GHT-35 (380 В; 50 Гц; 8,00 кВт):

$$P_{P2.10} = k_{Bi} \cdot P_{H2.10} = 0,60 \cdot 8,00 = 4,80 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P2.10} = P_{P2.10} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2.10} = 4,80 \cdot 1,33 = 6,38 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

$$S_{P2.10} = \sqrt{P_{P2.10}^2 + Q_{P2.10}^2} = \sqrt{4,80^2 + 6,38^2} = 7,99 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

$$I_{P2.10} = \frac{S_{P2.10}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.10}} = \frac{7,99}{\sqrt{3} \cdot 380} = 12,14 \text{ А.}$$

$$I_{H2.10} = \frac{P_{H2.10}}{\sqrt{3} \cdot U_{H2.10} \cdot \cos \varphi_{2.10}} = \frac{8,00}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 20,26 \text{ А.}$$

Таким же чином визначаються розрах. навантаження для всіх ЕП дільниці.

### 2.5.3 Кімната майстрів.

В кімнаті майстрів розташовано 4 електричні розетки, які на листі *Силова мережа. Схема електричної з'єднань* позначені цифрами 3.1...3.4.

Електроприймачі ЕП 3.1...3.4 Розетка для внутрішньої установки із заземлюючим контактом моделі РШ-п-20-С-02-10/220 (220 В; 50 Гц; 0,6 кВт):

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

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

$$S_{P_{3.1...3.4}} = \sqrt{P_{P_{3.1...3.4}}^2 + Q_{P_{3.1...3.4}}^2} = \sqrt{1,80^2 + 1,12^2} = 2,12 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{P_{3.1...3.4}} = \frac{S_{P_{3.1...3.4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{H_{3.1...3.4}}} = \frac{2,12}{\sqrt{3} \cdot 220} = 5,56 \text{ А}.$$

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

Результати розрахунку зводимо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахункові навантаження устаткування ливарного цеху

| №з/п<br>позиц.  | Назва<br>електро-<br>приймача                            | Нап-<br>руга,<br>В | По-<br>туж-<br>ність,<br>кВт | cosφ | tgφ  | Розрахункові навантаження |                           |                          |                       |                       |
|---|--|--------------------|------------------------------|------|------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
|   |  |                    |                              |      |      | Р <sub>р</sub> ,<br>кВт   | Q <sub>р</sub> ,<br>кВ·Ар | S <sub>р</sub> ,<br>кВ·А | I <sub>р</sub> ,<br>А | I <sub>н</sub> ,<br>А |
| 1   | 2  | 3                  | 4                            | 5    | 6    | 7                         | 8                         | 9                        | 10                    | 11                    |
| <b>Дільниця ливарно-ковальська з верстатами ЧПУ (РП2)</b> |  |                    |                              |      |      |                           |                           |                          |                       |                       |
| 1.1   | Машина ливарна з<br>гарячою камерою<br>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<br>гарячою камерою<br>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<br>холодною камерою<br>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<br>холодною камерою<br>пресування       | 380                | 9,0                          | 0,6  | 1,33 | 5,4                       | 7,18                      | 8,99                     | 13,66                 | 22,79                 |
| 1.5   | Верстат для фігурного<br>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<br>формування по металу            | 380                | 6,0                          | 0,6  | 1,33 | 4,5                       | 5,99                      | 7,48                     | 11,39                 | 15,19                 |
| 1.7   | Прес гідравлічний<br>ковальський з ЧПУ                   | 380                | 14,0                         | 0,5  | 1,73 | 12,6                      | 21,80                     | 25,18                    | 38,27                 | 42,54                 |
| 1.8   | Прес гідравлічний<br>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                 |
| <b>Всього:</b>  |  | –                  | 94,0                         | –    | –    | 72,9                      | 119,30                    | 139,97                   | 254,84                | 273,99                |
| <b>Дільниця мехобробки з верстатами ЧПУ (РП1)</b>         |  |                    |                              |      |      |                           |                           |                          |                       |                       |
| 2.1   | Верстат лазерно-<br>гравірувальний з ЧПУ                 | 380                | 6,5                          | 0,6  | 1,33 | 3,90                      | 5,19                      | 6,49                     | 9,86                  | 16,46                 |
| 2.2   | Верстат універсально-<br>заточувальний                   | 380                | 4,0                          | 0,7  | 1,02 | 3,60                      | 3,67                      | 5,14                     | 7,81                  | 8,68                  |
| 2.3   | Центр 3D-<br>оброблювальний з ЧПУ                        | 380                | 6,0                          | 0,6  | 1,33 | 3,60                      | 4,79                      | 5,99                     | 9,10                  | 15,19                 |
| 2.4   | Центр 3D-<br>оброблювальний з ЧПУ                        | 380                | 7,0                          | 0,7  | 1,02 | 4,20                      | 4,28                      | 6,00                     | 9,12                  | 15,19                 |
| 2.5   | Верстат токарно-<br>карусельний з ЧПУ                    | 380                | 9,0                          | 0,6  | 1,33 | 5,40                      | 7,18                      | 8,99                     | 13,66                 | 22,79                 |
| 2.6   | Верстат токарно-<br>карусельний з ЧПУ                    | 380                | 9,0                          | 0,6  | 1,33 | 5,40                      | 7,18                      | 8,99                     | 13,66                 | 22,79                 |
| 2.7   | Верстат фрезерувальний<br>з ЧПУ                          | 380                | 10,0                         | 0,6  | 1,33 | 7,50                      | 9,98                      | 12,48                    | 18,96                 | 25,32                 |
| 2.8   | Верстат свердлильний з<br>ЧПУ                            | 380                | 9,0                          | 0,5  | 1,73 | 5,40                      | 9,34                      | 10,79                    | 16,39                 | 27,35                 |
| 2.9   | Верстат горизонтально-<br>розточувальний з ЧПУ           | 380                | 12,0                         | 0,6  | 1,33 | 9,00                      | 11,97                     | 14,98                    | 22,76                 | 30,39                 |
| 2.10  | Прес гідравлічний<br>обрубний                            | 380                | 8,0                          | 0,6  | 1,33 | 4,80                      | 6,38                      | 7,99                     | 12,14                 | 20,26                 |
| <b>Всього:</b>  |  | –                  | 80,5                         | –    | –    | 52,80                     | 69,96                     | 87,84                    | 133,46                | 204,42                |

## Продовження таблиці 2.4

| Кімната майстрів    |                |     |                      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|----------------|-----|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3.1(p)..<br>.3.4(p) | Розетка силова | 220 | 0,60х<br>4 =<br>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 |

Примітка: – позначення "р" – для розеток відповідних електроприймачів

## 2.6 Розрахунок електричного освітлення дільниць

В якості джерел світла застосовуються люмінесцентні лампи, високого тиску чи світлодіодні блоки.

Дільниці ливарного цеху освітлюємо стельовими світильниками типу ГСП 04В–400–512 з лампами високого тиску ДРІ–400–6 та стельовими світильниками типу ЛПО 21–2х65 з люмінесцентними лампами ЛБР–65 чи світлодіодними світильниками з таким же нормативом потоку світла типу ДПО–01–НСП–4А.

Розміри приміщення:  $H = 7,0 \text{ м}$  – висота;  $b = 36 \text{ м}$ ;  $l = 60 \text{ м}$  – розміри;  $h_C = 1,0 \text{ м}$  – відстань св-ка від перекриття;  $h_{II} = 6,0 \text{ м}$  – відстань св-ка над підлогою;  $h_P = 1,0 \text{ м}$  – висота розрах. поверхні над підлогою;  $h = h_{II} - h_P = 5,0 \text{ м}$  – розрах. висота від св-ка до розрах. поверхні.

Світильники розміщуються чотирма рядами на відстані  $4,5 \text{ м}$  від стіни та  $4,5 \text{ м}$  між собою.

Згідно таблиці 4.4 [25] приймаємо освітленість дільниць цеху:  $E_1 = E_2 = 250 \text{ лк}$ .

Коефіцієнт запасу:  $K_3 = 1,5$ .

Світловий індекс :

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

Коефіцієнт використання  $\eta$  світильника визначається коефіцієнтами відбивання [25]:  $\rho_C = 90\%$  - для стелі;  $\rho_{CT} = 30\%$  - для стін;  $\rho_{II} = 10\%$  - для підлоги. Тоді, згідно таблиці 5.10 [25]  $\eta = 0,65$ .

Світловий потік ламп:

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

де  $z = 1,15$ .

З таблиці 2.15 [25] вибираємо лампи високого тиску типу ДРІ-400-6:  $P_{\text{Л}} = 400 \text{ Вт}$ ;  $U_{\text{Н}} = 220 \text{ В}$ ;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $\text{tg}\varphi = 0,62$ ;  $\Phi_{\text{Л}} = 4000 \text{ Лм}$ ;  $K_{\text{В}} = 0,75$ ; строк служби – 10000 год.

Загальний потік світла від світильників в кількості  $N = 44 \text{ шт.}$  :

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

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

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

Ном. потужн. всіх ламп св-ків:

$$P_{\text{Н}} = N_{\text{Л}} \cdot P_{\text{Л}} = 44 \cdot 0,4 = 17,6 \text{ кВт.}$$

Активна розрах. потужн.:

$$P_{\text{Р}} = k_{\text{В}} \cdot P_{\text{Н}} = 0,75 \cdot 17,6 = 13,2 \text{ кВт.}$$

Реактивна розрах. потужн. ( $\cos\varphi = 0,70$ ):

$$Q_{\text{Р}} = P_{\text{Р}} \cdot \text{tg}\varphi = 13,2 \cdot 1,02 = 13,46 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Повна розрах. потужн.:

$$S_{\text{Р}} = \sqrt{P_{\text{Р}}^2 + Q_{\text{Р}}^2} = \sqrt{13,2^2 + 13,46^2} = 18,85 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Струм розрах.:

$$I_{\text{Р}} = \frac{S_{\text{Р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н1}}} = \frac{18,85}{\sqrt{3} \cdot 220} = 49,5 \text{ А.}$$

Струм ном.:

$$I_{\text{Н}} = \frac{P_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi} = \frac{17,6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,70} = 66 \text{ А.}$$

Кімната майстрів:

$H_3 = 3,5 \text{ м}$ ;  $b_3 = 6 \text{ м}$ ;  $l_3 = 6 \text{ м}$ ;  $h_{\text{С}} = 0,2 \text{ м}$ ;  $h_{\text{П}} = 3,5 - 0,2 = 3,3 \text{ м}$ ;  $h_{\text{Р}} = 1,0 \text{ м}$ ;  $h_{\text{П}} - h_{\text{Р}} = 2,3 \text{ м}$ .

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

Згідно таблиці 4.4 [25]:  $E_3 = 300 \text{ лк}$ .

