

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

на тему: **Система електропостачання цеху виробництва
погонажних виробів**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи ЕТс-41

спеціальності 141–

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Дрипка А.А.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник Костик Л.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
 (повна назва факультету)
 Кафедра електричної інженерії
 (повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ЕІ

 (підпис) Коваль В.П.
 (прізвище та ініціали)

“ 05 ” січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
 (назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

студенту Дрипці Андрію Андрійовичу
 (шифр і назва спеціальності)
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система електропостачання цеху виробництва погонажних виробів

Керівник роботи Костик Любов Миколаївна, к.т.н., доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від “31” грудня 2025 р. № 4/7-1164

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план цеху. Сумарна потужність цеху: 585,15 кВт. Характеристика ЕП цеху; габаритні розміри цеху; Дані категорійності ЕП цеху та перелік обладнання. Характеристика КТП цеху.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналітичний розділ. 2. Розрахунковий розділ. 3. Проектно-конструкторський розділ. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки. Перелік посилань.

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

Порівняльний аналіз методів розрахунку. Генеральний план цеху. Схема електропостачання цеху та розміщення силового обладнання з розподільними пунктами. Схема розміщення робочого та аварійного освітлення в цеху. Вибір автоматів для захисту ЕП. Вибір кабелів живлення РП. Розрахунок втрат в кабелях, що живлять РП. Схеми для розрахунку струмів КЗ.

Оцінка якості напруги цехової мережі. Епюри відхилення напруги для найбільш потужного ЕП та найбільш віддаленого ЕП.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 06 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ	15.04.26 - 15.05.26	
2	Розрахунковий розділ	01.05.26 - 15.05.26	
3	Проектно-конструкторський розділ	10.05.26 - 01.06.26	
4	Заходи з безпеки життєдіяльності та основи охорони праці	15.05.26 - 01.06.26	
5	Формування пояснювальної записки та плакатів по кваліфікаційній роботі	15.05.26 - 10.06.26	
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.26 - 15.06.26	

Студент

(підпис)

Дрипка А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Костик Л.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс-41. – Тернопіль.: ТНТУ, 2026.

У кваліфікаційній роботі виконано на основі комплексу інженерних розрахунків та конструктивних рішень модернізацію системи електропостачання цеху з виробництва погонажних виробів.

Обґрунтовано та доведено, що для розрахунку навантажень внутрішньої цехової мережі найбільш ефективним є метод впорядкованих діаграм.

Проведений розрахунок силового навантаження цеху та отримані значення розрахункових струмів для кожної групи споживачів.

Проведено світлотехнічний розрахунок та обрано оптимальні джерела світла.

Сформовано раціональну схему розподілу електроенергії із групуванням споживачів за розподільними пунктами та здійснено вибір автоматичних вимикачів.

Проведена оцінка втрат напруги для найбільш потужного та найбільш віддаленого споживачів для максимального, мінімального та після аварійного режимів.

Ключові слова: силове навантаження, світлотехнічний розрахунок, розподільний пункт, автоматичний вимикач.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Огляд методів розрахунку електричних навантажень	7
1.2 Особливості внутрішньо цехового електропостачання	11
1.3 Аналіз системи електропостачання об'єкта	13
1.4 Висновки до першого розділу	13
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	16
2.1 Розрахунок електричних навантажень	16
2.2 Розрахунок силових електричних навантажень	19
2.3 Світлотехнічний розрахунок	25
2.3.1 Розрахунок робочого освітлення	25
2.3.2 Розрахунок аварійного освітлення	27
2.3.3 Потужність освітлювального навантаження цеху	30
2.4 Вибір комутаційно-захисних апаратів	31
2.4.1 Вибір автоматичних вимикачів	31
2.4.2 Вибір розподільних пунктів та перерізів кабельних ліній	33
2.4.3 Розрахунок втрат потужності та напруги	36
2.5 Висновки до другого розділу.....	38
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка основного обладнання мережі	39
3.2 Оцінка якості напруги цехової мережі	44
3.3 Висновки до третього розділу	50
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Оцінка заходів безпеки життєдіяльності в цеху	52
4.2 Робота на електроустановках до 1000 В	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59
ДОДАТКИ	61

ВСТУП

Актуальність теми.

Розвиток промислового сектору в сучасних умовах полягає в докорінному вдосконаленні систем електропостачання, що безпосередньо пов'язано з ускладненням технологічних процесів та жорсткішими вимогами до енергоефективності [1].

Тому, виникає гостра потреба у проектуванні гнучких, надійних та економічно доцільних систем електропостачання, здатних адаптуватися до змінних режимів роботи промислових споживачів [1].

Ефективне вирішення таких завдань вимагає комплексного підходу, який враховує взаємний вплив багатьох факторів: забезпечення високої якості електроенергії, раціональний вибір сучасного силового обладнання та трансформаторів, а також правильна компенсація реактивної потужності.

