МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Забезпечення споживачів бесперебійним електроживленням протягом заданого часу

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1419-з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Гордієнко Б.І.

Керівник доц. Друбецька Т.І.

Консультант

Запоріжжя

2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.

Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський)_рівень_____
Спеціальність _141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., доц. В.Л.
Коваленко
"_20_" ___травня__2024 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту

_____ Гордієнко Богдану Івановичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи Забезпечення споживачів бесперебійним електроживленням протягом заданого часу

керівник роботи _____доц. Друбецька Т.І._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ЗНУ від «_26_» _грудня__2023__року №_2212 - с_
2. Строк подання студентом роботи: 20 травня 2024 року___
3. Вихідні дані бакалаврської роботи Потужність основного обладнання та режими роботи; поточний тариф за 1 кВттод. електроенергії

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; загальний аналіз систем гарантованого живлення об'єктів; аналіз споживання енергоресурсів цехом обробки критичноважливих деталей; забезпечення гарантованого електропостачання об'єкту

5. Перелік графічного матеріалу (лише у якості рекомендації): Принципова електрична схема розподільного живлення. Функціональна електрична схема розподільного живлення. План розташування електроспоживачів цеху. Елементи системи резервного живлення. Комбінована система енергопостачання об'єкту

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання прийняв	Завдання прийняв
Розділ 1	доц. Друбецька Т.І.		
Розділ 2	Адоц. Друбецька Т.І.		
Розділ 3	доц. Друбецька Т.І.		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання 30.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Системи гарантованого живлення об’єктів	01.03.24	
2	Електропостачання об’єкта	01.04.24	
3	Забезпечення гарантованого електропостачання об’єкту	01.05.24	

Студент _____ Гордієнко Б.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник/консультант роботи _____ Друбецька Т.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Гордієнко Б.І. Забезпечення споживачів бесперебійним електроживленням протягом заданого часу.

Дипломна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник доц. Друбецька Т.І. Запорізький національний університет, Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024 рік.

Під час виконання дипломного проекту було проведено розрахунок навантажень обраного об’єкту, вибрано живлячі мережі до 1 кВ та вище 1 кВ, силові трансформатори. Проведено розрахунок струмів короткого замикання.

Проведено аналіз та запропоновано рішення по резервному живленню об’єкту. За основу прийнята комбінована система електроживлення, яка дозволяє підвищити надійність роботи промислових споживачів.

Ключові слова: резервне живлення, безперебійне постачання електроенергії, джерела гарантованого живлення

ЗМІСТ

Вступ 6
1 Системи гарантованого живлення об’єктів 8
1.1 Аналіз існуючих систем гарантійного живлення 8
1.2 Аналіз джерел електричної енергії в системах гарантованого живлення 10
1.3 Визначення елементів системи гарантованого живлення 15
2 Електропостачання об’єкта 19
2.1 Загальні характеристики об'єкта 19
2.2 Класифікація електропостачання об’єкту 20
2.3 Визначення електричних навантажень об’єкту 23
2.4 Компенсація реактивної потужності 36
2.5 Розрахунок мереж електроживлення 38
3 Забезпечення гарантованого електропостачання об’єкту 49
3.1 Огляд енергоспоживачів цеху підвищеної черговості живлення 49
3.2 Аналіз способів забезпечення резервного електроживлення 52
Висновки 57
Перелік посилань 58
Додаток А 61

ВСТУП

Після повномасштабного вторгнення росії у 2022 р., ця країна постійно проводить терористичні атаки на чутливі об’єкти, такі як лікарні, школи, дитячі садочки, родильні дома, вузи і звичайно на енергетичну інфраструктуру. Тому питання безперебійного електричного живлення критичного обладнання є актуальним.

В даній дипломній роботі головною задачею є аналіз систем гарантованого живлення електроенергією для промислових об'єктів. Ця тема є особливо актуальною, оскільки безперебійне постачання електроенергії є критичним для функціонування промислових підприємств. У якості прикладу в дипломній роботі виступає цех з обробки критичноважливих деталей. Як правило, при вивченні даного напрямку розглядають такі підтеми:

- вивчення загальних відомостей про системи гарантованого живлення електроенергією;
- аналіз схемних рішень систем гарантованого живлення та їх реалізація в умовах електропостачання цеху;
- оцінка потреби в резервуванні живлення для споживачів цеху;
- вибір і аналіз джерел гарантованого живлення для цеху.

Для прикладу ефективності роботи такої системи наведемо роботу вузла зв’язку Придністровської залізниці. У 90-х роках минулого сторіччя через важкі погодні умови, а саме потужні зливи, відбулось аварійне відключення живлення обчислювального центру і зв’язку. У той же момент спрацювала система автоматичного перепідключення живлення на автономну систему, тобто живлення почало відбуватись від потужних акумуляторів. Але живлення від акумуляторів мало невеликий проміжок часу, оскільки вони не могли забезпечити довгу роботу даного вузла. Тому в даній системі було передбачено автоматичний запуск дизель-генераторної установки, яка і продовжила живити електроенергією вузол зв’язку та підзаряджати акумуляторні батареї. Свідченням ефективності роботи такої системи є те, що фактично все

обладнання продовжило функціонувати без збоїв і помилок. Коли основне електропостачання було відновлене все обладнання було переключено на живлення від нього і дизель-генератор був зупинений. Звичайно все це відбувалось в автоматичному режимі і не потребувало втручання людини. На даний час подібна система може бути значно удосконалена за рахунок використання сучасних приладів, обладнання і т.д. Наприклад, акумуляторні батареї такої ж потужності можуть бути значно зменшені у розмірах та кількості за рахунок використання більш енергоємних (у прикладі використовували лужні акумулятори).

Отже, питання систем гарантованого живлення електроенергією для промислових та побутових об’єктів є і будуть актуальними, причому не тільки для воєнного часу, а і для мирного.

1 СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ ОБ’ЄКТІВ

1.1 Аналіз існуючих систем гарантійного живлення

Як відомо, згідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), споживачам ІІ та І категорії надійності необхідна безперебійна подача електроенергії. Система гарантованого живлення (СГЖ) забезпечують безперервною подачею електроенергії виробництва або окремі цехи та цивільні об'єкти у будь-яких режимах роботи. Це означає, що такі споживачі, як промислові підприємства, виробничі цехи, лікарні, аеропорти та інші важливі об'єкти повинні бути обладнані системами, що забезпечують стабільне електропостачання навіть у випадках перебоїв у основній мережі. Ці системи включають резервні джерела живлення, такі як дизельні генератори, безперебійні джерела живлення (UPS) та інші технології, які можуть автоматично активуватися у випадку відключення основного джерела електроенергії.

Основною метою таких систем є підтримка безперебійної роботи обладнання та процесів, що є критично важливими для функціонування об'єктів. Наприклад, у лікарнях безперебійне живлення необхідне для підтримки життєво важливих медичних приладів, у промислових цехах – для уникнення простою виробництва, а в аеропортах – для забезпечення безпеки польотів та зручності пасажирів.

Системи гарантованого живлення також можуть включати засоби моніторингу та управління, що дозволяють операторам контролювати стан електропостачання у реальному часі та швидко реагувати на будь-які несправності. Це забезпечує високу надійність та ефективність роботи електроустановок, знижуючи ризики простоїв та аварій.

Крім того, такі системи можуть бути адаптовані до специфічних потреб кожного об'єкта, що дозволяє оптимально розподілити ресурси та знизити витрати на енергозабезпечення. Використання сучасних технологій та

інноваційних рішень у системах гарантованого живлення сприяє підвищенню енергоефективності та зменшенню впливу на навколишнє середовище, що є важливим аспектом у сучасних умовах.

Схемотехнічні рішення систем гарантованого електропостачання (СГЕ) виконуються трьома основними способами [1 – 3]:

1) розподільна система – резервне живлення розподіляється до окремих споживачів безпосередньо від резервного джерела;
2) централізована система – резервне живлення подається на головну розподільну шафу, звідки розподіляється до споживачів;
3) комбінована – поєднує елементи розподільної та централізованої схем для досягнення максимальної надійності та ефективності.

Вибір тієї чи іншої схеми залежить від специфіки об'єкта, вимог до надійності, масштабів системи та інших факторів.

До СГЕ входять:

- автоматичний введення резерву (АВР);
- шафа вводу та обліку (ШВО);
- агрегат безперервного живлення (АБЖ);
- дизельна електростанція (ДЕС);
- головна розподільна шафа (ГРШ);
- розподільний щиток (РЩ);
- система управління (СУ).

Розподільна схема живлення використовується для споруд з невеликою кількістю робочих місць або віддалених одна від одної груп робочих місць в межах одного або декількох поверхів. Для кожної групи електроприймачів використовується окремий АБЖ зі стандартним набором акумуляторних батарей та резервним джерелом живлення у вигляді ДЕС з автоматичним пуском.

Розглянемо переваги та недоліки розподільної схеми:

1) раціональне використання ресурсів завдяки окремим АБЖ;
2) можливість поступового доукомплектування системи;

3) забезпечення працездатності системи заміною несправного АБЖ;

4) простота встановлення.

Недоліки такої схеми:

1) схема централізованого живлення ЕКГ;

2) вразливість устаткування через доступність для користувачів;

3) висока вартість захисту одного робочого місця;

4) складність централізованого керування.

Централізована схема живлення використовується для об'єктів з обмеженим режимом роботи. Вона передбачає використання потужного центрального АБЖ з резервним ДЕС. Для нарощування потужності застосовуються паралельно працюючі АБЖ.

1.2 Джерела електроенергії в СГЖ

Згідно з [3, 4, 7], джерела електроживлення поділяються на первинні та вторинні. Первинні джерела перетворюють теплову, механічну або хімічну енергію на електричну. Вторинні джерела перетворюють електричну енергію первинних джерел за частотою, величиною напруги та іншими параметрами.

Розрахунки електричних навантажень систем гарантованого електропостачання виконують виходячи з умов роботи обладнання. Розрахункове навантаження визначається за формулою, враховуючи встановлену потужність робочих місць та серверів, розрахунковий коефіцієнт попиту.

Вибір вихідної потужності АБЖ здійснюється на основі розрахунку його навантаження з урахуванням вимог потужності. Вихідна потужність визначається за формулою, враховуючи коефіцієнт потужності та коефіцієнт корисної дії АБЖ.

Для визначення необхідної потужності ДЕС враховуються впливи гармонічних струмів на теплові режими роботи генератора. Загальна формула враховує миттєвий накид навантаження, вихідну потужність АБЖ та

потужність для заряду акумуляторної батареї.

Принципові та функціональні схеми живлення об’єктів наведені на рисунках 1.1 – 1.8 [5 – 8].