Коефіцієнт запасу:  $K_3 = 1,5$ .

Тоді:

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

Коеф. відбивання [25]:  $\rho_C = 75\%$  - для стелі;  $\rho_{CT} = 30\%$  - для стін;  $\rho_{II} = 15\%$  - для підлоги. Тоді,  $\eta_3 = 0,56$ .

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 таблиці 2.15 [25] - люмінесцентні лампи типу ЛБР-65:  $P_{Л} = 65 \text{ Вт}$ ;  $U_H = 220 \text{ В}$ ;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $\operatorname{tg}\varphi = 0,62$ ;  $\Phi_{Л} = 4800 \text{ Лм}$ ;  $K_B = 0,75$ ; строк служби - 15000 год..

Світловий потік дволампового св-ка:

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

При  $N_2 = 3 \text{ шт. св-ків}$ :

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

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

Можливе встановлення більш енергоефективних і більш довговічних світлодіодних світильників стельових типу ДПО-01-НСП-4А (8 Вт) в такій же кількості (3 шт.).

Ном. потужність св-ків:

$$P_{H2} = 3 \cdot 2 \cdot 0,065 = 0,390 \text{ кВт}.$$

Активна розрах. потужн.:

$$P_{P2} = k_B \cdot P_{H2} = 0,75 \cdot 0,390 = 0,293 \text{ кВт}.$$

Реактивна розрах. потужн. ( $\cos\varphi_2 = 0,85$ ):

$$Q_{P2} = P_{P2} \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 = 0,293 \cdot 0,62 = 0,182 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Повна розрах. потужн.:

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

Струми розрах. і ном.:

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

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

Сумарна активна потужність розеток ливарного цеху:

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

Навантаження щитків освітлення:

ЩО1 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ кВт.}$$

ЩО2 (8+3 світильники; розетки):

$$P_{ЩО2} = 0,4 \cdot 8 + 2,4 + 0,39 = 6 \text{ кВт.}$$

ЩО3 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ кВт.}$$

ЩО4 (12 світильників):

$$P_{ЩО1} = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ кВт.}$$

Для комутації освітлення на обох дільницях ливарного виробництва біля входу у приміщення цеху встановлюємо щиток освітлення (ЩО1) (див. лист *Схема освітлювальної мережі*). Ще один щиток освітлення (ЩО2) встановлюємо біля кімнати майстрів.

## 2.7 Розрахунок навантаження щитків освітлення

Загальна активна потужність освітлення ливарного цеху та розеток (ЩО1–ЩО2):

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

Активна потужність розподіляється між трьома фазами:

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

Фаза «А» («В») є найбільш завантаженою:

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

## 2.8 Розрахунок потужності ввідно – розподільчого пристрою

Розраховані у розд.2.4 потужності електроприймачів розподільчих пристроїв та у розд.2.6 потужності освітлювального устаткування зводимо у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Розрахункові навантаження ВРП1

| № з/п | Назва електро-приймача               | Напруга, В | Потужність, кВт | cosφ | tgφ | Розрахункові навантаження |                       |                       |                    |                    |
|-------|--------------------------------------|------------|-----------------|------|-----|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
|       |                                      |            |                 |      |     | P <sub>p</sub> , кВт      | Q <sub>p</sub> , кВАр | S <sub>p</sub> , кВ·А | I <sub>p</sub> , А | I <sub>н</sub> , А |
| 1     | Розподільчий пристрій 1 (РП1)        | 380        | 87,5            | –    | –   | 52,8                      | 69,96                 | 87,84                 | 133,46             | 204,42             |
| 2     | Розподільчий пристрій 2 (РП2)        | 380        | 94,0            | –    | –   | 72,9                      | 119,30                | 139,97                | 254,84             | 273,99             |
| 3     | Щитки освітлення (світильники) ЩО1-2 | 380        | 8,0             | –    | –   | 3,46                      | 3,47                  | 4,90                  | 12,86              | 17,74              |
| 4     | Щиток освітлення (розетки) ЩО2(р)    | 380        | 2,40            | –    | –   | 1,80                      | 1,12                  | 2,12                  | 5,56               | 7,41               |
| 5     | Ввідно–розподільчий пристрій         | 380        | 191,9           | –    | –   | 130,96                    | 193,85                | 234,83                | 406,72             | 503,56             |

## 2.9 Вибір місця встановлення та розрахунок навантаження силового трансформатора

Враховуючи, що ливарний цех має значну кількість споживачів 2-ї категорії, згідно вимог вибираємо два трансформатори з резервуванням по низькій стороні від КТП №2 (див. лист *Ввідно–розподільчі пристрої 1 та 2. Схема електричних з'єднань однолінійна*). Вибір потужності виділених комірок силових трансформаторів комплектної трансформаторної підстанції (КТП) проводимо, враховуючи повну розрах. потужність технологічного устаткування, розеток цеху, світильників.

Сумарна активна розрах. потужн. ЕП, освітлення та розеток:

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

Сумарна реакт. розрах. потужн.:

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

Повна розрах. потужн.:

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

На КТП №2 заводу в одному з силових трансформаторів марки ТМЗ 1000–10/0,4 кВ виділяємо комірку для електропостачання ливарного виробництва потужністю:

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

з пропускною здатністю по струму

$$I_{TPK} = 1,2(I_{PE} + I_{PO} + I_{PP}) = 1,2 \cdot (386,6 + 12,9 + 5,6) = 1,2 \cdot 405,1 = 486,12 \approx 500 \text{ [А]}.$$

Для резервного живлення ливарно–механічного виробництва передбачена друга лінія електропостачання від КТП №3 заводу з аналогічним силовим трансформатором.

## 2.10 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності ливарного виробництва

Орієнтовна потужність пристроїв компенсування реактивної потужності всього виробництва ливарних виробів:

$$Q_{KBH} = P_P \cdot (tg\varphi_\Phi - tg\varphi_H), \text{кВ} \cdot \text{Ар},$$

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

Маємо

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

Оптимальна величина реактивної потужності низьковольтних конденсаторів:

$$Q_{KHopt} = \frac{Q_P}{2} - \frac{M}{r_{E_T} \cdot (1 + \lambda)}, \text{кВ} \cdot \text{Ар},$$

де  $r_{E_T} = 0,0022 \text{ Ом}$ ;  $\lambda = 0,6$  [12];

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

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



$$\left. \begin{aligned} A &= 437 \frac{\text{грн}}{\text{кВт}}, \\ B &= 77 \frac{\text{кон}}{10 \text{ кВт} \cdot \text{год}} \end{aligned} \right\}^{-}; T_{\text{МАКС}} = 4239 \text{ год.};$$

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

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

Тоді отримаємо:

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

Оптимальною є стандартна низьковольтна конденсаторна установка типу УК-0,38-72 в кількості 1 шт. потужністю 72 кВ·Ар.

Для залишку реактивної потужності використовуємо високовольтну конденсаторну установку, потужність якої:

$$Q_{\text{КБ}_B} = Q_{\text{КБ}_H} - Q_{\text{КВ}} = 165,7 - 72 = 93,7 [\text{кВ} \cdot \text{Ар}].$$

Оптимальною є стандартна високовольтна конденсаторна установка типу КУ-10-1 в кількості 1 шт. потужністю 330 кВ·Ар на номінальну напругу 10 кВ.

Залишок реактивної потужності в кількості 230 кВ·Ар буде реалізований при компенсації ін. виробництв (інструментального, штампувального, ремонтного), приєднаних до трансформаторів даного КТП №2.

## 2.11 Вибір марки і перерізу високовольтних живильних струмоведучих частин

Оскільки цехова підстанція є двотрансформаторною її живлення здійснюємо двома високовольтними кабельними лініями напругою 10 кВ (кабелі прокладаємо в земляних траншеях).

Розрахунковий струм кабеля:

$$I_P = \frac{\sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{\text{КН}})^2}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} [A],$$

де  $Q_{\text{КН}}$  - реактивна потужність низьковольтної конденсаторної установки,

$kV \cdot Ap; n = 2; U_H = 10$  кВ.

Тоді матимемо:

$$I_P = \frac{\sqrt{140,8^2 + (165,7 - 72)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 4,97 \text{ А.}$$

Переріз жил кабелів:

$$S_{EK} = \frac{I_P}{j_{EK}} \text{ мм}^2; \quad S_{EK} = \frac{4,97}{1,4} = 3,6 \text{ мм}^2,$$

де  $j_{EK} = 1,4 \text{ А} \cdot \text{мм}^2$  - густина струму для кабелю з алюмінієвою жилою.

З врахуванням інших споживачів приймаємо кабель марки АСБл-10 3×16.

Проводимо перевірку вибраного перерізу кабеля на допустимий струм згідно умови:

$$I_P \leq K_{PR} \cdot I_{ДОП} [A],$$

де  $I_{ДОП} = 75 \text{ А};$

$$K_{PR} = 0,95.$$

Маємо:  $I_P = 4,97 \leq 0,95 \cdot I_{ДОП} = 0,95 \cdot 75 = 72,3 [A]$  - умова виконується.

Проводимо перевірку вибраного перерізу кабелю на допустимий струм нагріву в післяаварфйному режимі (відключення одного кабеля):

$$1,4 \cdot I_P \leq 1,3 \cdot I_{ДОП} \cdot K_{PR} [A],$$

$$\text{Маємо: } 1,4 \cdot 4,97 = 6,96 \leq 1,3 \cdot 75 \cdot 0,95 = 92,6 [A]$$

Отже, умова перевірки виконується.

Остаточна перевірка вибраного січення кабелів на термічну стійкість буде проведена після розрахунку струмів короткого замикання.

## 2.12 Висновки до розділу

Складена схема електропостачання ливарно-механічного виробництва та проведений розрахунок її електричних навантажень з вибором центрів.

Проведений розрахунок електричних навантажень виробничого обладнання, освітлення, потужності ввідно-розподільчого пристрою та силового трансформатора.

Проведений вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності ливарного виробництва та марки і перерізу високовольтних живильних струмоведучих частин.

## 3 ПРОЕКТНО–КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Вибір площі перерізу проводів і жил кабелів

Площа перерізу провідників визначається згідно рекомендацій ПУЕ, а також таблиці 5.10 [21] з врахуванням коеф. зменшення ном. струму  $k_H = 0,8$ .