Деревообробна галузь характеризується специфічними режимами навантаження та підвищеними вимогами до пожежної безпеки, тому, розробка такої системи, яка одночасно відповідає критеріям надійності, економічності, а також екологічної та техногенної безпеки для людини й довкілля, є актуальним завданням для ефективного функціонування об'єкта.

Мета і завдання. Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання цеху виробництва погонажних виробів, яка відповідає критеріям надійності, економічності, екологічної та техногенної безпеки.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести огляд методів розрахунку навантажень та особливостей організації електропостачання в промислових цехах;
- на основі аналізу споживачів цеху здійснити розрахунок силового навантаження;
- провести розрахунок системи освітлення цеху та здійснити вибір джерел світла;

- провести вибір комутаційно-захисного обладнання цеху та кабелів живлення;

- провести оцінку втрати напруги з побудовою епюр відхилення напруги для найвіддаленішого та найпотужнішого споживача цеху;

- запропонувати заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці в цеху з виробництва погонажних виробів

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані технічні рішення дозволять забезпечити безперебійність технологічного процесу та відповідність системи електропостачання нормативним вимогам щодо якості електроенергії.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (17 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 60 сторінок, 18 таблиць, 7 рисунків, додатки – 5.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд методів розрахунку електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень є базовим і найбільш відповідальним етапом для аналізу системи електропостачання будь-якого промислового об'єкта, зокрема цехів з потужним силовим двигунним навантаженням [2]. Завищені розрахунки на цьому етапі призводять або до перевитрати провідникового матеріалу та перебільшення в потужності трансформаторів, або до передчасного зносу ізоляції, частих спрацьовувань захисної апаратури та аварійних ситуацій – при занижених показниках [2].

Особливістю виробничих цехів із переважанням силового двигунного навантаження (асинхронні двигуни верстатів) є циклічний, змінний характер їхньої роботи, різний ступінь завантаження протягом зміни та пускові струми, які суттєво перевищують номінальні значення. Тому визначення очікуваного навантаження не може бути зведеним до простого арифметичного підсумування паспортних потужностей [2].

Для практичного використання вибір методу проведення розрахункових навантажень залежить від ефективності використання з позиції точності та математичного апарату, який при цьому використовується.

Метод впорядкованих діаграм. Цей метод є нормативним і найбільш поширеним у практиці проектування промислових підприємств, основою якого є статистичний аналіз графіків навантаження та використання концепції коефіцієнта максимуму [2].

В основі методу покладено розділення електроприймачів (*ЕП*) на групи за характерними режимами роботи та визначення ефективної (середньозваженої) кількості *ЕП* в групі.

Особливістю методу є універсальність і забезпечення високої точності для магістральних шинопроводів, розподільних шаф та цехових трансформаторів у

випадках, коли кількість *ЕП* обмежена, а їхні потужності суттєво відрізняються (наприклад, коли в цеху є малопотужні верстати на 1,5–3 *кВт* і потужні двигуни на 40–50 *кВт*). Наявність великої кількості асинхронних двигунів вимагає точного врахування коефіцієнта використання (K_e), який суттєво коливається залежно від специфіки виробництва (металообробка, деревообробка, тощо).

Звідси, перевагами означеного методу впорядкованих діаграм є врахування різномірності навантаження (у групі можуть бути двигуни різної потужності та з різними режимами роботи) та висока точність.

Як недолік, слід відмітити трудомісткість обчислень (необхідно визначати ефективну кількість приймачів (n_e) через складні математичні залежності або спрощені формули).

Метод коефіцієнта попиту. Найбільш простий, швидким та інтуїтивно зрозумілим, який широко застосовується як у вітчизняній практиці так і в закордонних інженерних стандартах [1, 2]. В основі методу лежить допущення, що для певної групи однорідних споживачів (або для цеху в цілому) існує емпірично встановлений зв'язок між максимальним навантаженням та сумарною встановленою потужністю, який виражається через коефіцієнт попиту (K_n).

Перевага методу – мінімальний обсяг вихідних даних, де, для розрахунку немає необхідності знати розподіл потужностей двигунів чи графік їхньої роботи, достатньо мати загальну встановлену потужність силового обладнання цеху [1].

Проте слід відмітити й ряд суттєвих обмежень:

- не враховується внутрішньо групова різномірність потужностей (наявність одного потужного двигуна в групі дрібних потужностей призведе до значної похибки);
- значна похибка розрахунків при малій кількості *ЕП* ($n_e < 10-15$);
- часто використання методу призводить до завищення результатів, що веде до невиправданого зростання капітальних витрат на обладнання мережі.