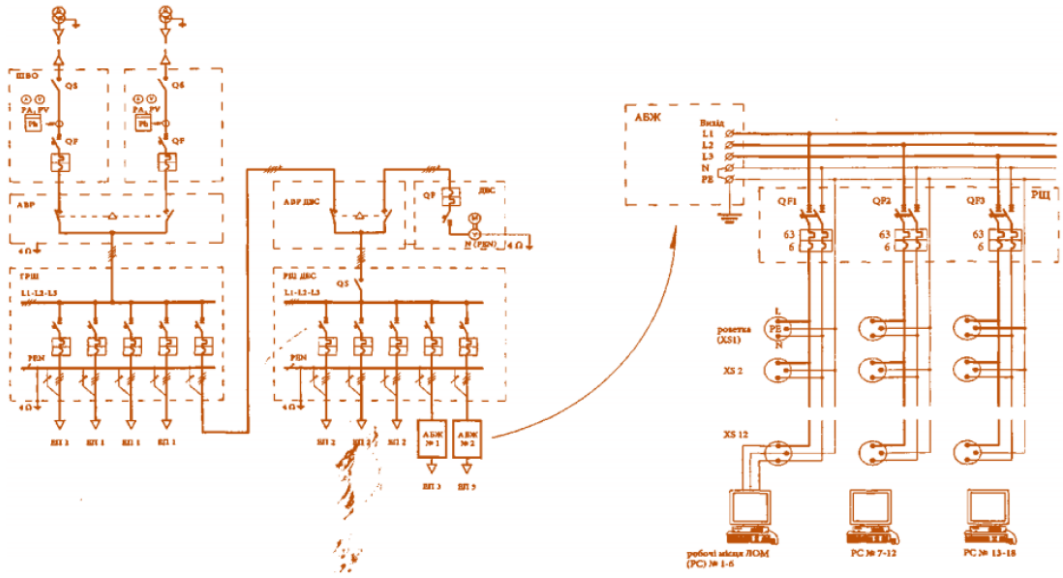


Рисунок 1.1 – Принципова електрична схема розподільного живлення

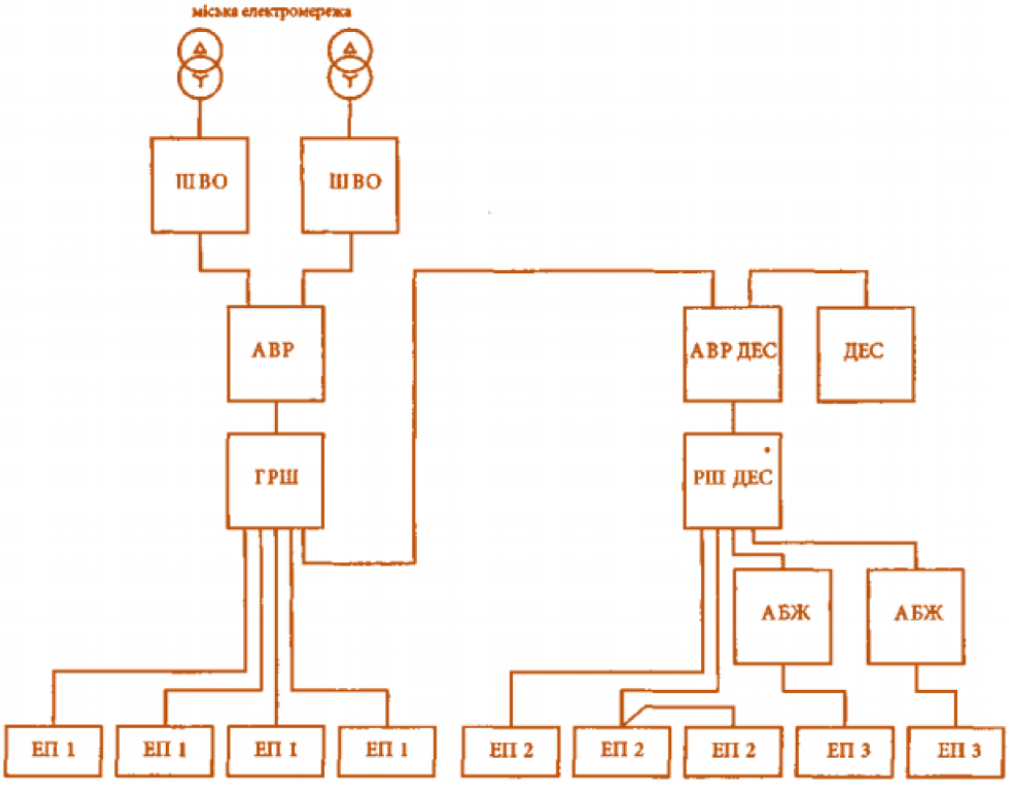


Рисунок 1.2 – Функціональна схема розподільного живлення

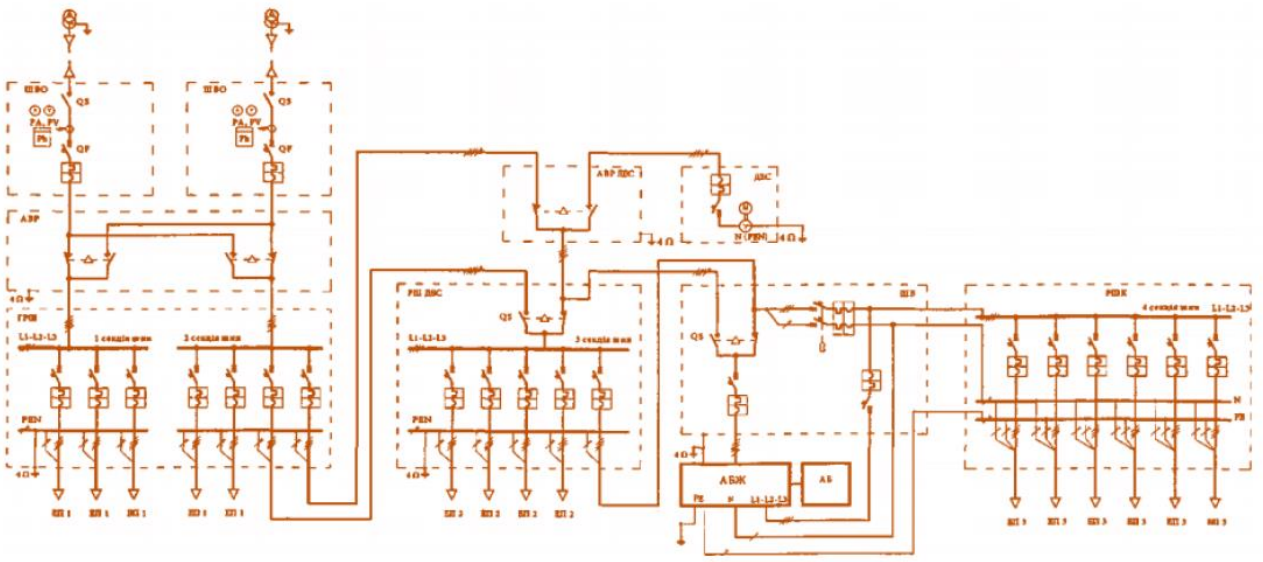


Рисунок 1.3 – Принципова електрична схема централізованого захисту (з обмеженим режимом роботи)

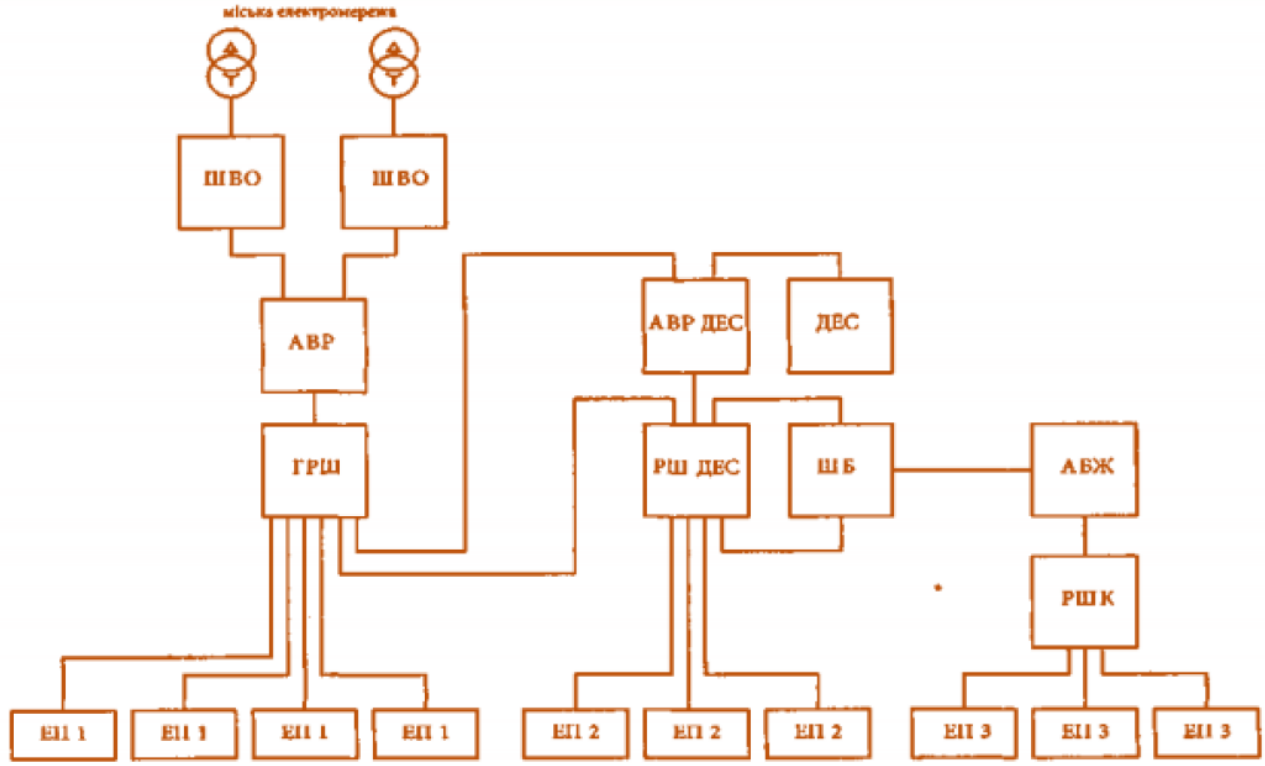


Рисунок 1.4 – Функціональна схема централізованого живлення (з обмеженим режимом роботи)