Таким чином, сідчення провідників, марка проводу чи кабелю, а також їх довжина матимуть такі значення (див. листи *Схема однолінійна розподільних пристроїв РП1 та РП2*):

- ЕП1.1:  $I_H = 42,54 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$ ; сідчення провідників –  $10,0 \text{ мм}^2$ ; довжина відрізка лінії –  $18 \text{ м}$ ; марка проводу – ПВ 3–10,0–0,66;
- ЕП1.2:  $I_H = 42,54 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$ ;  $10,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–10,0–0,66;
- ЕП1.3:  $I_H = 33,43 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$ ;  $6,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–6,0–0,66;
- ЕП1.4:  $I_H = 22,79 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$ ;  $4,0 \text{ мм}^2$ ;  $10 \text{ м}$ ; ПВ 3–4,0–0,66;
- ЕП1.5:  $I_H = 20,26 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$ ;  $4,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–4,0–0,66;
- ЕП1.6:  $I_H = 15,19 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$ ;  $2,5 \text{ мм}^2$ ;  $10 \text{ м}$ ; ПВ 3–2,5–0,66;
- ЕП1.7:  $I_H = 42,54 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$ ;  $10,0 \text{ мм}^2$ ;  $15 \text{ м}$ ; ПВ 3–10,0–0,66;
- ЕП1.8:  $I_H = 42,54 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$ ;  $10,0 \text{ мм}^2$ ;  $17 \text{ м}$ ; ПВ 3–10,0–0,66;
- ЕП КБ:  $I_H = 12,16 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 14 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$ ;  $1,5 \text{ мм}^2$ ;  $20 \text{ м}$ ; ПВ 3–1,5–0,66;

ВРП – РП2 (ЕП1.1...ЕП1.8–ЕП КБ):  $I_H = 42,54+42,54+33,43+22,79+20,26+15,19+42,54+42,54+12,16=273,99 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 340 \cdot 0,8 = 272 \text{ A}$ ; сідчення провідників –  $95 \text{ мм}^2$ ; довжина відрізка лінії –  $38 \text{ м}$ ; марка кабелю – ПсВГ 3x95+1x35;

- ЕП2.1:  $I_H = 42,54 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 50 \cdot 0,8 = 40,0 \text{ A}$ ;  $10,0 \text{ мм}^2$ ;  $18 \text{ м}$ ; ПВ 3–10,0–0,66;
- ЕП2.2:  $I_H = 8,68 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 14 \cdot 0,8 = 11,2 \text{ A}$ ;  $1,0 \text{ мм}^2$ ;  $14 \text{ м}$ ; ПВ 3–1,0–0,66;
- ЕП2.3:  $I_H = 15,19 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$ ;  $2,5 \text{ мм}^2$ ;  $14 \text{ м}$ ; ПВ 3–2,5–0,66;
- ЕП2.4:  $I_H = 15,19 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$ ;  $2,5 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–2,5–0,66;
- ЕП2.5:  $I_H = 22,79 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$ ;  $4,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–4,0–0,66;
- ЕП2.6:  $I_H = 22,79 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$ ;  $4,0 \text{ мм}^2$ ;  $14 \text{ м}$ ; ПВ 3–4,0–0,66;
- ЕП2.7:  $I_H = 25,32 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 30 \cdot 0,8 = 24,0 \text{ A}$ ;  $4,0 \text{ мм}^2$ ;  $14 \text{ м}$ ; ПВ 3–4,0–0,66;
- ЕП2.8:  $I_H = 27,35 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$ ;  $6,0 \text{ мм}^2$ ;  $16 \text{ м}$ ; ПВ 3–6,0–0,66;
- ЕП2.9:  $I_H = 30,39 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$ ;  $6,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; ПВ 3–6,0–0,66;
- ЕП2.10:  $I_H = 20,26 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 25 \cdot 0,8 = 20,0 \text{ A}$ ;  $2,5 \text{ мм}^2$ ;  $14 \text{ м}$ ; ПВ 3–2,5–0,66;

ВРП – РП1 (ЕП2.1...ЕП2.10):  $I_H = 16,46+8,68+15,19+15,19+22,79+22,79+25,32+27,35+30,39+20,26 = 204,42 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 285 \cdot 0,8 = 228 \text{ A}$ ; сичення провідників –  $70 \text{ мм}^2$ ; довжина відрізка лінії –  $14 \text{ м}$ ; марка кабелю – *ПсВГ 3x70+1x25*;

- ЕП світильники (дільниця ливарних верстатів):  $I_H = 9,0 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$ ; сичення провідників –  $1,0 \text{ мм}^2$ ; довжина відрізка лінії –  $30 \text{ м}$ ; марка проводу – *ПВ 3–1,0–0,66*;
- ЕП світильники (дільниця верстатів мехобробки):  $I_H = 7,50 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$ ;  $1,0 \text{ мм}^2$ ;  $20 \text{ м}$ ; ПВ 3–1,0–0,66;
- ЕП світильники (кімната майстрів):  $I_H = 1,204 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ A}$ ;  $0,5 \text{ мм}^2$ ;  $36 \text{ м}$ ; ПВ 3–0,5–0,66;
- ЕП3.1(р)–ЕП3.4(р):  $I_H = 7,41 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ A}$ ;  $1,0 \text{ мм}^2$ ;  $38 \text{ м}$ ;

*ПВ 3–1,0–0,66;*

ВРП – ЩО1–ЩО2 (ЕП світильники ... ЕП3.1(р)–ЕП3.4(р)):  $I_H = 9,0+7,50+1,20+ 7,41 = 25,15 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 40 \cdot 0,8 = 32,0 \text{ A}$ ;  $6,0 \text{ мм}^2$ ;  $12 \text{ м}$ ; *ПВ 3–6,0–0,66;*

КТП – ВРП (РП1–РП2–ЩО1–ЩО2):  $I_H = 204,42+273,99+25,15 = 503,56 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ДОП}} = 570 \cdot 0,9 = 513 \text{ A}$ ; січення провідників –  $240 \text{ мм}^2$ ; довжина відрізка лінії –  $10 \text{ м}$ ; марка кабелю – *АВБбШв 3×240+1×70* – відкрита проводка.

## **3.2 Кабельний журнал**

3.2.1 Провід з мідною жилою в ПВХ–оболонці, підвищеної гнучкості марки ПВ3–0,5–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $72 \text{ м}$ .

3.2.2 Те ж ПВ3–1,0–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $240 \text{ м}$ .

3.2.3 Те ж ПВ3–1,5–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $80 \text{ м}$ .

3.2.4 Те ж ПВ3–2,5–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $60 \text{ м}$ .

3.2.5 Те ж ПВ3–4,0–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $140 \text{ м}$ .

3.2.6 Те ж ПВ3–6,0–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $50 \text{ м}$ .

3.2.7 Те ж ПВ3–10,0–0,66 ГОСТ 6323–79 –  $120 \text{ м}$ .

3.2.8 Кабель з ПВХ–самозатухаючою ізоляцією та ПВХ–оболонкою, без захисної броні марки ПсВГ3х70+1х25 ГОСТ 16442–80 –  $20 \text{ м}$ .

3.2.9 Те ж ПсВГ3х95+1х35 ГОСТ 16442–80 –  $40 \text{ м}$ .

3.2.10 Кабель силовий броньований з ПВХ–ізоляцією та шлангом марки АВБбШв3х240+1х70 ГОСТ 16442–80 –  $10 \text{ м}$ .

## **3.3 Вибір захисної апаратури електромережі виробництва**

3.3.1 Вибір запобіжників.

Запобіжники електроприймачів (ЕП) (див. лист *Схема однолінійна ВРП*) вибираємо згідно таких виразів:

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

де  $I_{п.у}$  – струм плавк. уставки запобіжника,  $A$ ;  
 $I_{пк}$  – піковий струм при увімкненні ЕП,  $A$ ;  
 $\alpha$  – коеф. увімкнення ЕП ( $\alpha = 1,6; 2,0; 2,5$ );

$$I_{пк} = k_{п} \cdot I_{н},$$

де  $k_{п}$  – кратність струму пускового моменту ( $k_{п} = 2; 3; 5$ );  
 $I_{н}$  – ном. струм ЕП,  $A$ .

Таким чином, типи запобіжників та їх плавкі уставки такі:

ВРП: РП1–РП2–ЩО1–ЩО2:  $I_{н} = (204,4+27309+25,2) = 503,5 A$ ;  $I_{пк} =$

$$3 \cdot 503,5 = 1510,5 A; I_{п.уст} \geq \frac{1510,5}{2,5} = 604,2 [A];$$

запобіжник типу ППНИ–39–3 (630  $A$ ).

### 3.3.2 Вибір автоматичних вимикачів.

Автоматичний вимикач (АВ) вибираємо з умови:

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

де  $I_{ном}$  – ном. струм АВ,  $A$ ;  
 $I_{н}$  – ном. струм ЕП,  $A$ .

Струм спрацювання відсічки - згідно максимального пікового струму:

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

де  $I_{пк}$  – піковий струм ЕП,  $A$ .

Вставку теплового розчіплювача вибираємо з умови:

$$I_{т} \geq (1,1 \dots 1,2) \cdot I_{н}.$$

Таким чином, типи АВ та їх роз'єднувачі матимуть такі значення:

ВРП: РП2: ЕП1.1:  $I_{н} = 42,54 A$ ;  $I_{пк} = 5 \cdot I_{н} = 212,7 A$ ;

$$I_{ном} = 1,3 \cdot I_{н} = 55,30 A; I_{вдс} \geq 1,25 \cdot I_{пк} = 265,87 A;$$

$$I_{т} = 1,2 \cdot I_{н} = 51,05 A;$$

автоматичний вимикач ВА 88–35;  $I_{ном}, A: 250$ ;  $I_{р}, A: 125$ ;

ЕП1.2:  $I_{н} = 42,54 A$ ;  $I_{пк} = 5 \cdot I_{н} = 212,7 A$ ;

$$I_{ном} = 1,3 \cdot I_{н} = 55,30 A; I_{вдс} \geq 1,25 \cdot I_{пк} = 265,87 A;$$

$$I_{т} = 1,2 \cdot I_{н} = 51,05 A;$$

ВА 88–35;  $I_{ном}, A: 250$ ;  $I_{р}, A: 125$ ;

ЕП1.3:  $I_{н} = 33,43 A$ ;  $I_{пк} = 5 \cdot I_{н} = 167,15 A$ ;

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 43,46 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 208,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 40,12 \text{ A};$$

$$BA 88-35; I_{НОМ}, A: 250; I_P, A: 125;$$

$$\text{ЕП1.4: } I_H = 22,79 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 113,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 29,63 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 142,44 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,35 \text{ A};$$

$$BA 88-33; I_{НОМ}, A: 160; I_P, A: 32;$$

$$\text{ЕП1.5: } I_H = 20,26 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 101,3 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 26,34 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 126,63 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 24,31 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ЕП1.6: } I_H = 15,19 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 75,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 19,75 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 94,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,23 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ЕП1.7: } I_H = 42,54 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 212,7 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 55,30 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 265,87 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 51,05 \text{ A};$$

$$BA 88-35; I_{НОМ}, A: 250; I_P, A: 125;$$

$$\text{ЕП1.8: } I_H = 42,54 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 212,7 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 55,30 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 265,87 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 51,05 \text{ A};$$

$$BA 88-35; I_{НОМ}, A: 250; I_P, A: 125;$$

$$\text{ЕП КБ: } I_H = 12,16 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 60,8 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 15,81 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 76,0 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 14,59 \text{ A};$$

$$\text{контактор КМИ-11860; } I_{НОМ}, A: 18; \text{ РТИ 1321;}$$

$$\text{РП1: ЕП2.1: } I_H = 16,46 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 82,37 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 21,40 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 102,88 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 19,75 \text{ A};$$

$$\text{автоматичний вимикач } BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ЕП2.2: } I_H = 8,68 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 43,4 \text{ A};$$