Статистичний метод. Метод базується на законах теорії ймовірностей та математичної статистики, де, на відміну від описаних вище підходів, розглядається електричне навантаження як випадковий процес, що описується нормальним законом розподілу (Гауса) [3]. В цьому випадку при розрахунку оперується середніми значеннями навантажень та їхніми середньоквадратичними відхиленнями, що дозволяє оцінити ймовірність виходу навантаження за певні межі.

Використання методу надає високу точність при розрахунку великих вузлів системи електропостачання: цехових *ТП*, живильних фідерів, тобто елементів верхніх рівнів розподілу потужностей, де кількість силових двигунів обчислюється десятками й сотнями, тобто, усувається вплив індивідуальних коливань окремих *ЕП*.

Наприклад, при під'єднанні до розподільного пункту малої кількості *ЕП* (до 5 *ЕП*), метод непридатний через невизначеність закону розподілу ймовірностей (відсутності значень середньоквадратичних відхилень).

Окрім трьох базових методів, на практиці проектування та наукових дослідженнях, використовуються інші підходи, орієнтовані на специфічні умови [4].

Метод завантаження (технологічного графіка). Метод використовується для виробничих ділянок із чітко заданим технологічним процесом, де, наприклад, режим роботи кожного двигуна жорстко заданий у часі [3, 4].

Метод вважається найбільш точним із усіх існуючих, оскільки повністю виключає статистичні допущення, тобто розрахункові максимуми визначаються безпосередньо за піком отриманої діаграми. Однак, слід означити унікальність об'єктів аналізу та розрахунку, оскільки для більшості універсальних виробничих цехів точний (по хвилинний) графік роботи обладнання на етапі проектування невідомий.

Порівняльний аналіз основних методів представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз методів розрахунку

Критерій порівняння	Метод впорядкованих діаграм	Метод коефіцієнта попиту	Статистичний метод	Технологічного графіка
Вихідні дані	Детальний перелік <i>ЕП</i> , їхніх потужностей, коефіцієнтів використання	Загальна встановлена потужність цеху за групами	Середні навантаження, дисперсії або коефіцієнти форми графіків	Точні циклограми роботи кожного <i>ЕП</i>
Трудомісткість розрахунку	Середня, вимагає рутинних табличних обчислень	Мінімальна (виконується в один етап)	Вище середньої (потребує обчислення <i>СКВ</i>)	Висока трудомісткість (необхідність детального моделювання)
Точність результату	Висока для низових і середніх ланок мережі	Низька (схильність до завищення потужності)	Висока для магістралей та цехових <i>ТП</i>	Ідеальна точність для детермінованих (визначених) процесів
Область використання	Розподільні шафи, шинопроводи, цехові <i>ТП</i>	Попередні стадії проектування	Магістральні фідерні лінії, загальнозаводські підстанції	Виробничі ділянки із заданим технологічним процесом

Як висновок. Вибір методу розрахунку електричних навантажень залежить від об'єму вихідних даних, трудомісткості обчислень та необхідної точності:

– для проектування внутрішньо цехових мереж ($0,4 \text{ кВ}$) оптимальним є метод упорядкованих діаграм, оскільки він враховує різний діапазон потужності двигунів через механізм ефективної кількості *ЕП*;

– на вищих рівнях системи електропостачання (цеховий трансформатор, головний фідер цеху) доцільно комбінувати метод коефіцієнта попиту з

статистичним методом, що дозволяє уникнути надлишкового запасу потужності трансформаторів та заощадити капітальні вкладення;

– проектування повністю автоматизованих цехів вимагає використання виключно методи імітаційного (комп'ютерного) моделювання, що дозволить проводити аналіз функціонування мережі в відповідності до технологічного процесу.

1.2 Особливості внутрішньо цехового електропостачання

Внутрішньо цехове електропостачання промислових підприємств ґрунтується на максимальному наближенні комплектних трансформаторних підстанцій до центру електричних навантажень, що дозволяє насамперед знизити втрати енергії, та мінімізувати витрати кабельної продукції на спорудження мереж [5].

У великих за площею цехах *ТП* розміщують переважно біля колон або допоміжних приміщень, щоб повністю звільнити робочу зону кранового обладнання. Для вузких будівель або у разі винесення частини потужностей назовні використовують вбудовані чи прибудовані варіанти з розміщенням трансформаторів уздовж зовнішніх стін. Попри високу вартість виробничої площі, дахові та підземні підстанції не отримали значного поширення через незадовільні експлуатаційні показники [6].

Побудова схем живлення на напрузі 10 кВ вимагає максимального спрощення комутації, що досягається відмовою від збірних шин первинної напруги [5].

Тобто, на радіальних лініях з кабелями широко практикується глухе приєднання трансформаторів. Однак, встановлення комутаційної апаратури на стороні вищої напруги стає обов'язковим при живленні від сторонніх організацій, значному віддаленні від живильного пункту, використанні

повітряних ліній, а також для забезпечення роботи газового захисту чи ліквідації однофазних замикань на землю.