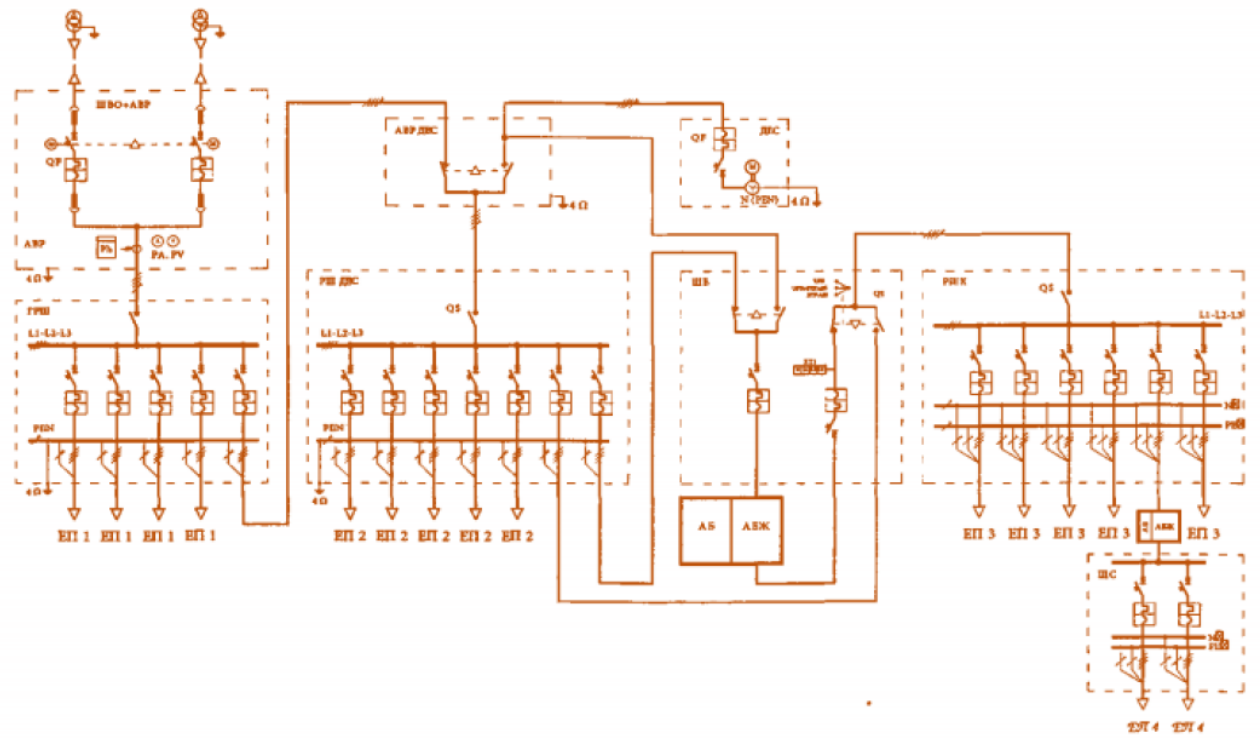


Рисунок 1.5 – Принципова електрична схема комбінованого живлення

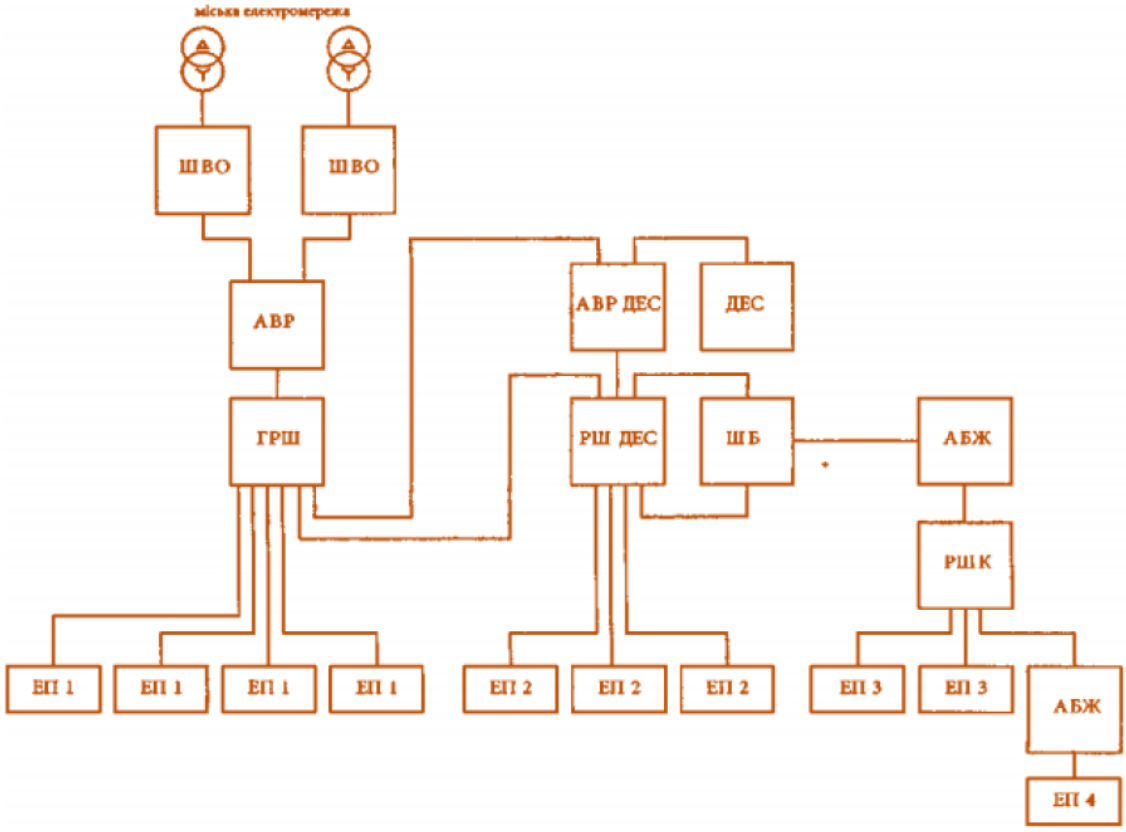


Рисунок 1.6 – Функціональна схема комбінованого живлення

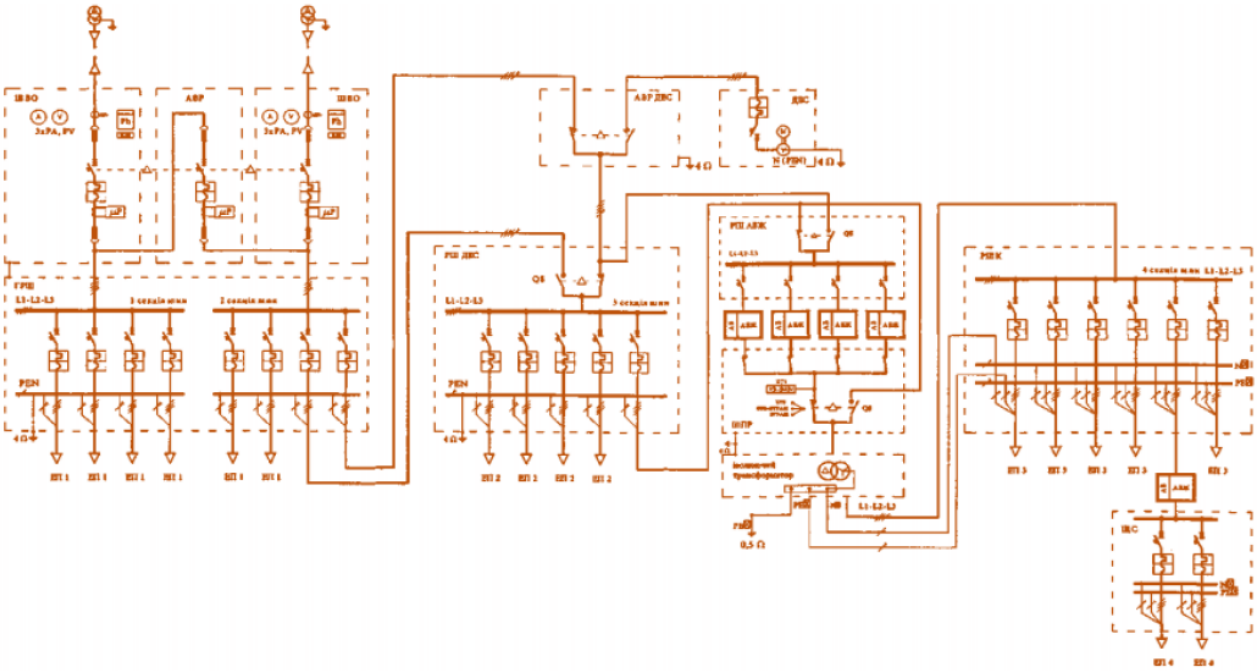


Рисунок 1.7 – Принципова електрична схема комбінованого живлення (додатковий варіант)

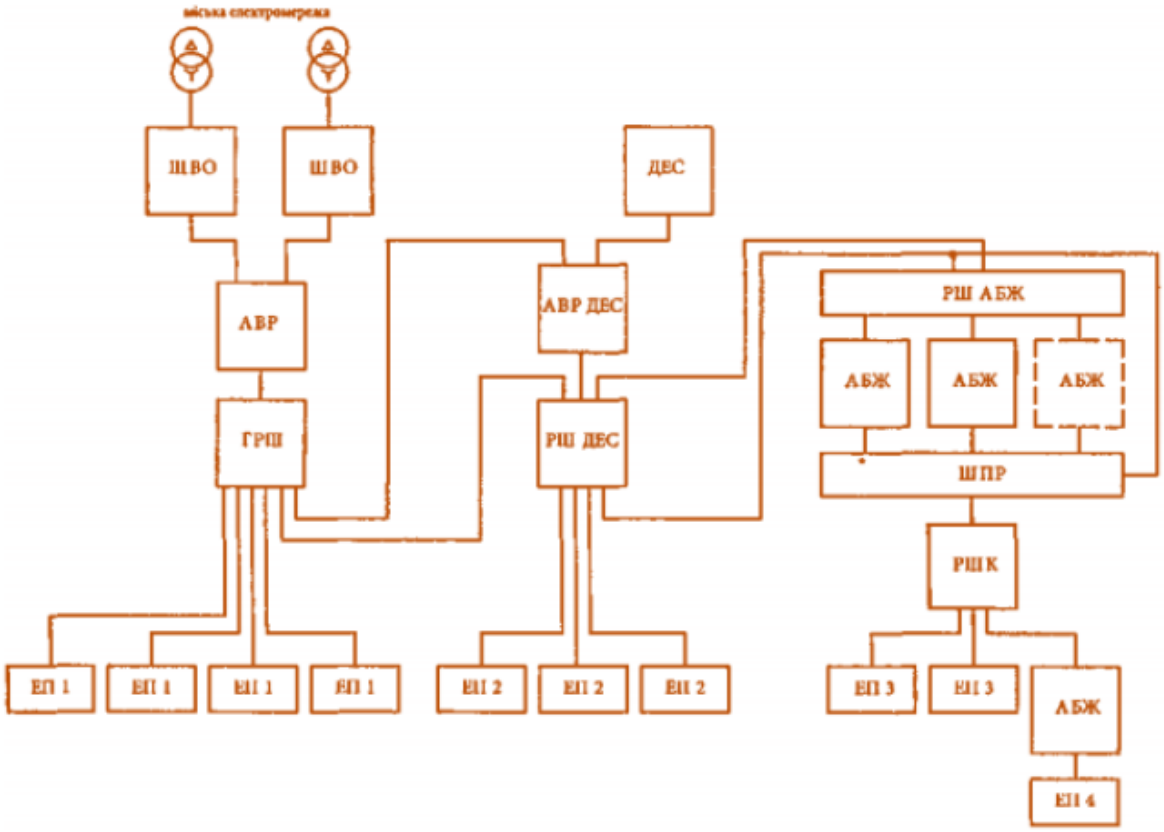


Рисунок 1.8 – Функціональна схема комбінованого живлення (додатковий варіант)

1.3 Визначення елементів системи гарантованого живлення

Електричні навантаження СГЖ розраховують на основі наступних умов. Розрахункове навантаження АБЖ, яке живить робочі місця СУ, $P_{АБЖ}$ визначається як [9]:

$$P_{АБЖ_Р} = P_{УРС} \cdot k_{ПР} \cdot N_{РС} + P_{УС} \cdot k_{ПР} + N_С$$

де:

$P_{УРС}$ – встановлена потужність робочого місця СУ, кВт;

$k_{ПР}$ – розрахунковий коефіцієнт попиту;

$N_{РС}$ – кількість робочих місць СУ;

$P_{УС}$ – встановлена потужність сервера, кВт;

$N_С$ – кількість серверів.

Встановлена потужність робочого місця СУ (без врахування периферійних пристроїв) приймається в межах 250...300 Вт, а для серверів – 750...1000 Вт, або згідно з технічною документацією на ці електронні пристрої СУ. У випадку наявності даних від виробника електронних пристроїв СУ у вигляді повної потужності (S, ВА), перерахунок повної потужності на активну потужність (Р, Вт) здійснюється за формулою:

$$P = S \cdot \lambda$$

де λ – коефіцієнт потужності.

Граничні значення Х електронних пристроїв різної потужності для зарубіжних виробників обмежуються стандартом EN 61000-3-2, і для більшості випадків можна приймати значення 0,72.

Тоді, якщо при кількості місць СУ 1…7 $k_{ПР}$ = 0,95, при 8…24 $k_{ПР}$ = 0,7, якщо більше 24 од. $k_{ПР}$ = 0,4.

Тоді повна вихідна потужність буде:

$$S_{АБЖ} = \frac{P_{АБЖ}}{\lambda_{ВИХ}}$$

де $\lambda_{вих}$ – наведене виробником значення коефіцієнта вихідної потужності для даного АБЖ.

Але вхідні та вихідні коефіцієнти потужності можуть суттєво різнитися для АБЖ. Тому для мережі, яка живить АБЖ, його активна вхідна потужність $P_{АБЖ}$, Вт, знаходимо як:

$$P_{АБЖ_{ВХ}} = \frac{S_{АБЖ} \cdot \lambda_{ВИХ}}{\eta\sqrt{1+THD^2}}$$

де:

η – коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) АБЖ;

THD – коефіцієнт гармонік вхідного струму, який визначається за документацією заводу-виробника АБЖ.

Також THD можна визначати з таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти гармонік вхідного струму

Тип вхідного випрямляча АБЖ	THD, %
Тиристорний, 6-імпульсний	33
Тиристорний, 12-імпульсний	14
Тиристорний, 24-імпульсний	7
IGBT транзисторний	2-3

Визначення потрібної потужності ДЕС, яка співпрацює з АБЖ, важливо враховувати вплив гармонічних струмів на теплові режими роботи генератора ДЕС. У такому випадку загальна формула має вигляд, де необхідно вибирати найбільше значення з верхнього рівняння, яке враховує вклад вищих гармонічних струмів, або з такого виразу [10]:

$$P_{ДЕС.АБЖ} = \max \begin{cases} \frac{100}{q}\left(\frac{P_{АБЖ}}{\eta} + P_{ЗАР.АБ}\right) \\ k_{ДА}\left(\frac{P_{АБЖ}}{\eta} + P_{ЗАР.АБ}\right) \end{cases}$$

де

$P_{АБЖ}$ – вихідна потужність АБЖ, кВт;

$P_{ЗАР.АБ}$ – потужність, яка витрачається для заряду акумуляторної батареї АБЖ, кВт, визначається за документацією заводу-виробника АБЖ, або як (0,15...0,25) $P_{АБЖ}$ / η;

q - допустимий миттєвий накид навантаження, %. Визначається за документацією заводу-виробника ДЕС або згідно ГОСТ 10511;

$k_{ДА}$ – коефіцієнт кратності потужності ДЕС до потужності АБЖ, обумовлений впливом струмів вищих гармонік.

Коефіцієнт $k_{ДА}$ визначається як: [11]

$$k_{ДА} = \sum P_H^* = \sum (I_n^{*2}(1 + n^2 x_d^{n2}(2n^{1,3} + 1))) \cong \sum (I_n^{*2}(1 + n^2 x_d^{n3,3}))$$

P_n* – потужність складової струму від n-ої гармоніки.

Після проведення відповідних розрахунків $k_{ДА}$ результати цих розрахунків заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення $k_{ДА}$

Тип вхідного випрямляча АБЖ	Значення коефіцієнта kДА при різних значеннях зверхперехідного індуктивного опору генератора по поздовжній осі, %		
	10	12	14
Тиристорний 6-імпульсний	2,11	2,55	3,07
Тиристорний 12-імпульсний	1,45	1,64	1,87
Тиристорний 12-імпульсний з фільтром коректором	1,23	1,33	1,40
Тиристорний 12-імпульсний з бустером	1,07	1,1	1,13
IGBT випрямляч	1,09	1,13	1,18

Коефіцієнт *n*-ї гармонічної складової струму $I_n^* = I_n / I_1$;

n – номер вищої гармоніки;

x_n – зверхперехідний індуктивний опір генератора по поздовжній осі, %.

Після підключення АБЖ із затримкою, яка визначається часом завершення перехідних процесів, можна підключати до ДЕС інші споживачі некритичної групи в межах залишкової потужності ДЕС.