$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 11,28 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 54,24 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 10,42 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 12,5;$$

$$\text{ЕП2.3: } I_H = 15,19 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 75,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 19,75 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 94,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,23 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ЕП2.4: } I_H = 15,19 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 75,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 19,75 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 94,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 18,23 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ЕП2.5: } I_H = 22,79 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 113,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 29,63 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 142,44 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,35 \text{ A};$$

$$BA 88-33; I_{НОМ}, A: 160; I_P, A: 32;$$

$$\text{ЕП2.6: } I_H = 22,79 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 113,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 29,63 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 142,44 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 27,35 \text{ A};$$

$$BA 88-33; I_{НОМ}, A: 160; I_P, A: 32;$$

$$\text{ЕП2.7: } I_H = 25,32 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 126,6 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 32,92 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 158,25 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 30,38 \text{ A};$$

$$BA 88-33; I_{НОМ}, A: 160; I_P, A: 32;$$

$$\text{ЕП2.8: } I_H = 27,35 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 136,75 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 35,56 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 170,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 32,82 \text{ A};$$

$$BA 88-35; I_{НОМ}, A: 250; I_P, A: 125;$$

$$\text{ЕП2.9: } I_H = 30,39 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 151,95 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 39,51 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 189,94 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 36,47 \text{ A};$$

$$BA 88-35; I_{НОМ}, A: 250; I_P, A: 125;$$

$$\text{ЕП2.10: } I_H = 20,26 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 101,3 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 26,34 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 126,63 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 24,31 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 25;$$

$$\text{ВРП: РП2: } I_H = 273,99 \text{ A}; I_{ПК} = (273,99 - 42,54) + 5 \cdot 42,54 = 444,15 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 356,19 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 555,19 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 328,79 \text{ A};$$

$$BA 88-40; I_{НОМ}, A: 800; I_P, A: 400;$$

$$\text{ВРП: РП1: } I_H = 204,42 \text{ A}; I_{ПК} = (204,42 - 30,39) + 5 \cdot 30,39 = 325,98 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 265,75 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ПК} = 407,48 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 245,30 \text{ A};$$

$$BA 88-37; I_{НОМ}, A: 400; I_P, A: 250;$$

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

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 11,7 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПК} = 24,3 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 10,8 \text{ A};$$

$$C60L 1P C; I_{НОМ}, A: 63; I_P, A: 16 - 2 \text{ шт.}$$

$$\text{ЩО2: ЕП (осв. 4+4 шт.): } I_H = 7,50 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 15,0 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 9,75 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПК} = 20,25 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 9,0 \text{ A};$$

$$C60L 1P C; I_{НОМ}, A: 63; I_P, A: 10 - 2 \text{ шт.}$$

$$\text{ЩО2: ЕП (осв. 3 шт.): } I_H = 0,67 \text{ A}; I_{ПК} = 5 \cdot I_H = 1,34 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 0,87 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПК} = 1,81 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 0,81 \text{ A};$$

$$C60L 1P C; I_{НОМ}, A: 63; I_P, A: 1;$$

$$\text{ЕП3.1(р)...3.4(р): } I_H = 7,41 \text{ A}; I_{ПК} = 3 \cdot I_H = 22,29 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 9,63 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПК} = 30,01 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 8,89 \text{ A};$$

$$C60L 2P C; I_{НОМ}, A: 63; I_P, A: 10;$$

$$\text{ВРП: ЩО1-ЩО2: } I_H = 24,58 \text{ A}; I_{ПК} = (24,58 - 9,0 - 7,41) + 2 \cdot 9,0 + 3 \cdot$$

$$7,41 = 8,17 + 18,0 + 22,23 = 48,40 \text{ A};$$

$$I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 31,95 \text{ A}; I_{ВДС} \geq 1,35 \cdot I_{ПК} = 65,34 \text{ A};$$

$$I_T = 1,2 \cdot I_H = 29,50 \text{ A};$$

$$BA 88-32; I_{НОМ}, A: 125; I_P, A: 32;$$

ВРП – РП1 – РП2 – ЩО1–ЩО2:  $I_H = 503,0 \text{ A}$ ;  $I_{ШК} = (503,0 - 274,0) + 5 \cdot 274,0 = 1599,0 \text{ A}$ ;  $I_{НОМ} = 1,3 \cdot I_H = 653,9 \text{ A}$ ;  
 $I_{ВДС} \geq 1,25 \cdot I_{ШК} = 1998,75 \text{ A}$ ;  $I_T = 1,2 \cdot I_H = 603,6 \text{ A}$ ;  
 ВА 88–43;  $I_{НОМ}, \text{ A}: 1600$ ;  $I_P, \text{ A}: 1000$ .

### 3.4 Проектне рішення

- на ВРП встановити рубильник типу РРБ 3–6 (рубильник на номінальну силу струму 630 А (габарит б));
- у приміщенні кімнати майстрів встановити один вимикач освітлення двополюсний з клавішним приводом типу С2-06-6/220 та чотири розетки для внутрішньої установки із заземлюючим контактом типу РШ-п-20-С-02-10/220;
- на щитках освітлювальних встановити автоматичні вимикачі: триполюсний вхідний типу ВА 88–32 (габарит – 125 А; розчіплювач – 32 А); однополюсні для світильників на ділянцях та в кімнаті майстрів типу С60L 1P \_ С (габарит – 63 А; розчіплювачі – 16 А, 10 А та 1 А ); двополюсний для розеток з розчіплювачем струму в нульовому проводі й фазі типу С60L 2P 10А С (габарит – 63 А; розчіплювач – 10 А);
- проводку для світильників провести в сталевих трубах марки 15 довжиною 86 м всередині приміщень діляниць проводом марки ПВЗ–1,0–0,66 в кількості 120 м та в кімнату майстрів проводом марки ПВЗ–0,5–0,66 в кількості 75 м; коробки протяжні з'єднувальні типу У 994М під'єднати до щитків освітлювальних проводом: ПВ 3–1,0–0,66 в кількості 25 м;
- для освітлення діляниць ливарного виробництва встановити світильники в кількості 12+8 шт. типу ГСП 04В–400–512 з лампами високого тиску типу ДРІ–400–6; в кімнаті майстрів - світильники в кількості 3 шт. типу ЛПО 21-2x65 з люмінесцентними лампами типу ЛБР 65 чи світильники із світлодіодними лампами типу ДПО–01–НСП–4А;
- передбачити захист ВРП від струмів к.з. зі сторони навантаження (РП1–РП2 та ЩО1–ЩО2) - запобіжниками ППНИ-39-3 (плавкі уставки – 630 А) –3 шт.;
- вхід ввідно–розподільчого пристрою буде комутувати автоматичний вимикач ВА88-43 (габарит – 1600 А, розчіплювач - 1000 А) та рубильник

триполюсний типу РПБ 3-6 (габарит - 630 А);

- до ВРП від комплектної трансформаторної підстанції провести кабель силовий броньований з ПВХ-ізоляцією та ПВХ-шлангом АВБШв 3×240+1×70 зовнішньою провідкою = 10 м;

- на щитку збірному КТП для електроживлення ливарно-механічного виробництва виділити комірку з автоматичним вимикачем ВА88-43 (габарит – 1600 А, розчіплювач - 1000 А).

### 3.5 Максимальні струми кіл навантаження силового трансформатора

Струми короткого замикання в мережі 10 кВ визначаємо в іменованих одиницях. Для цього складаємо розрахункову схему і схему заміщення електромережі підприємства (див. рис. 3.1 та рис. 3.2):

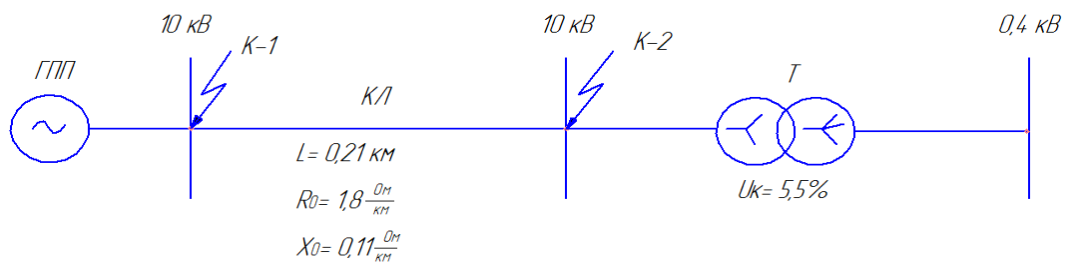


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема електромережі 10 кВ

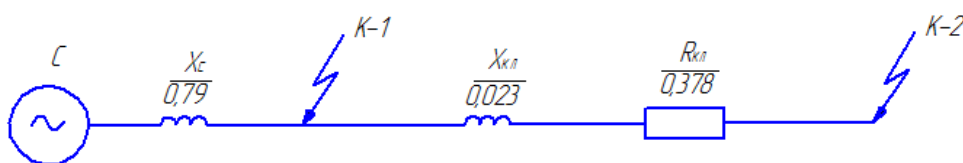


Рисунок 3.2 - Схема заміщення електромережі 10 кВ

Розраховуємо джерело живлення за повною потужністю:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_\infty \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (3.1)$$

де  $U_n = 10 \text{ кВ}$  - ном. напруга електромережі;

$I_\infty = 8,1 \text{ кА}$  - струм трифазного к.з. на шинах ГПП.

Отримаємо:

$$S_c = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 8,1 = 140,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Джерело живлення за опором:

$$x_c = \frac{U_{cp}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{140,1} = 0,79 \text{ Ом}.$$

Схема заміщення за опорами елементів:

$$r_{кл} = r_0 \cdot l [\text{Ом}];$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot l [\text{Ом}],$$

де  $r_0, x_0$  - пит. активні та індуктивні опори кабелю;

$l = 0,21 \text{ км}$  – довжина кабелю.