При магістральних схемах для селективного відключення пошкоджених ділянок на вводах монтують вимикачі навантаження з запобіжниками, які ефективно працюють у колах трансформаторів потужністю до 1600 кВА.

Розподіл енергії на напрузі до 1000 В безпосередньо впливає на вибір захисних та комутаційних апаратів на ланках від підстанції до розподільних пунктів і кінцевих ЕП. На КТП, на стороні нижчої напруги основними захисними елементами стають повітряні автоматичні вимикачі. Якщо цехова мережа побудована за схемою блоку без збірних шин, наявність комутуючої апаратури є критичною для термінового знеструмлення магістралі персоналом у разі пожежі чи аварії. Вибір уставок автоматичних вимикачів безпосередньо пов'язаний із технологічним резервуванням, оскільки при з'єднанні підстанцій кабелями передбачається зміну чверті навантаження відключеного трансформатора, а при використанні шин цей показник досягає 70 % [6, 7].

Розподіл потужності до РП та ЕП супроводжується обов'язковим узгодженням параметрів захисного обладнання для дотримання принципу селективності. Автоматичні вимикачі ліній, що відходять, повинні ліквідувати локальні короткі замикання та тривалі перевантаження без відключення головних ввідних апаратів підстанції. Поряд із автоматами в шафах розподільних пристроїв застосовують блоки запобіжник-вимикач, які поєднують функції надійного захисту від надструмів та ручної комутації. Двотрансформаторні підстанції додатково оснащуються автоматичним введенням резерву на секційному вимикачі нижчої напруги для безперебійного живлення приймачів у разі виходу з ладу одного з трансформаторів. В цьому випадку, струмо-часові характеристики всіх автоматів на шляху від КТП до кінцевого двигуна чи установки розраховуються так, щоб ізоляція мережі була захищена від перегріву, а пошкоджена ділянка вимикалася з мінімальними наслідками для всього технологічного процесу цеху.

1.3 Аналіз системи електропостачання об'єкта

Цех виробництва погонажних виробів відноситься до промислової бази компанії виробництва продукції з деревини від дошок на підлогу, кімнатних меблів до віконних рам та кімнатних дверей різного типорозміру. Габаритні розміри цеху: $A \times B \times H = 36 \times 30 \times 10$ м.

Загальна потужність цеху (за паспортними даними обладнання) становить 585,15 кВт. Споживачі електричної енергії цеху належать до II категорії за надійністю. Робота здійснюється в дві зміни та на обслуговуванні в цеху 42 електроприймачі (ЕП).

Електропостачання безпосередньо цеху проводиться двома трансформаторами типу ТМ 100/10 кВ, а живлення підприємства – від двох трансформаторної підстанції 35/10 кВ. Перелік обладнання цеху погонажних виробів наведено в додатку А.

Усі ЕП належать до двигунів силових загальнопромислових установок та виробничих механізмів, які розраховані на трифазний змінний струм, напругу живлення 380 В з частотою мережі живлення 50 Гц.

Генеральний план цеху виробництва погонажних виробів з розстановкою електроприймачів показано в Додатку Б.

Проведений техніко-економічний аналіз показав більш економічно вигідною схемою виконання розподілу електроенергії по цеху за допомогою силових розподільчих пунктів (РП) в порівнянні з виконанням на основі розподільчих шинопроводів. Тому в пояснювальній записці подаємо розрахунки за варіантом розподілу електроенергії по цеху за допомогою силових розподільчих пунктів РП.

1.4 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу методів визначення очікуваних електричних навантажень встановлено, що для побудови внутрішньо цехової мережі цеху виробництва погонажних виробів найбільш ефективним є метод впорядкованих діаграм, що означається наявністю великої кількості різнорідного за потужністю силового навантаження (асинхронних двигунів верстатів), яке працює в циклічному та змінному режимах.

Для оцінка електропостачання цеху необхідно провести розрахунок силового навантаження та електричного освітлення. Розрахунок освітлювального навантаження вимагає попереднього вибору джерел світла, які мають відповідати вимогам енергоефективності, забезпечувати нормативний рівень освітленості для деревообробного виробництва (виробництво меблів, віконних рам, дверей) та надійно працювати в умовах специфічного середовища цеху.

Відповідно до результатів техніко-економічного аналізу, для реалізації схеми розподілу електроенергії в цеху прийнято варіант із використанням *РП*, що зумовлює необхідність розрахунку струмів короткого замикання та тривалих режимів роботи для вибору автоматичних вимикачів та кабельних ліній на всіх ланках розподілу від *КТП* до *РП* та безпосередньо до *ЕП*.

Вибір захисної апаратури, відповідно, повинен враховувати пускові струми двигунів та забезпечувати принцип селективності.