2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ’ЄКТА

2.1 Загальні характеристики об'єкта

Розглядуваний об'єкт - це цех з обробки критичноважливих деталей. Характеристики та особливості об'єкта проектування визначені відповідно до ДБН Б..11-9:2019, розділу «Виробнича територія».

Цех з обробки критичноважливих деталей (ЦОКД) призначений для обробки стійок, кронштейнів, підвісок та інших нерухомих підтримуючих деталей. Цех працює в дві зміни.

Цех розташований у місті Київ, а саме, поблизу станції метро «Видубичі». Грунт у межах цеху з обробки критичноважливих деталей це пісок з температурою десять градусів. Відстань до найближчої річки становить півтора кілометри. Будівля цеху зведена з бетонних блоків і має розміри А × В × Н = 35 × 28 × 6 м.

Відповідно до НАПБ Б.07.005, цех відноситься до категорії пожежної небезпеки Г, яка включає негорючі речовини та матеріали у гарячому, розжареному або розплавленому стані, що виділяють променисте тепло, іскри та полум'я. До цієї категорії також відносяться горючі гази, рідини та тверді горючі речовини, які використовуються або утилізуються як паливо.

Перелік приміщень цеху з обробки критичноважливих деталей включає зварювальний відділ, гальванічний відділ, вентиляційну камеру, центральний відділ та склад.

Відповідно до ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013), ступінь захисту електродвигунів повинна відповідати значенню IP54. Для освітлювальних приладів ступінь захисту має бути IP5X, оскільки в цеху присутні такі фактори, як запиленість приміщень та інші умови, які можуть негативно впливати на надійну експлуатацію електричного обладнання.

2.2 Класифікація електропостачання об’єкту

Система живлення споживачів має трифазну змінну мережу з частотою 50 Гц та напругою 380 В. Освітлення живиться від мереж з напругою 220 В. Споживачі електроенергії цеху належать до II та III категорій надійності електропостачання і розподіляються відповідно на 22% та 78%, згідно з ПУЕ 1.2.17 [12 - 14].

Згідно правил електроприймачі II категорії повинні отримувати електроенергію від двох незалежних взаємозамінних джерел живлення. Для таких приймачів допускається переривання електропостачання на час, необхідний для увімкнення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади. У той же час, згідно цих же правил для електроприймачів III категорії електропостачання може здійснюватися від одного джерела живлення, за умови, що час переривання електропостачання, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи, не перевищує однієї доби.

Обладнання розглядуваного об’єкту.

1) Консольно-поворотні крани, 4 штуки, потужністю 45 кВт кожен. Призначені для підйому та пересування невеликих вантажів, а також обслуговування різних верстатів або іншого обладнання.
2) Плоскошліфувальні верстати, 5 штук, потужністю 12 кВт кожен. Призначені для усунення окалини, полірування, вирівнювання, видалення задирок та інших дефектів.
3) Зварювальні апарати, 5 штук, потужністю 45 кВт кожен. Використовуються для зварювання критичноважливих деталей.
4) Вентилятори, 4 штуки, потужністю 10 кВт кожен. Використовуються для фільтрації повітря.
5) Радіально-свердлильні верстати, 5 штук, потужністю 6,5 кВт кожен. Використовуються для свердління глухих і наскрізних отворів.
6) Токарні верстати, 5 штук, потужністю 2,5 кВт кожна.

Використовуються для обробки невеликих деталей.

7) Розточувальні верстати, 2 штуки, потужністю 6 кВт кожна. Використовуються для обробки деталей великих габаритів.
8) Гальванічні ванни, 3 штуки, потужністю 26 кВт кожна. Призначені для гальванічного покриття.
9) Електричні індукційні печі, 6 штук, потужністю 17 кВт кожна. Використовуються для переплавлення і рафінування металів, а також як міксери для зберігання і перегріву рідкого металу перед розливанням.

Потужність обладнання цеху з обробки критичноважливих деталей наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Потужність обладнання цеху з обробки критичноважливих деталей

Назва обладнання	$К_в$	$\cos\varphi$	Кількість, шт.	Номінальна потужність, $Р_{ном.од}$, кВт
Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	0,25	0,4	5	45
Плоскошліфувальні верстати	0,6	0,8	5	12
Радіально-свердлильні верстати	0,5	0,7	5	6,5
Вентилятори	0,26	0,7	4	10
Крани консольно-поворотні, ТВ = 60 %	0,14	0,6	4	45
Електричні печі індукційні	0,21	0,7	6	17
Гальванічні ванни	0,17	0,5	3	26
Горизонтально-фрезерні верстати	0,65	0,9	2	6
Токарні верстати	0,14	0,6	5	2,5

Цех з обробки критичноважливих деталей (ЦОКД) живиться від трансформаторної підстанції (ТП), розташованої поблизу цеху.

Електропостачання ТП цеху може бути забезпечене від шин головної понижуючої підстанції (ГПП), на якій встановлено два трансформатори ТДН-16000/110 (110/10 кВ) з рівнем напруги 10 кВ:

- втрати КЗ – 400 кВт;
- напруга КЗ – 10,5 %;
- втрати ХХ – 0,55 кВт.

Головна понижуюча підстанція належить оператору системи розподілу ДТЕК "Київські електричні мережі". ГПП отримує живлення від шин підстанції Центральної ЕС ДП НЕК "Укренерго" (330/110 кВ), розташованої на відстані 10 км. Головна понижуюча підстанція розташована на відстані 2 км від трансформаторної підстанції цеху.

2.3 Визначення електричних навантажень об’єкту

Доцільно для розрахунку електричних навантажень цеху обробки критичноважливих деталей виконується методом розрахункових коефіцієнтів (РК), який базується на методі упорядкованих діаграм. Цей метод дозволяє більш точно враховувати формування середніх значень електричних навантажень на високих рівнях електропостачання, що допомагає уникнути необґрунтованого збільшення розрахункових навантажень. Цей підхід відповідає ДСТУ-Н В.2.5-80:2015 "Настанова з проектування систем електропостачання підприємств" [15]. Для розрахунку освітлення в електромеханічному цеху використовується метод коефіцієнта використання. План розташування електроспоживачів цеху обробки критичноважливих деталей наведено на рисунку 2.1.

Номінальна активна потужність групи ЕП розраховується за формулою:

$$P_{\text{н}} = nP_{\text{ні}},$$

де n – кількість ЕП;

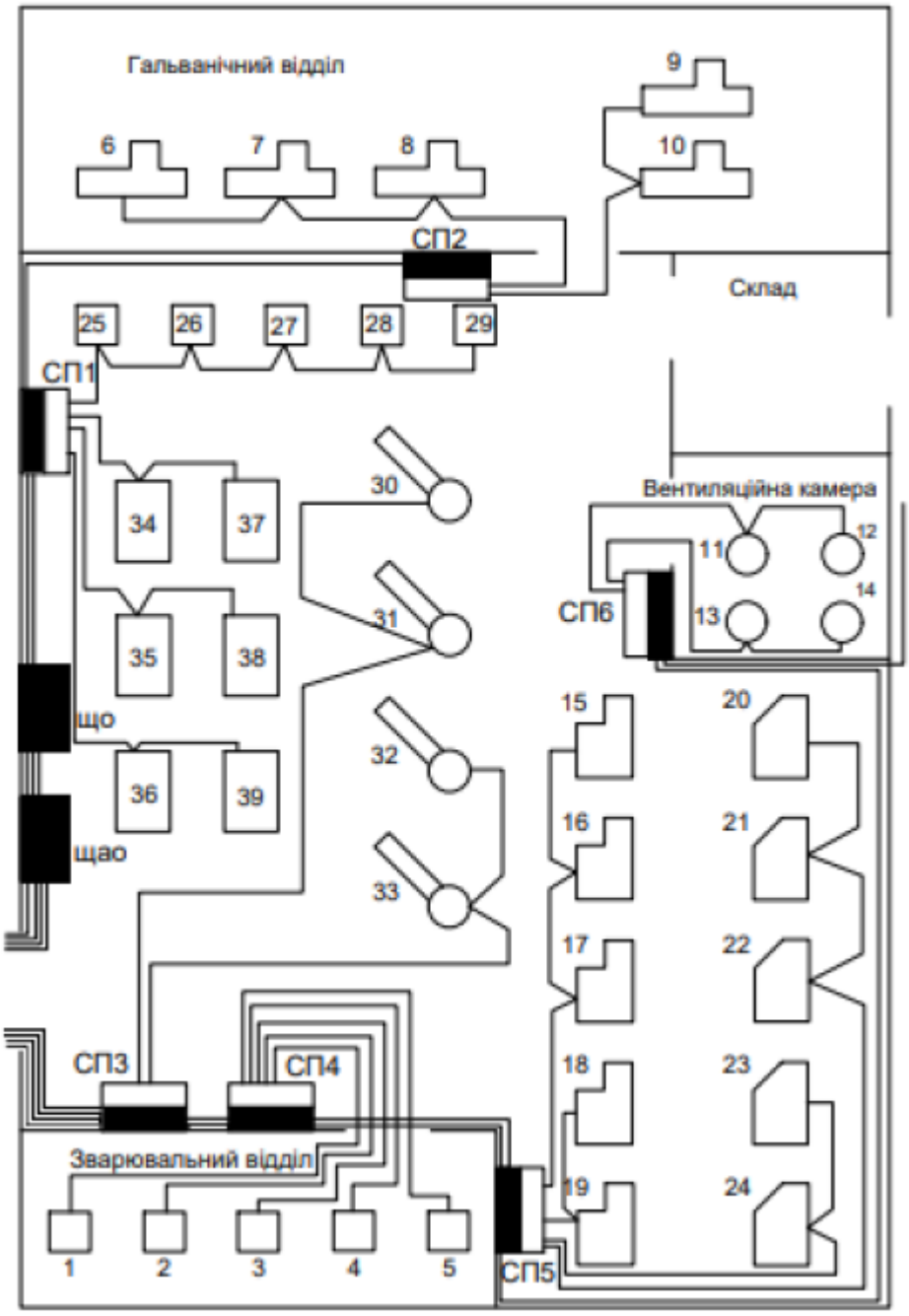


Рисунок 2.1 – План розташування електроспоживачів цеху обробки критичноважливих деталей

Для зварювальних апаратів, працюючих у повторно-короткочасному режимі розрахункова потужність приймається рівною номінальній, приведеній до тривалого режиму [16]:

$$P_{\text{н}} = n \cdot P_{\text{паст}} \cdot \sqrt{\text{ТВ}},$$

$$P_{\text{н}} = 5 \cdot 45 \cdot \sqrt{0{,}6} = 174{,}35 \text{ кВт},$$

Визначаємо проміжну активну і реактивну потужності:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{н}\Sigma} \cdot k_{\text{в}},$$

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \cdot \text{tg}\,\varphi.$$

$$P_{\text{пр1}-5} = 174{,}28 \cdot 0{,}25 = 43{,}57 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр1}-5} = 43{,}57 \cdot 2{,}29 = 99{,}83 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{нн}} = \sqrt{P_{\text{нн}}^2 + Q_{\text{нн}}^2},$$

де $P_{\text{нн}}$ і $Q_{\text{нн}}$– активна і реактивна потужність на шинах НН.