Тоді:

$$r_{кл} = 1,8 \cdot 0,21 = 0,378 \text{ Ом};$$

$$x_{кл} = 0,11 \cdot 0,21 = 0,023 \text{ Ом}.$$

Так як струм к.з. в точці К-1 рівний:  $I_{\infty 1} = 8,1 \text{ кА}$ , то перехідний струм к.з. :  
 $I_1'' = I_{\infty 1} = 8,1 \text{ кА}.$

Потужність к.з. в точці К-1:

$$S_{кз1} = S_c = 140,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Ударний струм к.з. в точці К-1:

$$i_{y1} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_1''; \quad i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 8,1 = 22,3 \text{ кА},$$

де  $K_y = f\left(\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}\right)$  – ударний коеф., який визначається за рис. 5-10 [12].

Розрахуємо струм короткого замикання в точці К-2.

Опір сумарний до точки К-2:

$$r_{\Sigma 2} = r_{кл} = 0,378 \text{ Ом};$$

$$x_{\Sigma 2} = x_c + x_{кл}; \quad x_{\Sigma 2} = 0,79 + 0,023 = 0,813 \text{ Ом};$$

$$z_{\Sigma 2} = \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2}; \quad z_{\Sigma 2} = \sqrt{0,378^2 + 0,813^2} = 0,9 \text{ Ом}.$$

Струм трифазного короткого замикання в цій точці:

$$I_{\infty 2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma 2}}; \quad I_{\infty 2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,9} = 6,42 \text{ кА};$$

$$I_2'' = I_{\infty 2} = 6,42 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_2''; \quad i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,42 = 16,2 \text{ кА}.$$

Потужність к.з. в точці К-2:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\infty 2}; \quad S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 6,42 = 111 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогічно розраховуємо струми к.з. в мережі 0,4 кВ ливарно-механічного виробництва. Розрахункова схема електромережі виробництва (див. рис. 3.3) та схема заміщення (див. рис. 3.4).

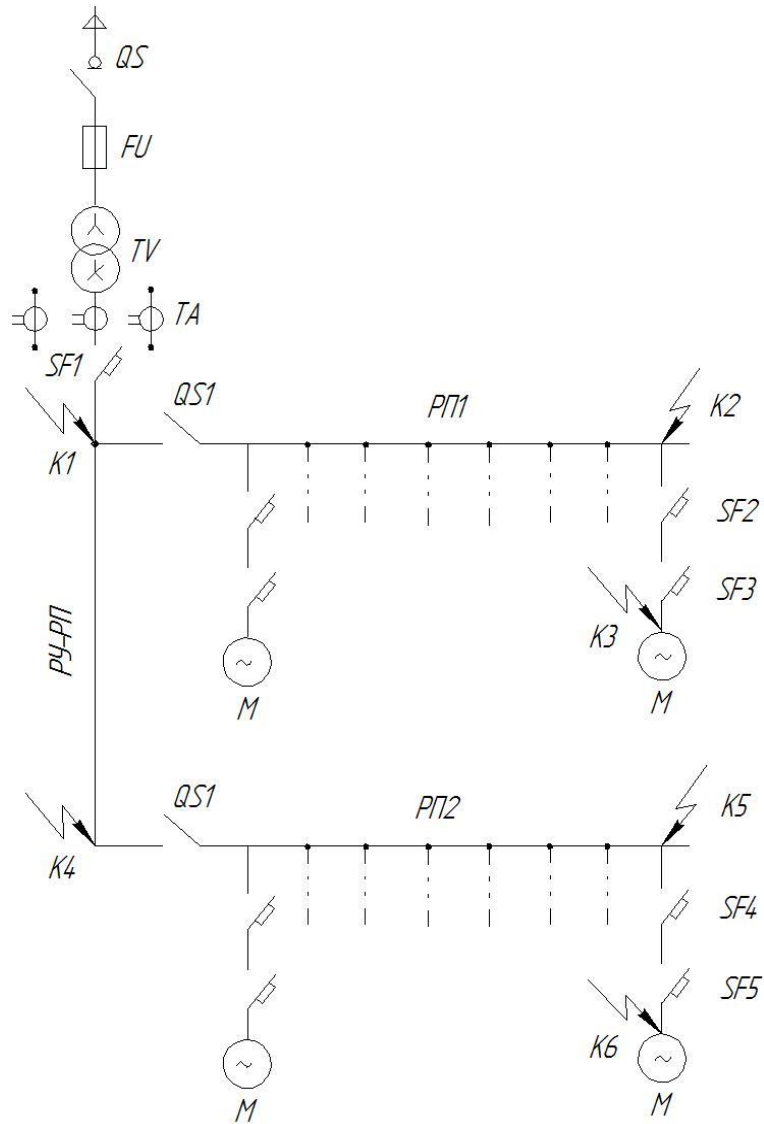


Рисунок 3.3 - Схема струмів к.з. розрахункова електромережі 0,4 кВ

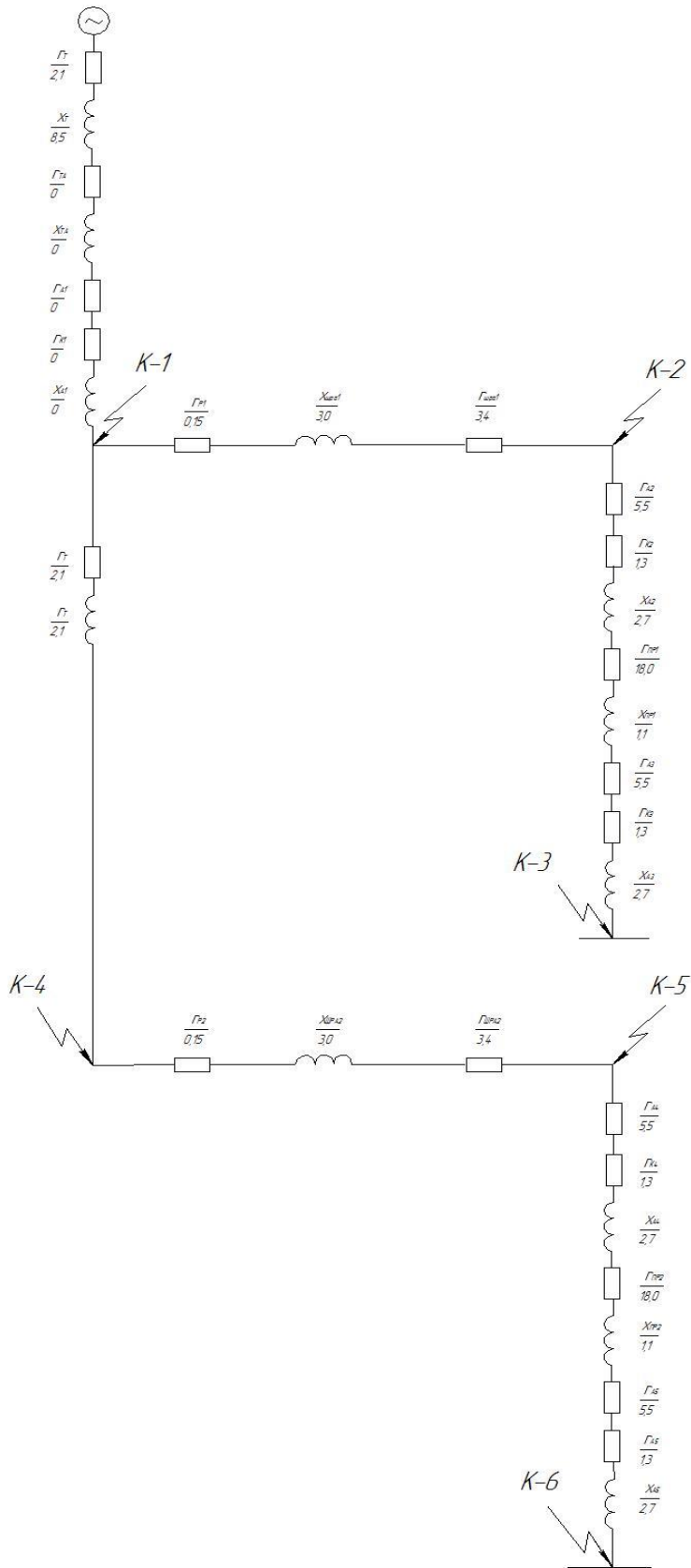


Рисунок 3.4 - Схема заміщення для визначення струмів к.з.

Розрахункові опори елементів, які відповідають схемі заміщення:

$$r_T = 2,2 \text{ мОм};$$

$$r_{A2} = 5,4 \text{ мОм};$$

$$x_{A4} = 2,6 \text{ мОм};$$

$$\begin{array}{lll}
x_T = 8,4 \text{ мОм}; & r_{K2} = 1,2 \text{ мОм}; & r_{A5} = 5,4 \text{ мОм}; \\
r_{TA} = 0,0 \text{ мОм}; & x_{A2} = 2,8 \text{ мОм}; & r_{K5} = 1,2 \text{ мОм}; \\
x_{TA} = 0,0 \text{ мОм}; & r_{K3} = 1,4 \text{ мОм}; & x_{A5} = 2,6 \text{ мОм}; \\
r_{A1} = 0,0 \text{ мОм}; & x_{A3} = 2,8 \text{ мОм}; & \\
r_{K1} = 0,0 \text{ мОм}; & r_{P2} = 0,16 \text{ мОм}; & \\
x_{A1} = 0,0 \text{ мОм}; & r_{A4} = 5,4 \text{ мОм}; & \\
r_{P1} = 0,16 \text{ мОм}; & r_{K4} = 1,2 \text{ мОм}; &
\end{array}$$

Опори схеми заміщення підібрані відповідно табл. 9.1 [12].

Опори для ліній з розподільчими пристроями:

$$\begin{array}{l}
r_{PI1} = r_o \cdot l; \quad r_{PI1} = 0,085 \cdot 40 = 3,4 \text{ мОм}; \\
x_{PI1} = x_o \cdot l; \quad x_{PI1} = 0,075 \cdot 40 = 3,0 \text{ мОм}; \\
r_{PI2} = r_o \cdot l; \quad r_{PI2} = 0,085 \cdot 40 = 3,4 \text{ мОм}; \\
x_{PI2} = x_o \cdot l; \quad x_{PI2} = 0,075 \cdot 40 = 3,0 \text{ мОм}; \\
r_{PY-PI} = r_o \cdot l; \quad r_{PY-PI} = 0,031 \cdot 40 = 1,24 \text{ мОм}; \\
x_{PY-PI} = x_o \cdot l; \quad x_{PY-PI} = 0,017 \cdot 40 = 0,68 \text{ мОм}; \\
r_{np1} = r_o \cdot l; \quad r_{np1} = 1,8 \cdot 10 = 18 \text{ мОм}; \\
x_{np1} = x_o \cdot l; \quad x_{np1} = 0,11 \cdot 10 = 1,1 \text{ мОм}; \\
r_{np2} = r_o \cdot l; \quad r_{np2} = 1,8 \cdot 10 = 18 \text{ мОм}; \\
x_{np2} = x_o \cdot l; \quad x_{np2} = 0,11 \cdot 10 = 1,1 \text{ мОм};
\end{array}$$

де  $x_o, r_o$  - питомі індукт. та активн. опори лінії,  $\text{Ом/км}$  (табл. 7.3, 7.4, 7.7 [12]);  
 $l$  - довжина ліній,  $\text{км}$ .