Враховуючи приналежність *ЕП* цеху до II категорії за надійністю електропостачання та живлення від двох трансформаторної підстанції, важливим є контроль рівнів напруги в кінцевих точках мережі, що вимагає провести оцінку втрати напруги з побудовою епюр відхилення напруги для найвіддаленішого та найпотужнішого споживача цеху [8]. Це дозволить підтвердити відповідність системи електропостачання нормативним вимогам щодо якості електроенергії та забезпечити безперебійність технологічного процесу.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Керуючись основною метою за кваліфікаційною роботою щодо забезпечення електроенергією належної якості з можливістю підвищення потужностей за споживанням, проводимо розрахунок навантажень цеху погонажних виробів на всіх рівнях електропостачання на основі даних щодо електроприймачів (*ЕП*) поданих в таблицях першого розділу.

На першому рівні розрахунок електричних навантажень проводимо для всіх *ЕП* із визначенням номінальної активної потужності [6]:

– для *ЕП*, робота яких здійснюється в тривалому режимі:

$$P_p = P_{ном} = P_{насп}, \quad \text{так як } ПВ = 100 \% ; \quad (2.1)$$

– для *ЕП*, робота яких здійснюється повторно-короткочасному режимі:

$$P_{ном} = P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ}. \quad (2.2)$$

Реактивне навантаження визначаємо із [6]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.3)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності (відповідно до $\cos \varphi$).

Повну потужність кожного *ЕП* знаходимо з виразу [6]:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}. \quad (2.4)$$

Як приклад, проведемо розрахунок потужності на першому рівні для *ЕП* № 37 (таблиця 1.1) – таль електрична, згідно формул (2.1)–(2.4):

$$P_{p.№37} = P_{ном} = 5,5 \cdot \sqrt{0,4} = 3,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.№37} = 3,48 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,5)) = 6,02 \text{ кВАр};$$

$$S_p = \sqrt{3,48^2 + 6,02^2} = 6,95 \text{ кВА}.$$

Для ЕП № 37, прийнявши кратність струму запуску $K_{зан} = 5$ (для навантажень з АД із короткозамкненим ротором) визначаємо значення струмів: робочого та пускового [9]:

$$I_{p1} = \frac{P_{p1} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{3,48 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5} = 10,57 \text{ кВА} ; \quad (2.5)$$

$$I_{зан} = K_{зан} \cdot I_{p1} = 5 \cdot 10,57 = 73,99 \text{ кВА} . \quad (2.6)$$

Результати аналогічних розрахунків для інших ЕП зведено до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень (перший рівень)

№ з/п	Найменування ЕП	$P_{насп},$ кВт	ПВ, %	K_{ϵ}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{ном},$ кВт	$P_{p1},$ кВт	$Q_{p1},$ кВАр	$S_{p1},$ кВА	$I_p,$ А	$I_{зан},$ А
1	Фугувальний верстат	15,7	100	0,14	0,6	1,33	15,7	15,7	20,88	26,12	39,76	198,8
2	Фугувальний верстат	12,5	100	0,14	0,6	1,33	12,5	12,5	16,63	20,8	31,65	158,25
3	Фугувальний верстат	11,7	100	0,14	0,6	1,33	11,7	11,7	15,56	19,47	29,63	148,15
4	Рейсмусовий верстат	9,2	100	0,14	0,6	1,33	9,2	9,2	12,24	15,31	23,3	116,5
5	Рейсмусовий верстат	8,75	100	0,14	0,6	1,33	8,75	8,75	11,64	14,56	22,16	110,8
6	Рейсмусовий верстат	7,5	100	0,14	0,6	1,33	7,5	7,5	9,98	12,48	18,99	94,95
7	Пилка циркулярна	8,2	100	0,14	0,6	1,33	8,2	8,2	10,91	13,65	20,76	103,8
8	Пилка циркулярна	8,2	100	0,14	0,6	1,33	8,2	8,2	10,91	13,65	20,76	103,8
9	Пилка циркулярна	8,2	100	0,14	0,6	1,33	8,2	8,2	10,91	13,65	20,76	103,8
10	Пилка торцювальна	5,5	100	0,14	0,6	1,33	5,5	5,5	7,32	9,16	13,93	69,65
11	Пилка торцювальна	5,5	100	0,14	0,6	1,33	5,5	5,5	7,32	9,16	13,93	69,65
12	Пилка торцювальна	5,5	100	0,14	0,6	1,33	5,5	5,5	7,32	9,16	13,93	69,65
13	Верстат шипорізний	4,2	100	0,14	0,6	1,33	4,2	4,2	5,59	6,99	10,64	53,2
14	Верстат шипорізний	4,2	100	0,14	0,6	1,33	4,2	4,2	5,59	6,99	10,64	53,2
15	Верстат шипорізний	3,5	100	0,14	0,6	1,33	3,5	3,5	4,66	5,83	8,86	44,3
16	Верстат шипорізний	3,5	100	0,14	0,6	1,33	3,5	3,5	4,66	5,83	8,86	44,3
17	Верстат шипорізний	3	100	0,14	0,6	1,33	3	3	3,99	4,99	7,6	38
18	Верстат шипорізний	3	100	0,14	0,6	1,33	3	3	3,99	4,99	7,6	38
19	Прес для склеювання заготовок	12,5	100	0,14	0,6	1,33	12,5	12,5	16,63	20,8	31,65	158,25
20	Прес для склеювання заготовок	12,5	100	0,14	0,6	1,33	12,5	12,5	16,63	20,8	31,65	158,25
21	Прес для склеювання заготовок	10,2	100	0,14	0,6	1,33	10,2	10,2	13,57	16,98	25,83	129,15
22	Прес для склеювання заготовок	10,2	100	0,14	0,6	1,33	10,2	10,2	13,57	16,98	25,83	129,15
23	Прес для склеювання заготовок	9,7	100	0,14	0,6	1,33	9,7	9,7	12,9	16,14	24,56	122,8
24	Прес для склеювання заготовок	9,7	100	0,14	0,6	1,33	9,7	9,7	12,9	16,14	24,56	122,8