- для гальванічних ван:

$$P_{\text{Н}} = 3 \cdot 26 = 78 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пр6}-8} = 78 \cdot 0{,}5 = 39 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр6}-8} = 39 \cdot 1{,}02 = 39{,}79 \text{ квар}.$$

- для розточувальних верстатів

$$P_{\text{Н}} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пр9}-10} = 12 \cdot 0{,}26 = 3{,}12 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр9}-10} = 3{,}12 \cdot 1{,}02 = 3{,}18 \text{ квар}.$$

- - для вентиляторів

$$P_{\text{Н}} = 4 \cdot 10 = 40 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пр11}-14} = 40 \cdot 0{,}6 = 24 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр11}-14} = 24 \cdot 0{,}75 = 18 \text{ квар}.$$

- для плоскошліфувальних верстатів

$$P_{\text{Н}} = 5 \cdot 212 = 60 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пр15}-19} = 60 \cdot 0{,}14 = 8{,}4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр15}-19} = 8{,}4 \cdot 1.33 = 11{,}2 \text{ квар}.$$

- для радіально-свердлильних верстатів

$$P\text{н} = 5 \cdot 6{,}5 = 32{,}5 \text{ кВт}$$

$$P\text{пр}20-24 = 32{,}5 \cdot 0{,}21 = 6{,}83 \text{ кВт},$$

$$Q\text{пр}20-24 = 6{,}83 \cdot 1{,}02 = 6{,}96 \text{ квар}.$$

- для токарних верстатів

$$P\text{н} = 5 \cdot 2{,}5 = 12{,}5 \text{ кВт}$$

$$P\text{пр}25-29 = 12{,}5 \cdot 0{,}14 = 1{,}75 \text{ кВт},$$

$$Q\text{пр}25-29 = 1{,}75 \cdot 1{,}33 = 2{,}33 \text{ квар}.$$

- для консольно – поворотних кранів

$$P\text{н} = 4 \cdot 45 \cdot \sqrt{0{,}6} = 139{,}43 \text{ кВт}$$

$$P\text{пр}30-33 = 139{,}43 \cdot 0{,}17 = 23{,}7 \text{ кВт},$$

$$Q\text{пр}30-33 = 23{,}7 \cdot 1{,}73 = 41{,}05 \text{ квар}.$$

- для електричних печей

$$P_{\text{н}} = 6 \cdot 17 = 102 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{пр}34-39} = 102 \cdot 0{,}65 = 66{,}3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр}34-39} = 66{,}3 \cdot 0{,}48 = 32{,}11 \text{ квар}.$$

Розраховуємо номінальну групову активну потужність:

$$P_{\text{н}} = \sum_{i=1}^{n} P_{\text{н}i} = 102 + 12{,}5 = 114{,}5 \text{ кВт}.$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності для СП1:

$$P_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} P_{\text{пр}i},$$

де $\sum P_{\text{пр}}$ - сума активних проміжних потужностей для СП1

$$P_{\text{пСП1}} = 1{,}75 + 66{,}30 = 68{,}05 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} Q_{\text{пр}i},$$

де $\sum Q_{\text{пр}}$ - сума реактивних проміжних потужностей для СП1

$$Q_{\text{пСП1}} = 2{,}33 + 32{,}11 = 34{,}44 \text{ квар}.$$

Серед всіх споживачів СП1 шукаємо з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{min\text{пСП1}} = 2{,}5\text{кВт},$$

$$Pmax\text{пСП1} = 17 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{max\text{пСП1}}}{P_{min\text{пСП1}}} = \frac{17}{2{,}5} = 6{,}8.$$

Коефіцієнт використання всього силового пункту знаходимо як:

$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{нΣ}}},$$

де $P_{\text{п}}$ - сумарна проміжна потужності для СП1;

$P_{\text{нΣ}}$ - сумарна номінальна потужність для СП1.

$$K_{\text{в}} = \frac{68{,}05}{114{,}5} = 0{,}59$$

Ефективне число електроспоживачів визначимо як:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2\sum_{i=1}^{n} P_{\text{н}i}}{P_{n.i.max}},$$

де $P_{\text{н max}}$ – максимальна номінальна потужність.

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot 114{,}5}{17} = 13{,}47$$

Приймаємо $n_{\text{еСП1}} = 13$.

Визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження для СП1:

$$K_{\text{р}} = 0{,}59$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність для СП1:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{п}} \cdot K_{\text{р}}$$

де $P_{\text{п}}$ – сумарна проміжна активна потужність для СП1;

$K_{\text{р}}$– коефіцієнт розрахункового навантаження.

$$P_{\text{р}} = 68{,}05 \cdot 0{,}59 = 40{,}15 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

при $n_e < 10$ $\quad Q_{\text{р}} = 1{,}1 Q_{\text{пр}}$

при $n_e > 10$ $\quad Q_{\text{р}} = Q_{\text{пр}}$

СП1: $Q_{\text{р}} = Q_{\text{пр}} = 34{,}44$квар (так як $n_e = 13 > 10$) Повна розрахункова потужність для СП1:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}$$

$$S_{\text{рСП1}} = \sqrt{40{,}15^2 + 34{,}44^2} = 52{,}90\text{кВА}$$

Розрахунковий струм для СП1:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}},$$

де $S_{\text{р}}$– повна розрахункова потужність для СП1;

$U_{\text{н}}$– номінальна напруга.

$$I_{\text{рСП1}} = \frac{52{,}90}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 56{,}35\text{А}$$

Тоді, розрахунок освітлення цеху виготовлення критичноважливих деталей [20].

Вхідні данні:

1) геометрія цеху;

2) перегородки;

3) рівень зорових робіт.

Потрібний потік ламп в кожнім світильнику Ф знаходиться з формули:

$$\Phi = \frac{E_{min} \cdot k_{\text{з}} \cdot F \cdot z}{\eta};$$

де $k_{\text{з}}$– коефіцієнт запасу;

E_{min}– мінімальна освітленість, лк;

F – площа, приміщення, що освітлюється, м^2;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку – відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників.

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{\text{ст}}$, стелі $\rho_{\text{с}}$, робочої поверхні $\rho_{\text{р}}$, та від показника приміщення який враховує співвідношення розмірів приміщення.

Приймаємо:

$$\rho_{\text{ст}} = 0{,}5$$

$$\rho_{\text{с}} = 0{,}3$$

$$\rho_{\text{р}} = 0{,}1$$

Згідно [12] та вище приведених формул, визначаємо:

- коефіцієнт запасу $k_{\text{З}} = 1{,}8$;
- мінімальна освітленість $E_{min} = 200$ лк. Згідно з ДБН В.2.5-28:2018;
- коефіцієнт нерівномірності $z = 1{,}15$;
- площа приміщення:

$$F = A \cdot B,$$

$$F = 28 \cdot 35 = 980 \text{ м}^2$$

Визначимо показник, який враховує співвідношення розмірів приміщення (індекс приміщення):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

$$h = H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}},$$

де $H = 6$ м – висота приміщення цеху;

$h_{\text{с}} = 0{,}2$ м – відстань світильника від перекриття;

$h_{\text{р}} = 0{,}8$ м – висота розрахункової поверхні над підлогою згідно норм [14]

$$h = 6 - 0{,}2 - 0{,}8 = 5 \text{ м}$$

Тоді:

$$i = \frac{28 \cdot 35}{5 \cdot (28 + 35)} = 3{,}1$$

$$\eta = 0{,}82$$

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк. Коефіцієнт мінімальної освітленості z = 1,12. Вибираємо значення коефіцієнту запасу $k_з$ = 1,3.

Вибираємо потужність ламп:

тип LED T1-У-Е-128-610, $Ф_л$ = 16000 лм, $P_л$ = 128 Вт U = 220 В.

Тоді світловий потік:

$$Ф = \frac{200 \cdot 1{,}3 \cdot 980 \cdot 1{,}12}{0{,}82} = 348019{,}51 \text{ лм};$$

Кількість світильників:

$$N_{св} = \frac{Ф}{Ф_л},$$

$$N = \frac{348019{,}51}{16000} = 21{,}75 \approx 22 \text{ шт.}$$

Враховуюче те що окрему стелю мають лише склад та вентиляційний відділ. Розміщуємо лампи рівномірно по всьому периметру цеху (рис. 2.2) [21 – 23].

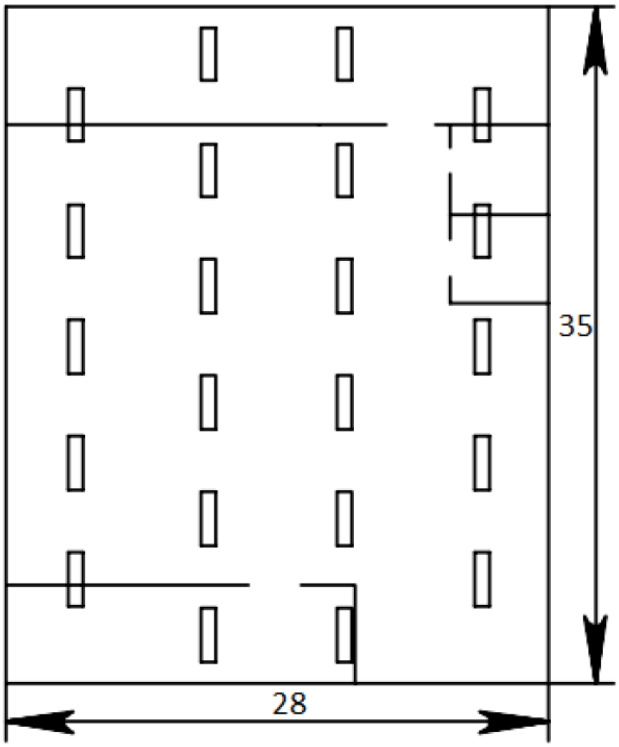


Рисунок 2.2 – План розташування світильників в цеху

Використовуємо LED T1-У-Е-128-610;

Потужність ламп $P_л$ =128 Вт, I= 4 А,

cos φ не менше 0,95,

тоді $tg\varphi$=0,33.

Визначаємо активну потужність освітлювального навантаження при коефіцієнті попиту $\left(K_П = 0{,}9\right)$:

$$P_{осв} = n \cdot P_л \cdot K_п,$$

$$P_{осв} = 22 \cdot 128 \cdot 0{,}9 = 2534{,}4 \text{ Вт}.$$

Визначаємо реактивну потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi,$$

$$Q_{осв} = 2534{,}4 \cdot 0{,}34 = 861{,}69 \text{ вар}.$$

Світильників аварійного освітлення 9 штук, розмістимо по одному світильнику біля першого і другого виходу, які знаходяться в головному приміщені та на складі, які будуть працювати постійно, 1 світильник в зварювальному відділі, 2 світильники у гальванічному відділі, та 3 світильника рівномірно по головному приміщені, значення освітленості при аварійному освітлені для ремонтно-механічного цеху рекомендується брати 5 % від норми робочого освітлення, але не менш як 5 та не більше 30 лк. Для освітлення використаємо лампи розжарення Б 215-225 [24 – 26].

$$P_{\text{ав}} = 0{,}05 P_{\text{осв}},$$

$$P_{\text{ав}} = 0{,}05 \cdot 2{,}534 = 0{,}127 \text{ кВт}.$$

Розрахуємо повне освітлювальне навантаження:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P^2_{\text{осв}\,\Sigma} + Q^2_{\text{осв}\,\Sigma}},$$

$$P_{\text{осв}\,\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_{\text{ав}},$$

$$P_{\text{осв}\,\Sigma} = 2{,}534 + 0{,}127 = 2{,}661 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{осв}\,\Sigma} = P_{\text{осв}} \cdot tg\varphi,$$

$$Q_{\text{осв}\,\Sigma} = 2{,}661 \cdot 0{,}34 = 0{,}9 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{2{,}661^2 + 0{,}9^2} = 2{,}81 \text{ кВА}.$$

Для забезпечення освітлення зовнішньої території цеху, будуть встановлені енергоефективні світильники з герметичним відбивачем потужність 40 Вт кількістю 6 штук, які будуть знаходитися на кутах та посередині кожної довжини цеху. Загальна потужність зовнішнього освітлення становитиме 0,22

кВ. Для забезпечення освітлення допоміжного приміщення цеху, будуть встановлені люмінесцентні лампи потужністю 15 Вт кожна кількістю 9 штук, які будуть встановлені по всьому периметру складу. Загальна потужність освітлення допоміжного приміщення становитиме 0,12 кВ.

Розрахунок загального навантаження об'єкту проектування. Сумарна кількість електроприймачів:

$$n_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m} n_i,$$

$$n_{\Sigma} = 39,$$

Номінальна групова активна потужність:

$$P_{\text{н}} = \sum_{i=1}^{n} P_{\text{н}i} = 650{,}71 \text{ кВт},$$

Визначаємо електроприймачі з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{min\text{пСП3}} = 2{,}5 \text{ кВт},$$

$$P_{max\text{пСП1}} = 45 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{max\text{пСП1}}}{P_{min\text{пСП1}}} = \frac{45}{2{,}5} = 18.$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності:

$$P_{\text{пСН}} = \sum_{i=1}^{n} P_{\text{пСН}i},$$

$$P_{\text{пСН}} = 216{,}67 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пСН}} = \sum_{i=1}^{n} Q_{\text{пСН}i},$$

$$Q_{\text{пСН}} = 254{,}47 \text{ квар.}$$

Розраховуємо коефіцієнт використання:

$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{пСН}}}{P_{\text{нΣ}}},$$

$$K_{\text{вСП}} = \frac{216{,}67}{650{,}71} = 0{,}33.$$

Ефективне число споживачів визначимо як:

$$n_{\text{еСП}} = \frac{2\sum_{i=1}^{n} P_{\text{н}i}}{P_{n.i.max}},$$

$$n_{\text{еСП}} = \frac{2 \cdot 650{,}71}{45} = 28{,}9$$

Приймаємо $n_{\text{еСП}} = 28$.