Значення сумарних опорів  $r_\Sigma, x_\Sigma, z_\Sigma$  для розрахункових точок к.з. заносимо в табл.3.1.

Значення трифазних струмів к.з. у розрахункових точках схеми заміщення заносимо у табл.3.1:

$$I_\infty^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot z_\Sigma} [\text{кА}]; \dots I'' = I_\infty^{(3)}, \quad (3.2)$$



де  $U_H = 380 \text{ В}$  - ном. напруга електромережі.

Значення ударних струмів к.з. та потужності к.з. заносимо у табл. 3.1

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I'' [\text{кА}]. \quad (3.3)$$

$$S_{\text{к.з.}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_\infty^{(3)} \text{ МВ} \cdot \text{А}. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 - Значення струмів к. з. у розрах. точках електромережі 0,4 кВ

| Точка<br>к.з. | Опори схеми, МОм |            |            | $\frac{x_\Sigma}{r_\Sigma}$ | $K_y$ | $I_\infty^{(3)}$ ,<br>кА | $I''$ ,<br>кА | $i_y$ ,<br>кА | $S_{\text{кз}}$ ,<br>МВ·А |
|---------------|------------------|------------|------------|-----------------------------|-------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------------|
|               | $r_\Sigma$       | $x_\Sigma$ | $z_\Sigma$ |                             |       |                          |               |               |                           |
| К- 1          | 2,2              | 8,4        | 8,75       | $\infty$                    | 1,94  | 25,2                     | 25,2          | 68,8          | 16,5                      |
| К- 2          | 5,64             | 11,3       | 12,7       | 2,1                         | 1,23  | 17,3                     | 17,2          | 29,5          | 11,6                      |
| К- 3          | 37,23            | 15,1       | 40,1       | 0,3                         | 1,10  | 5,45                     | 5,45          | 7,6           | 3,5                       |
| К- 4          | 3,35             | 9,17       | 9,76       | 2,6                         | 1,31  | 22,4                     | 28,4          | 41,1          | 14,7                      |
| К- 5          | 6,87             | 12,17      | 14,1       | 1,9                         | 1,22  | 15,6                     | 15,6          | 26,5          | 10,3                      |
| К- 6          | 38,43            | 18,66      | 42,5       | 0,6                         | 1,01  | 5,2                      | 5,2           | 7,2           | 3,2                       |

### 3.6 Вибір електрообладнання трансформаторної підстанції й низьковольтної електромережі

Проведемо розрахунок для вибору високовольтного автоматичного вимикача, який встановлений на ЗРП ТП 10кВ та вимикає високовольтну (ВВ) лінію, що живить підстанцію.

Результати розрахунків зведемо в табл. 3.2

Таблиця 3.2 - Розрахункові дані для вибору ВВ вимикача ЗРП ТП 10кВ

| Найменування<br>розрахункової величини                              | Результат розрахунку | Характеристика<br>вимикача згідно довідки |
|---|----------------------|---|
| 1. Ном. напруга, кВ<br>$U_{\text{НВ}} \geq U_{\text{НУ}}$           | 10                   | 10  |
| 2. Струм довготривалої дії, А<br>$I_{\text{НВ}} \geq I_{\text{PV}}$ | 36,7                 | 630                                       |
| 3. Струм відмикання, кА<br>$I_{\text{Відм}} \geq I_\infty$          | 8,2                  | 15  |

Продовження таблиці 3.2

|  |       |     |
|--|-------|-----|
| 4. Потужність відмикання, мВА<br>$S_{відм} \geq S_{Кз}$                                  | 140,3 | 150 |
| 5. Ударний струм к.з., кА<br>$i_{У.В} \geq i_{У}$  | 22,5  | 26  |
| 6. Струм термостійкості, кА<br>$I_{Н.Т.С.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{НТС}}}$ | 4,3   | 12  |

Згідно[12] вибору підлягає ВВ вимикач типу ВМН-10.

Проведемо вибір вимикача навантаження і запобіжника 10 кВ трансформаторної підстанції. Результати розрахунків зведемо в табл. 3.3

Таблиця 3.3 - Розрахункові дані для вибору вимикача навантаження і запобіжника

| №  | Найменування розрахункової величини                              | Результат розрахунку | Характеристика вимикача (запобіжника) згідно довідки |
|----|--|----------------------|--|
| 1. | Ном. напруга, кВ<br>$U_{НВ} \geq U_{НУ}$                         | 10                   | 10   |
| 2. | Струм довготривалої дії вимикача, А<br>$I_{НВ} \geq I_{Р}$       | 36,4                 | 40   |
| 3. | Струм довготривалої дії запобіжника, А<br>$I_{НВ} \geq I_{Р}$    | 36,3                 | 40   |
| 4. | Струм відмикання запобіжника, кА<br>$I_{Відм} \geq I_{\infty}$   | 6,44                 | 12   |
| 5. | Потужність відмикання запобіжника, мВА<br>$S_{відм} \geq S_{Кз}$ | 111,2                | 150  |
| 6. | Ударний струм к.з., кА<br>$i_{У.В} \geq i_{У}$                   | 16,3                 | 26   |

Згідно [12] вибору підлягає автоматичний вимикач типу ВНП-17УЗ і запобіжник типу ПК-101.40.

Проведемо вибір трансформаторів струму, які встановлені на стороні низької напруги підстанції.

Результати розрахунків зведемо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Розрахункові дані для вибору трансформаторів струму

| №  | Найменування розрахункової величини   | Результат розрахунку | Характеристика тр-ра струму згідно довідки |
|----|---|----------------------|--|
| 1. | Ном. напруга, кВ<br>$U_{HB} \geq U_{HV}$  | 0,37                 | 0,66                                       |
| 2. | Струм первинної обвитки, А<br>$I_{HB} \geq I_{PV}$  | 1001,2               | 1500                                       |
| 3. | Потужність на вторинну обвитку, кА<br>$S_{2H} \geq S_2$   | 4,84                 | 20   |
| 4. | Кратність доп. струму ел.-динамічної стійкості<br>$K_{dм} \geq \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{HT}}$ | 32,7                 | 40   |
| 5. | Кратність струму термостійкості, кА<br>$I_{HT.C.} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_H}{t_{HTC}}}$     | 4,16                 | 20   |

Згідно [12] вибору підлягають тр-ри струму типу ТНШЛ-0,66.

Визначення допустимого навантаження на вторинне коло трансформатора струму проводимо згідно виразу:

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

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:

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

Проведемо вибір автоматичного вимикача, який встановлений на ЗРП-0,4 кВ підстанції. Результати розрахунків зведемо в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахункові дані для вибору вимикача 0,4 кВ

| №  | Найменування розрахункової величини      | Результат розрахунку | Характеристика вимикача згідно довідки |
|----|--|----------------------|--|
| 1. | Ном. напруга, кВ<br>$U_{HA} \geq U_{HV}$ | 0,39                 | 0,66                                   |

### Продовження таблиці 3.5

|    |  |        |      |
|----|--|--------|------|
| 2. | Струм довготривалої дії, А<br>$I_{HA} \geq I_P$  | 1001,2 | 1500 |
| 3. | Струм відмикання, кА<br>$I_{відм} \geq I_\infty$ | 25,3   | 30   |

Згідно [12] вибору підлягає автоматичний вимикач типу АВМ-10 (типу ВА88-43 (габарит – 1600 А, розчіплювач - 1000 А)).

### 3.7 Перевірка струмопровідних частин на термічну стійкість

Визначимо термічну стійкість кабельної лінії, що з'єднує ВРП з силовим трансформатором. Умова перевірки така:

$$S_{\min} \leq S_n \text{ мм}^2,$$

де  $S_n$  - січення силового кабелю,  $\text{мм}^2$ .

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

де  $I_\infty$  - усталений струм к.з. на ВРП (початку лінії), А;

$t_n$  - приведена тривалість дії струму к.з., с;

$C = 85$  - коеф. для кабелю з алюмінієвими жилами.

Результат розрахунку:

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

Оскільки,  $S_{\min} = 205,9 \text{ мм}^2 \leq S_n = 240 \text{ мм}^2$ , робимо висновок, що кабель живлення (кабель силовий броньований з ПВХ-ізоляцією та ПВХ-шлангом АВБбШв  $3 \times 240 + 1 \times 70$ ) вибраний вірно.

### 3.8 Особливості побудови схем електропостачання у мережах з вищими гармоніками

В розділі 1 було вказано, що для таких малопотужних споживачів як системи управління з автоматичною обробкою електричних сигналів

високоточних маніпуляційних комплексів з ЧПУ ливарних машин, 3–D оброблюваних центрів, верстатів для надточного механічного оброблення деталей литва проблема дотримання нормованих показників якості електроенергії на їх вході є надзвичайно актуальною.

У зв'язку з широким застосуванням електроспоживачів з нелінійною вольт-амперною характеристикою проблема несинусоїдності напруги є в даний час однією з основних при проектуванні електропостачання промислових підприємств, особливо при застосуванні потужних керованих вентильних перетворювачів.

Державний стандарт на якість електроенергії ГОСТ 13109–97 (діючий; перевид. 01.2002) допускає на затискачах електроспоживачів несинусоїдність форми кривої напруги, при якій діюче значення всіх вищих гармонік не повинно перевищувати 5% діючого значення напруги основної частоти. Так, при роботі керованих вентильних перетворювачів коефіцієнт несинусоїдності може сягати 20-25% і більше.

В зв'язку з цим в мережах з симетричними нелінійними навантаженнями ведуться розробки з виготовлення і впровадження комплексних фільтрокомпенсуючих (ФКП) та фільтросиметруючих (ФСП) пристроїв, які забезпечують одночасно компенсацію реактивної потужності основної частоти, фільтрацію вищих гармонік, компенсацію змін напруги, а також симетрування напруги мережі.

В мережах з вентильними перетворювачами склад гармонік і їх амплітуди залежать від схеми випрямлення, кута регулювання, а також від характеру навантаження. Дослідженнями встановлено, що в первинному струмі перетворювача виникають гармоніки, які задовільняють такій умові:

$$\nu = mk + 1,$$

де  $\nu$  – порядок гармоніки;

$m$  – число фаз випрямлення;

$k = 1, 2, 3 \dots n$  – числа натурального ряду:

- для 6-фазної схеми випрямлення  $\nu = 7, 11, 13, 17, 19$  і т.д.;
- для 12-фазної -  $\nu = 11, 13, 23, 25, 35, 37$  і т.д.;
- для 24-фазної -  $\nu = 23, 25, 47, 49, 71, 73$  і т.д.