№ з/п	Найменування ЕП	$P_{\text{насп}},$ кВт	ПВ, %	K_e	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{\text{ном}},$ кВт	$P_{p1},$ кВт	$Q_{p1},$ кВАр	$S_{p1},$ кВА	I_p, A	$I_{\text{зан}},$ A
25	Верстат фрезерний 4-х сторонній	30,7	100	0,14	0,6	51,08	77,74	388,7	40,83			
26	Верстат фрезерний 4-х сторонній	30,7	100	0,14	0,6	1,33	30,7	30,7	40,83	51,08	77,74	388,7
27	Верстат фрезерний 4-х сторонній	28,5	100	0,14	0,6	1,33	28,5	28,5	37,91	47,43	72,17	360,85
28	Верстат фрезерний 4-х сторонній	28,5	100	0,14	0,6	1,33	28,5	28,5	37,91	47,43	72,17	360,85
29	Верстат фрезерний 4-х сторонній	25,2	100	0,14	0,6	1,33	25,2	25,2	33,52	41,94	63,81	319,05
30	Верстат фрезерний 4-х сторонній	25,2	100	0,14	0,6	1,33	25,2	25,2	33,52	41,94	63,81	319,05
31	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	35,5	100	0,14	0,6	1,33	35,5	35,5	47,22	59,08	89,89	449,45
32	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	35,5	100	0,14	0,6	1,33	35,5	35,5	47,22	59,08	89,89	449,45
33	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	33,2	100	0,14	0,6	1,33	33,2	33,2	44,16	55,25	84,07	420,35
34	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	33,2	100	0,14	0,6	1,33	33,2	33,2	44,16	55,25	84,07	420,35
35	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	30,7	100	0,14	0,6	1,33	30,7	30,7	40,83	51,08	77,74	544,18
36	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	30,7	100	0,14	0,6	1,33	30,7	30,7	40,83	51,08	77,74	544,18
37	Таль електрична	5,5	40	0,1	0,5	1,73	3,48	3,48	6,02	6,95	10,57	73,99
38	Таль електрична	5,5	40	0,1	0,5	1,73	3,48	3,48	6,02	6,95	10,57	73,99
39	Таль електрична	5,5	40	0,1	0,5	1,73	3,48	3,48	6,02	6,95	10,57	73,99
40	Вентиляційна установка	2,8	100	0,6	0,8	0,75	2,8	2,8	2,1	3,5	5,32	37,24
41	Вентиляційна установка	2,8	100	0,6	0,8	0,75	2,8	2,8	2,1	3,5	5,32	37,24
42	Вентиляційна установка	2,8	100	0,6	0,8	0,75	2,8	2,8	2,1	3,5	5,32	37,24

2.2 Розрахунок силових електричних навантажень

Для оцінки силових навантажень цеху погонажних виробів застосовуємо метод розрахункових коефіцієнтів [6, 8], де ключовим параметром є коефіцієнт розрахункової потужності (K_p), який визначається як відношення очікуваної активної складової навантаження (P_p) до середнього показника за групу ЕП:

$$K_p = \frac{P_p}{\sum K_{вик} \cdot P_n}. \quad (2.7)$$

На величину K_p впливають такі фактори [6]: ефективна кількість обладнання групи (n_e); середньозважений коефіцієнт використання ($K_{вик.ср}$); постійна часу нагріву мережі (T_0), що залежить від типу провідника та для різних ділянок мережі [1, 6]:

- $T_0 = 10 \text{ хв}$: локальні мережі до 1 кВ (щити, розподільні пункти);
- $T_0 = 2,5 \text{ год}$: цехові трансформатори та магістральні шинопроводи;
- $T_0 \geq 30 \text{ хв}$: кабельні лінії 6 кВ та вище, тут, , розрахунок ведемо при $K_p = 1$.