Згідно [24] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_{\text{р}} = 1$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність:

$$P\text{р} = P\text{п} \cdot K\text{р},$$

$$P\text{р} = 216{,}67 \cdot 1 = 216{,}67 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$Q\text{р} = K\text{р}Q\text{пр},$$

$$Q\text{р} = 254{,}47 \cdot 1 = 254{,}47 \text{ квар}$$

Повна розрахункова потужність силового навантаження:

$$S_\text{р} = \sqrt{P_\text{р}^2 + Q_\text{р}^2}$$

$$S_\text{р} = \sqrt{216{,}67^2 + 254{,}47^2} = 334{,}21 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм:

$$I_\text{р} = \frac{S_\text{р}}{\sqrt{3}U_\text{н}},$$

$$I_\text{р} = \frac{334{,}21}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 482{,}39 \text{ А}$$

$$S_\text{нн} = \sqrt{219{,}65^2 + 255{,}48^2} = 336{,}62\text{кВА}.$$

Втрати в цеховому трансформаторі, по наближених формулах дорівнюють:

$$\Delta P\text{т} = 0{,}03 \cdot S\text{нн};$$

$$\Delta P\text{т} = 0{,}03 \cdot 336{,}92 = 10{,}11 \text{ кВт; 02}$$

$$\Delta Q\text{т} = 0{,}1 \cdot S\text{нн};$$

$$\Delta Q\text{т} = 0{,}1 \cdot 336{,}92 = 33{,}69 \text{ квар}.$$

Активна потужність на шинах НН:

$$P_\text{нн} = P_\text{р} + P_\text{посв},$$

де Pр– сумарна розрахункова активна потужність для всіх СП;

Pосв– активна потужність освітлювального навантаження;

$$P_{\text{нн}} = 216{,}67 + 2{,}98 = 219{,}65 \text{ кВт}.$$

Реактивна потужність на шинах НН:

$$Q_{\text{нн}} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{посв}},$$

де $Q_{\text{р}}$– сумарна розрахункова реактивна потужність для всіх СП;

$Q_{\text{осв}}$– реактивна потужність освітлювального навантаження.

$$Q_{\text{нн}} = 255{,}37 + 1{,}01 = 255{,}48 \text{ кВт квар}.$$

Оскільки вибір трансформатора здійснюється по навантаженню шин ВН:

$$S_{\text{вн}} = \sqrt{P_{\text{вн}}^2 + Q_{\text{вн}}^2},$$

$$S_{\text{вн}} = \sqrt{229{,}75^2 + 289{,}03^2} = 369{,}03 \text{ кВА}.$$

2.4 Компенсація реактивної потужності

За планом компенсація реактивної потужності буде здійснюватися частково в самому цеху, а повна компенсація – безпосередньо перед трансформаторною підстанцією 10/0,4 кВ. На території цеху розташовані споживачі 2 та 3 категорії надійності, у співвідношенні 22% та 78% відповідно. Оскільки загальна розрахункова потужність цеху не вимагає великої потужності, встановлення двох трансформаторних підстанцій не є економічно доцільним. Для забезпечення живлення споживачів 2 категорії надійності, відповідно до вимог ПУЕ, проект передбачає резервне живлення від підстанції 10/0,4 кВ, яка розташована на відстані 650 м від об'єкту проектування. Планується укласти договір з житловим масивом на резервне підключення до

цієї підстанції у випадках аварійних ситуацій з підстанцією на об'єкті.

Враховуючи компенсацію реактивної потужності в розмірі 255,44 квар, а також потенціал розвитку цеху та очікуване щорічне зростання потужності на 5%, для забезпечення 25-річного терміну служби трансформатора обирається трансформаторна підстанція: Масляний трансформатор ТМ-400/10/0,4, потужністю 400 кВА. Оскільки живлення підстанції здійснюється кабельною лінією, електрична однолінійна схема може бути аналогічною схемі, представленій на рисунку 2.3 КТП1 [26].

Характеристики трансформатора ТМ-400/10/0,4:

- схема і група з’єднання: У/Ун-0;
- втрати КЗ: 5,4 кВт;
- напруга КЗ: 4,5 %;
- втрати холостого ходу (ХХ): 0,77 кВт.

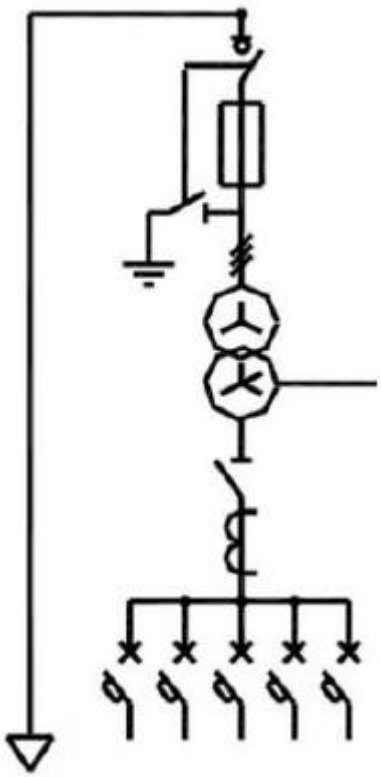


Рисунок 2.3 – Електрична однолінійна схема

Компенсацію реактивної потужності для цеху виготовлення

критичноважливих деталей пропонується використовувати батареї XLPC 200 квар з чотирма ступенями регулювання реактивної потужності та 2 XLPC 30 квар, а їх загальний номінал становитиме 260 квар.

Згідно з каталогом заводу - виробника ТОВ «УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ» технічні характеристики (КТП1) має такі характеристики: КТП1-400/10/0,4 У1, ТУ 16-92 ИБДШ.674822.001ТУ ввід ВН – кабельний, вивод НН – кабельний (рис. 2.4).

Відповідно технічних характеристик є 2 автомати на 100 А, та 1 автомат на 160 А, що обумовлює формування системи електропостачання внутрішньо цехових мереж. А саме використання магістральної схеми [27].

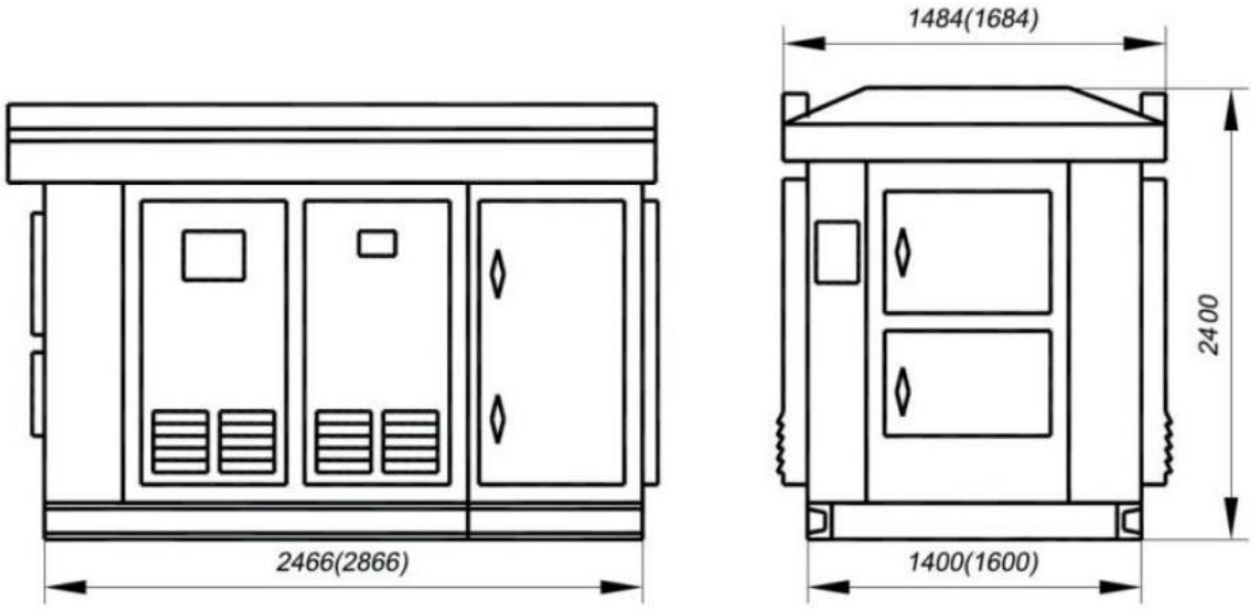


Рисунок 2.4 – Габаритні розміри КПТ1-25.400/10/0,4 У1, прохідна з кабельним вводом [12]

2.5 Розрахунок мереж електроживлення

Як відомо, системи енергопостачання включають як живлячі, так і розподільчі мережі (РМ) 6 або 10 кВ. Оскільки в даному випадку існує досить велика кількість споживачів з значними потужностями, то з метою зменшення втрат електроенергії при її передачі, було обрано РМ з номіналом 10 кВ. В свою

чергу РП 10 кВ поєднано через два трансформатори марки ТДН – 16000/110, до двох повітряних ліній 110 кВ, які під'єднані до джерела, що живить всіх споживачів. Підстанція 10/0,4 живитись від РП на відстані 10 км радіальною лінію.

В основі вибору кількості РП та їх локації слід спиратися на існуючий попит споживачів електроенергії та досягнення максимальної економії провідникового матеріалу на лініях живлення. Відповідно до умов проектування, підстанція цеху живиться від ГПП, яка розташована на відстані 2 км.

При виборі перерізу кабелів в мережі 10 кВ, було здійснено вивід починають з відгалужень для окремих електроприймачів до джерела живлення. Розрахунок проведений до трансформатора ТДТН-16000/110.

Розрахуємо переріз кабельної лінії КЛ1. За розрахункову потужність трансформатора ТМ-400/10 приймаємо максимальне навантаження, яке складає: $S_р$ = 369,33 кВА.

Струм в нормальному режимі:

$$I_н = \frac{S_р}{\sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{369,33}{\sqrt{3} \cdot 10} = 21,32 \text{ А}$$

Для надійного енергопостачання кабельні лінії приймаємо більшого перерізу. Також такий запас по перетину проводів дозволить розширити і додати нові споживачі. То ж вибраний кабель: АПвП 3х35. Проведемо перевірку на допустимий струм в нормальному режимі:

$$I_л \le I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$21,32\text{А} \le 126 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 137\text{А}$$

де:

K_1 – поправний коефіцієнт, що залежить від температури;

K_2 – поправний коефіцієнт, що залежить від числа кабелів прокладених

паралельно;

K_3 – допустиме короткочасне перевантаження лінії;

I – тривалий допустимий струм.

Перевірка на допустимий струм в післяаварійному режимі:

$$2 \cdot I_л \le I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$2 \cdot 21,32\text{А}=42,64\text{А} \le 126 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 137\text{А}$$

Перевірка пройдена успішно.

Розраховуємо переріз кабельної лінії ПЛ1. Струм в нормальному режимі роботи:

$$I_н = \frac{S_р}{\sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{369,33 + \sqrt{(1100+900)^2 + (350+300)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 142,74\,\text{А}$$

Вибраний кабель: АПвП 3х120.

Проведемо перевірку на допустимий струм в нормальному режимі:

$$I_л \le I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$142,74\text{А} \le 265 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 288\text{А}$$

Перевірка на допустимий струм в післяаварійному режимі:

$$2 \cdot I_л \le I_{доп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

$$2 \cdot 142,74\text{А}=285,48\text{А} \le 265 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 288\text{А}$$

Після перевірки робимо висновок, що вибраний кабель підходить.

Розрахунок перерізу привідників для мереж 0,4 кВ. Оскільки об’єктом проектування в даній роботі виступає ЦОКД, то розрахунок провідників на напрузі 0,4 кВ буде проводитися саме для цеху. Для забезпечення цілісності

провідників цеху повинна використовуватися умова:

$$I_p \le I_{доп},$$

де I_p - значення розрахункового струму;

$I_{доп}$ - значення допустимого струму, яке залежить від перерізу обраного провідника.

Розрахунок кабелів цеху для СП в нормальному режимі здійснюється так:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

де S_p - розрахункова потужність групи ЕП, які з'єднанні одним кабелем.

Результати розрахунків Провівши розрахунки, для з'єднань цеху (графічний матеріал №2), заносимо данні, щодо розрахованих струмів та марок обраних кабелів до таблиць 2.2 та 2.3.

Таблиця 2.2 – Підібрані кабелі силових пунктів (СП) [17]

СП	I, А	Розрахункове значення перетину кабелю	Марка кабелю
1	79,68	4х95	АВВГ 4х95
2	73,97	4х95	АВВГ 4х95
3	65,44	4х95	АВВГ 4х95
4	159,29	4х95	АВВГ 4х95
5	29,08	4х4	АВВГ 4х6
6	35,34	4х6	АВВГ 4х6

Таблиця 2.3 – Підібрані кабелі СП, що підходять до енергоприймачів [17]

Енергоспоживачі	$P_{ном}$	$I_{ном}$	Марка кабеля	Довжина кабеля
Зварювальні апарати	45	65	АПВ 10	19
Зварювальні апарати	45	65	АПВ 10	17
Зварювальні апарати	45	65	АПВ 10	15
Зварювальні апарати	45	65	АПВ 10	13
Зварювальні апарати	45	65	АПВ 10	15
Гальванічні ванни	78	113	АПВ 25	20
Розточувальні верстати	12	17,3	АПВ 2,5	12
Вентилятори	20	29	АПВ 4	13
Плоскошліфувальні верстати	36	52	АПВ 10	24
Плоскошліфувальні верстати	24	35	АПВ 6	5
Радіально-свердлильні верстати	20	28	АПВ 4	48
Радіально-свердлильні верстати	13	19	АПВ 2,5	15
Токарні верстати	12,5	18	АПВ 2,5	16
Крани консольно-поворотні	90	130	АПВ 35	32
Крани консольно-поворотні	90	130	АПВ 35	22
Електричні печі індукційні	34	49	АПВ 16	8
Електричні печі індукційні	34	49	АПВ 16	13
Електричні печі індукційні	34	49	АПВ 16	15

Одним із важливих пунктів проектування системи енергопостачання об’єкту є перевірка електричних мереж на відповідність вимогам до показників якості електричної енергії, зокрема перевірити їх на відповідність вимогам щодо усталеного відхилення напруги [19], яке згідно з ГОСТ 13109 – 97 не повинно перевищувати ± 5 %.