Амплітуда гармоніки  $I_v$  по відношенню до амплітуди основної гармоніки  $I_1$  (при частоті 50 Гц) обернено пропорційна номеру гармоніки  $v$ :

$$I_v = \frac{I_1}{v}.$$

Хороші результати дає застосування так званих резонансних фільтрів, що складаються з послідовно з'єднаних реакторів  $L$  і конденсаторної батареї  $C$ . Кожний фільтр налаштовується на певну частоту вищої гармоніки:

$$v\omega L = \frac{1}{v\omega C}.$$

Несинусоїдність напруги характеризується значенням коефіцієнта спотворення кривої напруги  $K_{НСV}$ , %, який визначається відношенням діючого значення вищих гармонік напруги  $U_{(n)}$  до номінальної напруги  $U_{ном}$  згідно виразу:

$$K_{НСV} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{ном}}.$$

Значення коефіцієнта несинусоїдності  $K_{НСV}$ , %, в електричних мережах:

- до 1 кВ - не більше 5 (10 - максимальне значення);
- 6 - 20 кВ - не більше 4 (8 - максимальне значення);
- 35 кВ - не більше 3 (6 максимальне значення);
- 110 - 330 кВ - не більше 2 (4 максимальне значення).

Коефіцієнти  $n$ -ї гармонічної складової напруги  $K_{V(n)}$ , % обчислюють за допомогою формули:

$$K_{V(n)} = 100 \frac{U_{(n)}}{U_{ном}}.$$

При несинусоїдній напрузі спостерігається прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, конденсаторів та кабелів в результаті незворотних фізико-хімічних процесів, які відбуваються під впливом полів вищих гармонік, а також підвищеного нагрівання струмопровідних частин. Струми вищих гармонік зумовлюють підвищення втрат електроенергії в лініях електропередач.

Втрати активної потужності додаткові через несиметрію і несинусоїдність напруги не залежать від навантаження асинхронних двигунів і визначаються з

виразу [22]:

$$\Delta P_{\text{АД}} = \Delta P_{\text{м1ном}} \cdot k_{\text{п}}^2 \left( 2,41 \cdot K_{2\text{U}}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \cdot \frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right),$$

де  $\Delta P_{\text{м1ном}}$  - втрати в обвитці статора при ном. струмі осн. частоти;

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

$K_{2\text{U}}$  – коеф. несиметрії напруги зворотної послідовності;

$U_v$  – відношення напруги  $v$ -ої гармоніки до ном.;

знак «+» під знаком кореня: симетричні складові гармонік з полями обертання, зустрічними полю осн. гармоніки, а знак «-» - попутні.

Спрощений вираз для додаткових втрат активної потужності [22]:

$$P_{\text{АД дод}} = \left( k_2 \cdot K_{2\text{U}}^2 + k_{\text{Г}} \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v \cdot \sqrt{v}} \right) \cdot \frac{P_{\text{н}}}{10^4}, \quad (2.3)$$

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

Для асинхронних двигунів коефіцієнти виразів такі:

$$k_2 = 2,41k_{\text{д}}; \quad k_{\text{Г}} = 2k_{\text{д}}; \quad k_{\text{д}} = 1 + 0,02(100 - P_{\text{н}}) \quad \text{при } 5 < P_{\text{н}} \leq 100 \text{ кВт.}$$

Додаткове перегрівання обмоток асинхронного електродвигуна з тепловим конструктивним параметром  $B$  через несиметрію і несинусоїдність напруги живлення обчислюють за формулою [22]:

$$\Delta \tau = \frac{\Delta P_{\text{м1ном}} \cdot k_{\text{п}}^2}{B} \left( 1,55 \cdot K_{2\text{U}}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 \cdot \frac{\sqrt{v} + 0,39 \cdot \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right).$$

Термін служби ізоляції електродвигуна з коефіцієнтами  $C$  і  $b$  даного виду ізоляції та при температурі  $\theta$  визначається згідно емпіричної формули [22]:

$$Z = C e^{-b\theta}.$$

Відносна тривалість служби ізоляції при температурі  $\theta$  та перевищенням температури визначається з виразу:

$$z = \frac{Z}{Z_{\text{ном}}} = e^{-b\Delta\tau}.$$

В практичних розрахунках використовується також спрощений вираз:

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

### 3.8.1 Будова вузла покращення якості електроенергії

На листі Вузол якості електроенергії. Схема електрична принципова подана розроблена на основі мікропроцесорного регулятора реактивної потужності типу BR6000-6R/T фірми "Ercos" схема принципова електричних з'єднань вузла якості електроенергії та перелік її елементів. Вузли в кількості 2-х штук вмонтовуються у місці розташування розподільчих пристроїв №1 та №2.

Антирезонансний дросель призначений для захисту фазних конденсаторів від гармонік. Найбільшого застосування набули антирезонансні дроселі, які зміщують резонансну частоту так, що контур «дросель–конденсатор» має тільки індуктивний характер по відношенню до всієї мережі на частоті відповідної гармоніки, для захисту від якої застосовується дросель, а також на більш високих частотах. Антирезонансний дросель характеризується значним опором на частоті гармоніки. Індуктивний характер опору конденсаторної батареї на частоті гармоніки обумовлює 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  $p = (f_l / f_R) \cdot 100[\%] = 14\%$ , де  $f_l$  - частота струму мережі,  $\Gamma\text{ц}$ ;  $f_R$  - частота резонансу послідовної системи «дросель–конденсатор», при  $f_l = 50 \Gamma\text{ц}$  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 наступна інформація: кількість комутацій, максимальні значення напруги, активної, реактивної та повної потужності, а також температура.

Таким чином, в кваліфікаційній роботі розроблена виокремлена система місцевого 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 ливарно–механічного обладнання з ЧПУ.

Вузол 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.

### **3.9 Висновки до розділу**

Здійснений вибір площі перерізу проводів і жил кабелів, якими подається живлення від розподільчих пристроїв до електроприймачів, а також вибір захисної апаратури електромережі ливарно-механічного виробництва. Сформований кабельний журнал та прийняте проектне рішення щодо встановлення комутуючої апаратури.

Проведений розрахунок максимальних струмів в колах навантаження силового трансформатора, а також здійснений вибір захисного й комутуючого обладнання на високій та низькій сторонах трансформаторної підстанції.

Проведена перевірка кабельної лінії живлення електрообладнання виробництва на термічну стійкість.

Досліджені особливості побудови схем електропостачання у мережах з вищими гармоніками. Подані математичні моделі додаткових втрат активної потужності, нагріву ізоляції обвиток статора та тривалості служби ізоляції від наявності в електромережі вищих гармонік й несиметрії мережі.

Розроблений вузол покращення якості електроенергії для виокремленої системи живлення апаратури керування верстатами з ЧПУ в умовах ливарно-механічного виробництва.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Заходи електробезпеки при експлуатації електроустановок на ливарно–механічному виробництві

При роботі на технологічних установках виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки [28]:

- 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 [17]:

- ізоляцію струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних 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 струмопровідних 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 неізолюваних струмопровідних частин в електроустановках, що живляться від ізолюваної від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією. Отже, одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є перевірка ізоляції струмопровідних частин [15].

Ще одним із заходів при вирішенні питань електробезпеки є застосування блокувальних пристроїв безпеки. Призначення блокувальних пристроїв безпеки: унеможливити доступ до неізолюваних струмопровідних 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, ізолюваних від землі. В мережах, ізолюваних 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 згідно норм ПУЕ становить не менше  $10^5$  Ом [20]. Таким чином, виконання мереж, ізолюваних 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, ізолюваних 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 Вплив шуму на організм людини і розроблення заходів щодо зниженню рівня шуму у виробництві**

Будь-який небажаний для людини звук, робить негативний вплив на здоров'я і працездатність. Як фізичне явище, звук - механічні коливання пружного

середовища, яке сприймається людським вухом в інтервалі частот (16 ... 20000) Гц. До частоти 16 Гц це - інфразвукові коливання, а частотою понад 20000 Гц це - ультразвук.

Інтенсивність шуму є одним із шкідливих факторів виробничого середовища, що негативно впливають не лише на слух, але й на нервову, серцево-судинну та інші системи організму. Судинні розлади та захворювання нервової системи в більшій мірі обмежують працездатність людини, ніж зниження слуху.

Захист від шуму досягається розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами [1].

Засоби колективного захисту поділяють стосовно джерела шуму на понижуючі шум у джерелі виникнення (найбільш ефективні) й понижуючі шум на шляхах його поширення. Згідно способу реалізації - поділяють на акустичні, які ґрунтуються на акустичному вимірі приміщення, а за принципом дії підбираються засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізолювання, демпферування, застосування глушників шуму. Як будівельно-акустичні методи застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінки спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення та ін.

Найбільш ефективні звукоізолюючі матеріали: трипласт (композиційний матеріал); пластобетони з наповненням опилками деревини, соломи та ін. Звукопоглинні матеріали: мрамур, бетон, граніт, цегла, плити на основі опилок, повсть, мінеральна вата, матеріали з щільною перфорацією [23].

Серед архітектурно-планувальних заходів розрізняють: раціональне розміщення робочих місць; раціональний режим праці і відпочинку.

До організаційно-технічних заходів належать: активна форма захисту - генерація шуму в протифазі до джерела, а також засоби індивідуального захисту: навушники, вушні вкладки, шлемофони, каски.

Використання засобів захисту від шкідливого впливу шуму на організм працівників забезпечить дотримання нормованого рівня шуму на виробничих ділянках згідно ГОСТ 12.1.003–83 «Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки» (Перевид. із зм. 2008 р.), який не перевищує 80 дБ.

### 4.3 Заходи пожежної безпеки на ливарно–механічному 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 ливарного виробництва, 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.

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 [15].

В електроустановках в безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні проводи, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надмірної теплоти служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи є додатковою пожежною небезпекою, а приміщення їх розташування відносять до *категорії В* пожежної безпеки згідно норм НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

Енергопостачання приміщення здійснюється від трансформаторної станції. На трансформаторних підстанціях 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, застосовуються 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.

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 пультав (станцій).

Відповідно до «Типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств» приміщення обладнується димовими пожежними сповіщувачами. Їх застосовують в тих приміщеннях, де на початку пожежі при горінні різних мастильних, пластмасових, ізоляційних матеріалів виділяється значна кількість диму, але ще мало теплоти.

Використання заходів і засобів пожежної безпеки допоможе врятувати життя працівників та матеріальні цінності виробництва, а також сприятиме зменшенню впливу пожеж на виробництво продукції.