Для вузлів високої напруги (10 кВ) застосовуємо коефіцієнт одночасності ($K_{од}$), що відображає співвідношення між сумарним піковим навантаженням (на шині) до суми індивідуальних потужностей ЕП (розрахункові) [6]:

$$K_{од} = \frac{P_{\Sigma p}}{\sum P_p}. \quad (2.7)$$

Для обладнання до 1 кВ обчислення здійснюємо для кожного рівня живлення (два рівня) – від окремих шаф керування до цеху в цілому за алгоритмом:

А) На основі проектних завдань та довідників [9] встановлюємо номінальні параметри ($P_n, K_{вик}, tg\varphi$)

Б) Обчислюємо середні значення добутоків: $K_{вук} \cdot P_n$ та $K_{вук} \cdot P_n \cdot tg\varphi$ та їхні суми для всього вузла.

В) Визначаємо ефективну кількість ЕП (n_e):

$$n_e = \frac{\left(\sum P_n\right)^2}{\sum P_n^2}. \quad (2.8)$$

Г) На основі знайдених n_e та $K_{вук.ср}$ за таблицями [9] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження.

Активну потужність P_p обчислюємо за виразом [6]:

$$P_p = K_p \cdot \sum (K_{вук} \cdot P_n). \quad (2.9)$$

Якщо отримане значення P_p менше за номінальну потужність найсильнішого ЕП в групі, то: $P_p = P_{n.max}$. Реактивна потужність отримується в залежності від кількості обладнання:

$$- \text{якщо } n_e \leq 10, \text{ то } Q_p = 1,1 \cdot \sum (K_{вук} \cdot P_n \cdot tg\varphi); \quad (2.10)$$

$$- \text{якщо } n_e > 10, \text{ то } Q_p = \sum (K_{вук} \cdot P_n \cdot tg\varphi); \quad (2.11)$$

Для подальшого вибору перерізу кабелів (за термічною стійкістю) обчислюємо повна потужність (S_p) та розрахунковий струм (I_p) [6]:

$$S_p = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p)^2}; \quad (2.12)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.13)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга мережі.

Результати розрахунку подані в таблиці 2.2.

Схема конструктивного розподілу (групування) потужностей між ЕП можливо виконувати: за допомогою розподільних силових пунктів (РП); на основі розподільних шинопроводів (РШ). Найбільш економічно вигідно (в записці не відображено) варіант на основі РП. Схема електропостачання цеху погонажних виробів подано на рисунку 1.1.

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень за цехом (другий рівень)

Вихідні дані		За завданням		За паспортними даними			Розрахункові значення			Ефективне число ЕП, n	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A	
												Номінальна потужність, kWt	Одного ЕП	Загальна		Коефіцієнт використання, $K_{вик}$
Назва ЕП	Кількість ЕП															
	<i>РП1</i>															
1	Фугувальний верстат	1	15,7	15,7	0,14	0,6	1,33	2,2	2,93	246,49						
7	Пилка циркулярна	1	8,2	8,2	0,14	0,6	1,33	1,15	1,53	67,24						
14	Верстат шипорізний	1	4,2	4,2	0,14	0,6	1,33	0,59	0,78	17,64						
4	Рейсмусовий верстат	1	9,2	9,2	0,14	0,6	1,33	1,29	1,72	84,64						
10	Пилка торцювальна	1	5,5	5,5	0,14	0,6	1,33	0,71	1,02	30,25						
13	Верстат шипорізний	1	4,2	4,2	0,14	0,6	1,33	0,59	0,78	17,64						
37	Таль електрична	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,55	0,95	30,25						
	Разом	7		52,5	0,14	0,59	1,36	7,14	9,71	494,15	6	1,96	13,99	10,68	17,6	26,74
	<i>РП2</i>															
20	Прес для склеювання заготовок	1	12,5	12,5	0,14	0,6	1,33	1,75	2,33	156,25						
26	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	30,7	30,7	0,14	0,6	1,33	4,3	5,72	942,49						
32	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	35,5	35,5	0,14	0,6	1,33	4,97	6,61	1260,25						
19	Прес для склеювання заготовок	1	12,5	12,5	0,14	0,6	1,33	1,75	2,33	156,25						
25	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	30,7	30,7	0,14	0,6	1,33	4,3	5,72	942,49						
31	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	35,5	35,5	0,14	0,6	1,33	4,97	6,61	1260,25						
40	Вентиляційна установка	1	2,8	2,8	0,6	0,8	0,75	1,68	1,26	7,84						
	Разом	7		160,2	0,15	0,61	1,29	23,72	30,58	4725,82	5	2,09	49,57	33,64	59,91	91,02