Якщо припустити, що напруга на стороні джерела живлення завжди є номінальною, то в такому випадку розрахунок усталеного відхилення напруги необхідно проводити для режимів максимальних і мінімальних електричних

навантажень. У режимі максимальних/мінімальних електричних навантажень напруга на затискачах найбільш віддаленого/найближчого електроприймача (ЕП) не повинна бути нижче/вище 0,95 номінального U / 1,05 номінального U. Тобто в мережі 0,38 кВт на затискачах споживача відхилення не повинно перевищувати ± 5%.

Максимальне навантаження буде вважатися розрахунковим, а мінімальне навантаження цеху становить (25…30) % від максимального навантаження, що характеризується коефіцієнтом мінімального навантаження

$$K_{\min} = (0{,}25\ldots0{,}3).$$

Враховуючи, що напруга холостого ходу трансформатора не перевищує номінальної, а також те, що цехові трансформатори можуть працювати з регульованими безнавантажувальними відгалуженнями і створювати добавку напруги $E_т$ (у межах ± 5 % з кроком 2,5 %), то усталені відхилення напруги на затискачах ЕП становитимуть:

- для режиму максимальних навантажень:

$$\delta U_{y-} = E_T - (\Delta U_{в.к.} + \Delta U_{\text{Т.}} + \sum_{i=1}^{n} U_{н.м.} + \Delta U_{сп}) \geq -5$$

– для режиму мінімальних навантажень:

$$\delta U_{y+} = E_T - K_н \cdot (\Delta U'_{в.к.} + \Delta U'_{\text{Т.}}) - \Delta U'_{сп}) \leq +5$$

де $E_{\text{Т}}$ – величина добавки напруги на регульованих відгалуженнях трансформатора, %;

$\Delta U_{\text{в.к.}}$, $\Delta U'_{\text{в.к.}}$ – втрати напруги у високовольтному кабелі в режимах максимальних та мінімальних навантажень, %;

$\Delta U_{\text{т}}$, $\Delta U'_{\text{т}}$ – втрата напруги на трансформаторі в режимах максимальних та мінімальних навантажень, %;

$\sum_{\text{i=1}}^{n} U_{\text{н.м.}}$ – сумарна втрата напруги в магістральних лініях до споживача, %;

n – кількість послідовних ділянок магістралей до споживача, шт.;

$\Delta U_{\text{с.п.}}$, $\Delta U'_{\text{с.п.}}$ – втрата напруги на трансформаторі в режимах максимальних та мінімальних навантажень, %;

Величину $\Delta U_{\text{т}}$ визначаємо за виразом:

$$\Delta U_T = \frac{S_p}{S_{T.ном}} \cdot (U_a \cdot \cos\varphi + U_p \cdot \sin\varphi),$$

де S_p – розрахункова потужність на вторинній стороні трансформатора, кВА;

$S_{T.ном}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{\text{а}} = \frac{100 \cdot \text{Р}_{\text{к}}}{S_{\text{Тном}}}$ – активна складова напруги КЗ трансформатора, %;

$U_{\text{р}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{а}}^2}$ - реактивна складова напруги КЗ трансформатора, %;

Отже,

$$\Delta U_T = \frac{220.1}{400} \cdot (\frac{100 \cdot 5,5}{400} \cdot 0,99 + \sqrt{4,5^2 - (\frac{100 \cdot 5,5}{400})^2} \cdot 0,05) = 0,25\%.$$

Величину $\Delta U_Л$ знаходять за виразом:

$$\Delta U_Л = \frac{P_p^2 \cdot r_л + Q_p^2 \cdot x_л}{U_{ном}^2},$$

де $r_л$, $x_л$ – активний та реактивний опори лінії, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга лінії, кВ.

$$\Delta U_{Л} = \frac{220{,}1^2 \cdot 0{,}1 + 20^2 \cdot 0{,}078}{10^2} = 0{,}48\,.$$

Тоді втрати в кінці лінії будуть наступні:

– для режиму максимальних навантажень:

$$\delta U_{y-} = 10 - (0 + 0{,}25 + 2 \cdot 0{,}5 + 4{,}8) = 3{,}95 > -5\,.$$

– для режиму мінімальних навантажень:

$$\delta U_{y+} = 0 - 0{,}3 \cdot (0 + 0{,}25 + 2 \cdot 0{,}5) - 11{,}2 = -5{,}2 < 5.$$

Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі.

Вихідними даними для розрахунку струмів короткого замикання є прийнята схема електропостачання. Система як джерело живлення задана: $I_{кс} = 7{,}5$ кА, $U_с = 115$ кВ.

Вихідні дані розрахункової схеми:

Для трансформатора Т1 - ТДН-16000/110:

- $S_{нт}$=16 МВА;
- $U_{вн}$=115 кВ;
- $U_{нн}$=10,5 кВ;
- $\Delta P_{нх}$=18 кВт;
- $\Delta P_{кз}$=85 кВт;
- $U_{кв\text{-}н}$=10,5%;
- $I_{нх}$=0,55%;
- з'єднання обмоток: Yн/Δ-11.

Повітряна лінія ПЛ1 АС-150:

- l=10 км,
- X_{01}=0,42 Ом/км,
- R_{01}=0,198 Ом/км,

- $X_{0пл1}$=3,5X_{01} Ом/км,

- $R_{0пл1}$=3,5R_{01} Ом/км.

Кабельна лінія КЛ1 АПвП 3х35:

- l=1,2 км,

- X_{02}=0,095 Ом/км,

- R_{02}=0,868 Ом/км.

Розрахункова схема наведена на рисунку 2.5 [20].

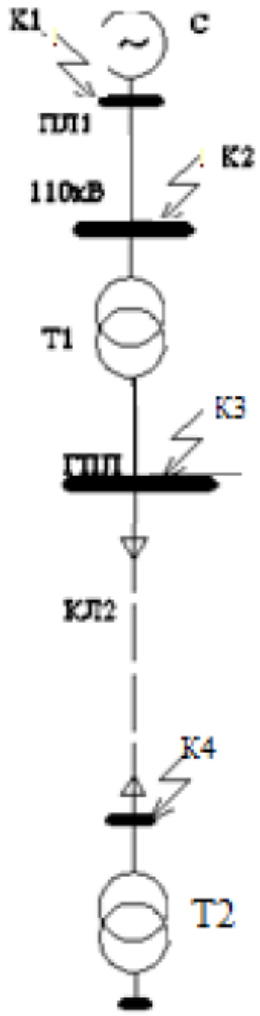


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема електричної мережі

На підставі представленої схеми і наведених параметрів розраховуємо параметри схеми заміщення, приймаючи за базисну напругу 115 кВ. Схема заміщення представлена на рисунку 2.6.

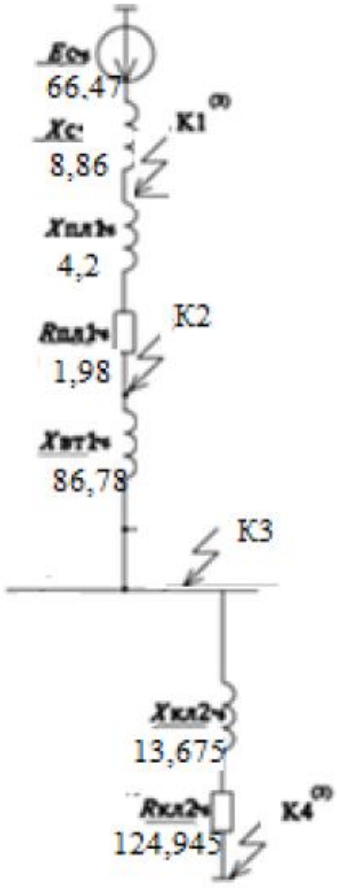


Рисунок 2.6 – Схема заміщення електричної мережі

За відомою методикою визначаємо електрорушійну силу і опір системи:

$$E_c = U_c \cdot \frac{1}{\sqrt{3}},$$

$$E_c = 115 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 66,47\,\text{кВ},$$

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{кс}},$$

$$X_c = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 7,5} = 8,86\ \text{Ом}.$$

Опори лінії знаходимо як:

- активний: $R_i = r_0 \cdot l,$
- реактивний: $X_i = x_0 \cdot l.$

Для повітряної лінії:

- активний: $R_{ПЛ1} = 0{,}198 \cdot 10 = 1{,}98$ Ом.
- реактивний: $X_{ПЛ1} = 0{,}42 \cdot 10 = 4{,}2$ Ом.

Для кабельної лінії:

- активний:

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 0{,}868 \cdot 1{,}2 \cdot \left(\frac{115}{10{,}5}\right)^2 = 124{,}94 \text{ Ом},$$

- реактивний:

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 0{,}095 \cdot 1{,}2 \cdot \left(\frac{115}{10{,}5}\right)^2 = 13{,}675 \text{ Ом}.$$

Опір трансформатора Т1 розрахуємо як:

$$X_т = \frac{u_{кв\text{-}н\%}}{100\%} \cdot \frac{U^2_1}{S_н},$$

$$X_т = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{115^2}{16} = 86{,}78 \text{ Ом}$$

3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

3.1 Огляд енергоспоживачів цеху підвищеної черговості живлення

В цеху обробки критичноважливих деталей переважає Ш категорія надійності. У той же час, згідно з ПУЕ резервування потребують споживачі I та II категорії надійності. В цеху обробки критичноважливих деталей є два види ЕП II категорії надійності, які підключені до окремого джерела живлення кожний. Також резервного живлення потребує аварійне освітлення (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Споживачі, які потребують резервне живлення

Спожив.	Кількість	$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, квар	$S_{роз}$, кВА	$I_{роз}$, А
Зварювальні апарати, ТВ = 60 %	5	68	110	129	186
Вентилятори	4	27,4	19,8	33,8	49
Аварійне освітлення		0,01		0,01	0,01

Визначимо навантаження, яке потребує резервного живлення

$$P_{н} = \sum_{i=1}^{n} P_{нi} = 214,28 \text{ кВт},$$

Сумарна активна і реактивна потужності (проміжна):

$$P_{пСН} = 67,57 \text{ кВт},$$

$$Q_{пСН} = 117,83 \text{ квар}.$$

Коефіцієнт використання:

$$K_{\text{всп}} = \frac{67,57}{214,28} = 0,32.$$

$$n_{\text{еСП}} = 9.$$

Знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_{\text{р}} = 1$$

Тоді сумарна розрахункова активна та реактивна потужність буде:

$$P_{\text{р}} = 67,57 \cdot 1 = 67,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{р}} = 117,83 \cdot 1,1 = 129,6 \text{ квар},$$

а повна розрахункова потужність силового навантаження:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{67,57^2 + 129,62^2} = 146,17 \text{ кВА}$$

Визначаємо втрати:

$$\Delta P_{\text{т}} = 0,03 \cdot 146,18 = 4,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = 0,1 \cdot 146,18 = 14,6 \text{ квар}.$$

Активна та реактивна потужності на шинах НН:

$$P_{\text{нн}} = 67,57 + 0,01 = 67,6 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{НН}} = 129{,}62 + 0 = 129{,}6 \text{ кВт квар.}$$

Оскільки вибір здійснюється по навантаженню шин ВН:

$$S_{\text{вн}} = \sqrt{71{,}96^2 + 144{,}24^2} = 161{,}12 \text{ кВА}$$

Час необхідний для роботи вентиляції складає шість годин, для зварювальних апаратів визначено одну годину, для аварійного освітлення також одну годину.

3.2 Аналіз способів забезпечення резервного електроживлення

Одним із вимог резервного живлення розглядуваного об’єкту є забезпечення надійного енергопостачання з заданим графіком і якістю електроенергії.