#### **4.4 Підвищення стійкості ливарно–механічного виробництва в умовах можливих надзвичайних ситуацій**

Проблема підвищення стійкості функціонування підприємств народного господарства в сучасних умовах здобуває все більшого значення. Це пов'язано з рядом причин, основними з яких є [13]:

- ослаблення механізмів державного регулювання і безпеки у виробничій сфері, зниження трудової і технологічної дисципліни виробництва на всіх рівнях, а також зниження протиаварійної стійкості виробництв, що відбулося в результаті тривалої структурної перебудови економіки ;

- високий прогресуючий знос основних виробничих фондів, особливо на підприємствах хімічного комплексу, нафтогазової, металургійної і гірничодобувної промисловості з одночасним зниженням темпів відновлення цих фондів;

- підвищення технологічної потужності виробництва, ріст обсягів транспортування, збереження і використання небезпечних речовин, матеріалів і виробів, а також нагромадження відходів виробництва, що представляють загрозу населенню і навколишньому середовищу.

Стійкість функціонування виробництв в умовах надзвичайних ситуацій (НС) - це їх здатність попереджувати виникнення аварій і катастроф, протистояти впливові вражаючих факторів з метою запобігання або обмеження загрози життю, здоров'ю персоналу, населення, що проживає поблизу, зниження матеріального збитку, а також забезпечувати відновлення порушеного виробництва в мінімально короткий термін.

Під підвищенням стійкості функціонування виробництв в умовах можливих НС розуміють комплекс заходів щодо запобігання або зниження загрози життю і здоров'ю персоналу і проживаючого поблизу населення, матеріального збитку в період НС, а також підготовці до проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у зоні НС.

В основі оцінки впливу на життєдіяльність лежить оцінка стійкості об'єкта, тобто його здатність функціонувати в умовах надзвичайної ситуації.

Оцінка стійкості промислових виробництв здійснюється згідно таких основних напрямків [13, 27]:

- ймовірність виникнення надзвичайної ситуації на самому об'єкті або поблизу нього та можливість впливу на його життєдіяльність;
- фізична стійкість будинків і споруд;
- надійність захисту персоналу;
- стійкість системи керування;



- надійність матеріально-технічного постачання і виробничих зв'язків;
- готовність об'єкта до відновлення порушеного виробництва.

*Фізична стійкість об'єкта* оцінюється послідовно внаслідок впливу кожного вражаючого фактора на окремі елементи: будинки і споруди, технологічне й інше устаткування, комунально-енергетичні мережі, а також вплив вторинних вражаючих факторів на людей.

*Надійність захисту персоналу* визначають з огляду на велику кількість елементів: кількість споруд, що можуть бути використані для укриття і їх захисні властивості; загальну їх місткість з урахуванням можливого переповнення; максимальну кількість працівників, яких буде потрібно укрити; кількість відсутніх місць у захисних спорудах та інших укриттях; наявність приміщень для укриття від сильнодіючих отруйних речовин.

*Стійкість системи керування об'єкта* оцінюється по наявності захищеності, готовності пунктів керування і засобів зв'язку. Повинен бути план заміщення керівного складу об'єкта на випадок втрат.

*Надійність матеріально-технічного постачання (МТС) і виробничих зв'язків* оцінюється згідно наступних параметрів:

- запаси сировини, палива, що комплектують вироби, й інших матеріалів, що забезпечують автономну роботу об'єкта;
- нерозривність існуючих зв'язків з постачальниками комплектуючих виробів і споживачами готової продукції;
- наявність і реальність планів переходу виробництва на використання місцевих ресурсів.

*Готовність об'єкта до відновлення порушеного виробництва* оцінюється згідно:

- наявності планів і графіків відновлення об'єкта при одержанні слабких і середніх руйнувань;
- забезпеченості відбудовних робіт матеріалами, устаткуванням, будівельними конструкціями;
- наявності і якості технічної документації для проведення відбудовних робіт.

*Організаційними заходами* забезпечуються завчасна розробка і планування

дій органів керування, сил і засобів, усього персоналу об'єктів при загрозі виникнення і виникненні НС.

*Інженерно-технічними заходами* здійснюється підвищення фізичної стійкості будинків, споруд, технологічного устаткування й у цілому виробництва, а також створення умов для його найшвидшого відновлення, підвищення ступеня захищеності людей від вражаючих факторів НС.

*Спеціальними заходами* досягається створення сприятливих умов для проведення успішних робіт із захисту і порятунку людей, що потрапили в небезпечні зони, найшвидшої ліквідації НС та їхніх наслідків.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досліджено підвищення енергоефективності системи електропостачання промислового підприємства з технологією виробництва відливок, ливарно-механічне обладнання якого оснащено сучасними високотехнологічними комплексами з числовим програмним управлінням.

Отримані такі результати:

1. Поданий аналіз використання верстатів з числовим програмним керуванням й гнучких автоматизованих виробництв для виготовлення відливок на ливарно-механічному виробництві.

2. Проаналізований комплекс проблем ефективності функціонування систем електропостачання промислових підприємств та визначені методи її підвищення.

3. Обґрунтований підхід до віднесення окремих ділянок ливарного виробництва до відповідної категорії надійності й проведений вибір схеми силової мережі.

4. Подана загальна характеристика основного виробництва, його величини споживання й схеми розміщення виробничих потужностей та системи електропостачання підприємства.

5. Складена схема електропостачання ливарно-механічного виробництва та проведений розрахунок її електричних навантажень з вибором центрів.

6. Проведений розрахунок електричних навантажень виробничого обладнання, освітлення, потужності ввідно-розподільчого пристрою та силового трансформатора.

7. Проведений вибір компенсуючих пристроїв реактивної потужності ливарного виробництва та марки і перерізу високовольтних живильних струмоведучих частин.

8. Здійснений вибір площі перерізу проводів і жил кабелів, якими подається живлення від розподільчих пристроїв до електроприймачів, а також вибір захисної апаратури електромережі ливарно-механічного виробництва. Сформований кабельний журнал та прийняте проєктне рішення щодо встановлення комутуючої апаратури.

9. Проведений розрахунок максимальних струмів в колах навантаження силового трансформатора, а також здійснений вибір захисного й комутуючого обладнання на високій та низькій сторонах трансформаторної підстанції.

10. Проведена перевірка кабельної лінії живлення електрообладнання виробництва на термічну стійкість.

11. Досліджені особливості побудови схем електропостачання у мережах з вищими гармоніками. Подані математичні моделі додаткових втрат активної потужності, нагріву ізоляції обвиток статора та тривалості служби ізоляції від наявності в електромережі вищих гармонік й несиметрії мережі.

12. Розроблений вузол покращення якості електроенергії для виокремленої системи живлення апаратури керування верстатами з ЧПК в умовах ливарно-механічного виробництва.

Розробка системи електропостачання виробництва відливок підвищить її енергоефективність, а також сприятиме безпечній роботі персоналу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2009, 360 с.
2. Бойчик І. М. Економіка підприємств: Навч. посібник / І. М. Бойчик, П. С. Харів, М. І. Хопчан. – Львів : «Сполом», 1998. – 235с.
3. Владимиров Ю. В. Влияние промышленных потребителей на потери в электрических сетях / Ю. В. Владимиров, В. С. Доля // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №2. – С. 53–56.
4. Воронцов Ф. Ф. Выбор сечения проводов и кабелей для электропроводок. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1962. – 135 с.
5. Голубев М. Л. Расчет уставок релейной защиты и предохранителей в сетях 0,4 – 35 кВ. – М. : Энергия, 1969.– 135 с.
6. 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.
7. Загорянська О. Л. Проблеми становлення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств в сучасних умовах розвитку // Ефективна економіка. Електронне наукове фахове видання – 2011. - №6. – С. 1-7.
8. Кобелев В.М. Сучасний стан та перспективи розвитку українського ринку електротехнічних виробів / В. М. Кобелев // Науковий журнал “Економіка розвитку”. - Харків: ХНЕУ, 2006. - С. 72-75.
9. Коваль В. П. Енергоефективність суміщеного освітлення // Матеріали III Всеукраїнської НТК «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування» (8-9 червня 2017 р.). - Т. : ТНТУ, 2017. - С. 211–212.
10. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
11. Князевский Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. – М. : Высшая школа, 1979. – 340 с.
12. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. - М. : Высшая школа, 1975. – 320 с.

13. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств : Підручн. для студ. електромех. спец. / В. І. Мілих, Т. П. Павленко. - Харків : ФОП Панов А. М., 2016. - 272 с.
14. Ниник Л. Р. Стійкість роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях. – Рівне : Вид-во УДАВГ, 1998. – 162 с.
15. Охорона праці в галузі : методичні вказівки / Укладач к.т.н., доц. каф. ТМ І. Г. Ткаченко. – Тернопіль, ТДТУ, 2001. – 32 с.
16. Охрана труда в электроустановках: Учебн. для вузов / Под ред. Б. А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
17. Пантелеев Е. Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: Справочник электромонтажника / Под ред. А. Д. Смирнова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с. : ил.
18. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : ДНАОП 0.00-1.21-1998 / Вид. офіційне. Мінпраці України. – К. : Офіційний вісник України, 12.03.1998. - №8. – С. 394.
19. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок : ДНАОП 0.00-1.32-2001. – К.: Київпромелектропроект, 2001.– 80 с.
20. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБН В 2.5-23–2003.– К.: Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2004. – 210 с.
21. Правила улаштування електроустановок. - 3-є вид., перероб. і доп. - Х. : Форт, 2010. - 732 с.
22. Севастьянов Р. В. Энергоэффективность промислових підприємств України та бар'єри з її впровадження / Р. В. Севастьянов, Я. Ю. Калітіна // Екон. вісник Запорізької держ. інж. акад. - 2016. - Вип. 1. - С. 28-35.
23. Сисак І. М. Підвищення ефективності системи електропостачання ливарно-механічного виробництва / І. М. Сисак, О. О. Вакуленко, Я. І. Шелевер // Матеріали Х МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (24–25 листопада 2021 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. II.– Тернопіль, 2021. – С. 41–42.
24. Справочник по охране труда на промышленном предприятии / К. Н. Ткачук, Д. Ф. Иванчук, Р. В. Сабарно. – К. : Техніка, 1991. – 192 с.

25. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт–Петербург. отд., 1992. – 448 с. : ил.

26. Федіна І. В. Енергозбереження при виробництві чорних та кольорових металів // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2014. - Вип. 4 (9). - С. 152–159.

27. Федоров А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с., ил.

28. Цивилев М. П. Инженерно-спасательные и неотложные аварийно-восстановительные работы в очаге ядерного поражения / М. П. Цивилев, А. А. Никаров, В. М. Суслин. – М. : Воениздат, 1975. – 286 с.

29. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник / Р. Б. Сабарно, А. Г. Степанов, А. В. Слонченко. – К. : Техніка, 1985. – 288с., с ил.