Як вже зазначалося вище (приклад із аварійним енергопостачанням обчислювального центру та вузла зв’язку залізниці), одним із варіантів резервного живлення є використання акумуляторних батарей. Зрозуміло, що важливим аспектом використання акумуляторних батарей є час їх безперервної роботи. Для розглядуваного цеху пропонується використовувати батареї Trojan J185H-AC, яка має такі характеристики:

- Тип батареї: Свинцево-кислотна, глибокого розряду;
- Напруга: 12 В (дві батареї з’єднані для досягнення 24 В);
- Ємність: 625 А·год при 20-годинному розряді;
- Енергоємність: 15 кВт·год (24 В * 625 А·год / 1000 = 15 кВт·год);
- Розміри, мм: 381 x 178 x 362;
- Вага: 54 кг;
- Система охолодження: повітряне.

Особливості даних батарей є їх здатність до глибокого розряду, тобто ці батареї розроблені для глибокого розряду, що робить їх привабливими для

застосувань з високим енергоспоживанням. Також свинцево-кислотні батареї глибокого розряду відомі своєю довговічністю та надійністю. Так, при правильному обслуговуванні термін служби складає 10-12 років. Виробниками даних батарей є Trojan, Rolls, Exide, які відомі своєю якістю і надійністю.

Недоліком такої системи є необхідність виділення спеціального місця та забезпечення необхідних пожежних та санітарних вимог.



Рисунок 3.1 – Акумуляторна батарея Trojan J185H-AC

Дизель-генераторна установка потужністю 5 кВт є автономним джерелом електроенергії, призначеним для резервного або основного живлення

електроприладів і обладнання в разі відсутності або перебоїв з електропостачанням. Вона широко використовується в побутових умовах, малих бізнесах, на будівельних майданчиках і в місцях з обмеженим доступом до електромережі. До такої установки підходить установка Kipor KDE6500E (рис. 3.2).

Технічні характеристики дизель-генераторної установки Kipor KDE6500E:

- Потужність номінальна: 5 кВт;
- Тип двигуна: 4-тактний дизельний двигун;
- Частота обертання двигуна: 3000 об/хв;
- Напруга: 230 В (однофазна);
- Частота струму: 50 Гц;
- Тип запуску: Ручний або електричний стартер;
- Система охолодження: Повітряне охолодження;
- Ємність паливного бака: 15-20 літрів (залежить від моделі);
- Витрата палива: приблизно 1-1.5 літрів на годину при номінальному навантаженні;
- Автономність роботи: 10-15 годин (залежить від навантаження);
- Рівень шуму: 65-75 дБ (на відстані 7 метрів);
- Габаритні розміри: 700 х 500 х 600 мм (залежить від моделі);
- Вага: приблизно 80-100 кг (залежить від моделі);
- Захист: Автоматичне вимкнення при перевантаженні, низькому рівні масла та перегріванні
- Зважаючи на наведені вище дані обладнання, робимо висновок, що таких агрегатів необхідно 25 шт.

Також, одним із варіантів резервного енергопостачання підприємства є живлення від іншого підприємства. При цьому необхідно враховувати необхідну потужність. Для забезпечення цілісності провідників повинна використовуватися умова:

$$I_p \leq I_{доп},$$

а для визначення перетину кабелів необхідно зробити розрахунок струму в

нормальному режимі:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

Результати розрахунків та вибрані марки дротів заносимо до таблиці 3.2.



Рисунок 3.2 – Дизель-генераторна установка Kipor KDE6500E

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків та вибрані марки дротів [21]

Об’єкт	*I*, А	$P_{ном}$	Марка
СП 7	211	215	АВВГ 4х95
СП 6	49	40	АВВГ 4х6
СП 4	190	175	АВВГ 4х95
Аварійне освітлення	0,01	0,13	АВВГ 4х1

Такий підхід (живлення від іншого підприємства) не заперечує використання зазначених вище. Його доцільно використовувати як один із додаткових варіантів, що у кінцевому випадку дозволить підвищити надійність системи енергопостачання. Також при такій системі необхідно забезпечити облік енергообміну між підприємствами, що безумовно є недоліком, окрім використання та обслуговування ліній енергоживлення.

Враховуючи вищесказане, пропонується використовувати комбіновану систему енергопостачання (рис. 3.3) [21].

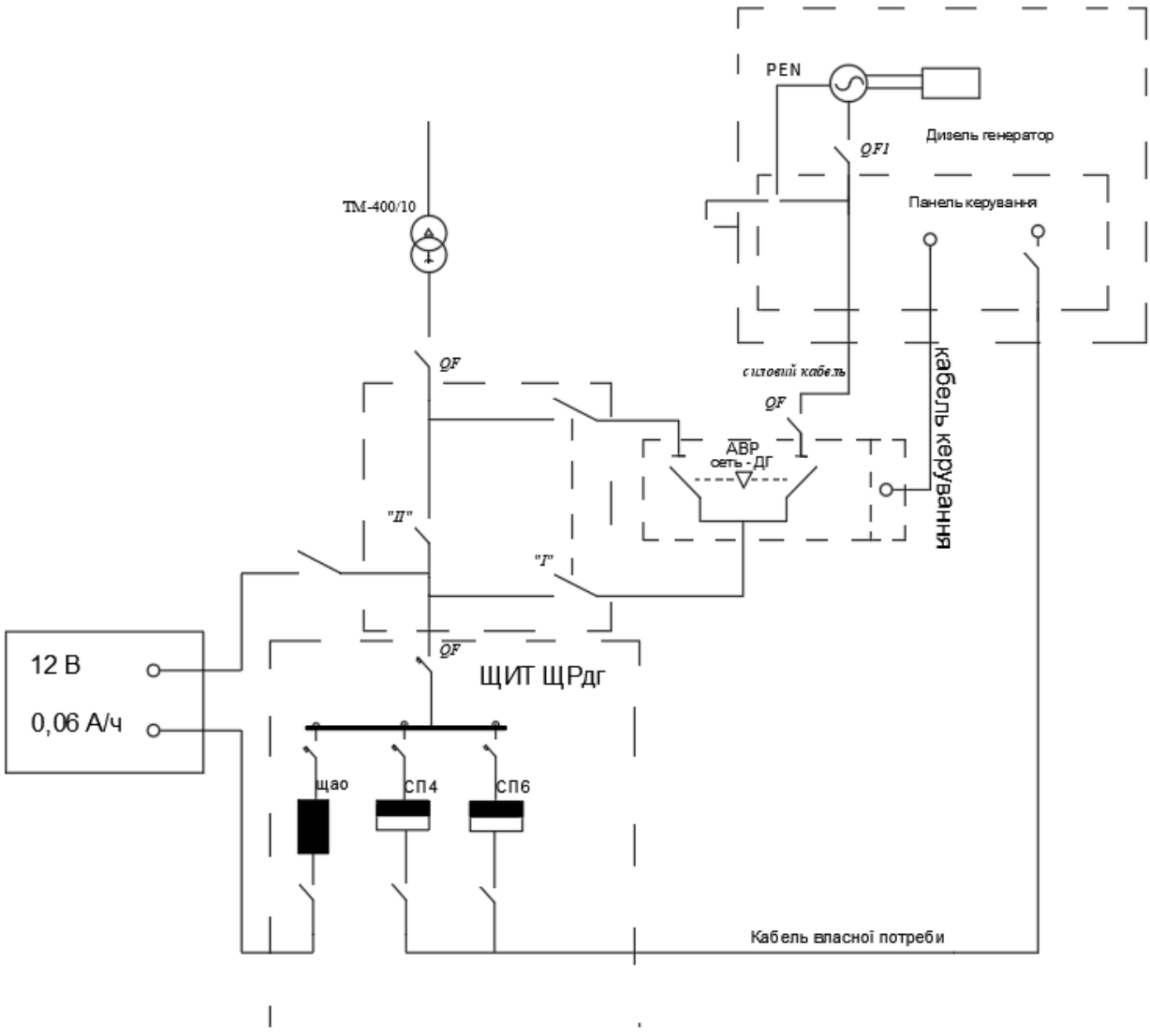


Рисунок 3.3 - Комбінована система енергопостачання об’єкту

ВИСНОВКИ

У представленій дипломній роботі висвітлено загальні аспекти систем гарантованого електропостачання промислових об'єктів. Було проведено аналіз схемних рішень та джерел електроенергії в системах гарантованого живлення, а також алгоритмів розрахунків та вибору відповідних систем.

Розроблено детальну систему електропостачання для цеху з обробки критичноважливих деталей. Для цього обрано та перевірено кабельну продукцію різної напруги, як до 1 кВ, так і вище. Зокрема, обрано трансформатори з параметрами 110/10 кВ та 10/0,4 кВ, які були ретельно перевірені на різних режимах роботи. Проведено аналіз умов короткого замикання для комутаційної апаратури, яка встановлена на лініях та трансформаторах, та забезпечено необхідні засоби релейного захисту.

Також запропоновано систему резервного (аварійного) живлення для цеху з обробки критичноважливих деталей. Після аналізу споживачів цеху щодо їхньої потреби в резервному живленні, були обрані джерела гарантованого електропостачання. Розроблено комбіновану схему електропостачання для даного об'єкта, яка включає як основні, так і резервні джерела енергії, що забезпечують безперебійне та надійне електропостачання.

Дана робота спрямована на забезпечення безперебійної роботи промислових об'єктів, що підвищує їх ефективність та зменшує ризики, пов'язані з відключеннями електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок: вид. 3-є, перероб. і доп. – Офіц. вид. – К. : Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.

2. Осипова, Л.Ю. Споживачі електричної енергії / Для студ. ЗДІА спец. "ЕМ" ден. і заоч. форм навчання: конспект лекцій / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2004. - 155 с

3. Захист трансформаторів та автотрансформаторів / В.П. Кідиба, Т.М. Шелепетень ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : [б. и.], 2004. — 177с. — ISBN 966-553-425-4

4. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : 4 В.2.5-23:2010. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 104 с. – Державні будівельні норми України.

5. ДСТУ Б А.2.4-10:2009. «Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів. Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 24.01.2009 р. № 32». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/5-1-0-50

6. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-55_2011 Методика вимірювання якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.

7. IEEE Std 519-1992 // IEEE Recommend practices and Requirements for harmonic control in electrical power system.

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

9. Шершень О. І. Вплив коливання частоти електричної мережі на точність проведення гармонічного аналізу, та способи їх зменшення / О. І. Шершень, А.В. Волошко // «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2018

10. Лагутін Г.І. Вищі гармоніки в системах електропостачання / Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля // Системи озброєння і військова техніка, 2012, № 2(30) ISSN 1997-9568.

11. С.Ю. ШЕВЧЕНКО, В.В. ВОЛОХІН, І.М. ДЯГОВЧЕНКО, Д.М. МАКУХА АКТУАЛЬНІСТЬ УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАПРУГИ ПРИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

12. Energy distribution annual report 2009, U.S. Department of Energy data storage and statistic service. – Режим доступа: www.doe.gov/stat/enreport 2009

13. Тітов, Ю. П. Насосні станції водопостачання і водовідведення [Текст] / Ю. П. Тітов, М. М. Яковенко. Навчально-методичний посібник. – Харків, 2004. – 203 с.

14. Никитин, В. М. Энергосберегающие электроприводы [Текст] / В. М. Никитин, А.Д. Поздеев, Ф.И. Ковалѐв, Г.Н. Шестопѐров // Электротехника. – 1996. – №4. – С. 52–55.

15. Попович, Н. Г. Электромеханические системы автоматизации и задача энергосбережения [Текст] / Н. Г. Попович, Н. В. Печник // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць: Тематичний випуск 113. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 297–300.

16. Потапенко, Е. М. Определение скорости и постоянной времени ротора асинхронного двигателя с помощью адаптивного наблюдателя [Текст] / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко, А. В. СоСУаха // Матеріали 12–ої міжнародної конференції з автоматичного управління ―Автоматика–2005, 30 травня – 3 червня 2005 р. – Харків: НТУ ―ХПІ‖, 2005. – Т. 2. – С. 123,124.

17. Бондаренко, В. І. Основи електричного привода [Текст] / В. І. Бондаренко. Навчальний посібник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 314 с.

18. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.

19. Blaschke, F. Das Prinzip der Feldorientiening die Grundlage fur die TRANSVECTOR – Regelung von Asynchronmaschienen [Текст] / F. Blaschke // SiemensZeitschrift.–1971.– 45.– P.757.

20. Потапенко, Е. М. Синтез инвариантных и адаптивных к изменению сопротивления статора алгоритмов векторного управления асинхронным двигателем [Текст] / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко // Проблемы управления

и информатики. – 2007. – №2. – С. 16–29.

21. Franklin M.P. Pamplona, Benemar A. Souza Harmonic Passive FilterPlanning In Radial Distribution Systems Using Microgenetic Algorithm // IEEE 11th International Conf. on Harmonics and Quality of Power. – 2004.

22. Fujita, T. Yamasaki, and H. Akagi A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial power systems // IEEE Trans. Power Electron. – vol. 15. – no. 2. – Mar. 2000. – PP. 215–222.