Вихідні дані								Розрахункові значення			Ефективне число ЕП, n	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A
За завданням				За паспортними даними									$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$	
Назва ЕП	Кількість ЕП	Номінальна потужність, $кВт$		Коефіцієнт використання, $K_{вик}$	$\cos\phi$	$\operatorname{tg}\phi$	$K_{вик} \cdot P_n, кВт$	$K_{вик} \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}\phi, кВАр$	$n \cdot P_n^2$							
		Одного ЕП	Загальна													
<i>РПЗ</i>																
5	Рейсмусовий верстат	1	8,75	8,75	0,14	0,6	1,33	1,23	1,64	76,56						
11	Пилка торцювальна	1	5,5	5,5	0,14	0,6	1,33	0,77	1,02	30,25						
15	Верстат шипорізний	1	3,5	3,5	0,14	0,6	1,33	0,49	0,65	12,25						
21	Прес для склеювання заготовок	1	10,2	10,2	0,14	0,6	1,33	1,43	1,9	104,04						
27	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	28,5	28,5	0,14	0,6	1,33	3,99	5,31	812,25						
33	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	33,2	33,2	0,14	0,6	1,33	4,65	6,18	1102,24						
	Разом	6		89,65	0,14	0,6	1,33	12,56	16,7	2137,59	4	2,35	29,52	18,37	34,77	52,83
<i>РП4</i>																
38	Галь електрична	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,55	0,95	30,25						
2	Фугувальний верстат	1	12,5	12,5	0,14	0,6	1,33	1,75	2,33	156,25						
8	Пилка циркулярна	1	8,2	8,2	0,14	0,6	1,33	1,15	1,53	67,24						
16	Верстат шипорізний	1	3,5	3,5	0,14	0,6	1,33	0,49	0,65	12,25						
22	Прес для склеювання заготовок	1	10,2	10,2	0,14	0,6	1,33	1,43	1,9	104,04						
28	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	28,5	28,5	0,14	0,6	1,33	3,99	5,31	812,25						
	Разом	6		68,4	0,14	0,6	1,33	9,36	12,67	1182,28	4	2,35	22,00	13,94	26,04	39,56
<i>РП5</i>																
3	Фугувальний верстат	1	11,7	11,7	0,14	0,6	1,33	1,64	2,18	136,89						
9	Пилка циркулярна	1	8,2	8,2	0,14	0,6	1,33	1,15	1,53	67,24						
18	Верстат шипорізний	1	3,0	3,0	0,14	0,6	1,33	0,42	0,56	9,00						
24	Прес для склеювання заготовок	1	9,7	9,7	0,14	0,6	1,33	1,36	1,81	94,09						

Вихідні дані								Розрахункові значення			Ефективне число ЕП, n	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A
За завданням				За паспортними даними									$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$S_p, кВА$	
Назва ЕП	Кількість ЕП	Номінальна потужність, $кВт$		Коефіцієнт використання, $K_{вик}$	$\cos\phi$	$tg\phi$	$K_{вик} \cdot P_n, кВт$	$K_{вик} \cdot P_n \cdot tg\phi, кВАр$	$n \cdot P_n^2$							
		Одного ЕП	Загальна													
6	Рейсмусовий верстат	1	7,5	7,5	0,14	0,6	1,33	1,05	1,4	56,25						
12	Пилка торцювальна	1	5,5	5,5	0,14	0,6	1,33	0,77	1,02	30,25						
17	Верстат шипорізний	1	3,0	3,0	0,14	0,6	1,33	0,42	0,56	9,00						
42	Вентиляційна установка	1	2,8	2,8	0,6	0,8	0,75	1,68	1,26	7,84						
	Разом	8		51,4	0,17	0,63	1,22	8,49	10,32	410,56	6	1,84	15,62	11,35	19,31	29,34
	<i>РПБ</i>															
30	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	25,2	25,2	0,14	0,6	1,33	3,53	4,69	635,04						
36	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	30,7	30,7	0,14	0,6	1,33	4,3	5,72	942,49						
23	Прес для склеювання заготовок	1	9,7	9,7	0,14	0,6	1,33	1,36	1,81	94,09						
29	Верстат фрезерний 4-х сторонній	1	25,2	25,2	0,14	0,6	1,33	3,53	4,69	635,04						
35	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	30,7	30,7	0,14	0,6	1,33	4,3	5,72	942,49						
39	Таль електрична	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,55	0,95	30,25						
34	Верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний	1	33,2	33,2	0,14	0,6	1,33	4,65	6,18	1102,24						
41	Вентиляційна установка	1	2,8	2,8	0,6	0,8	0,75	1,68	1,26	7,84						
	Разом	8		163,0	0,15	0,61	1,3	23,9	31,02	4389,48	6	1,96	46,84	34,12	57,95	88,05

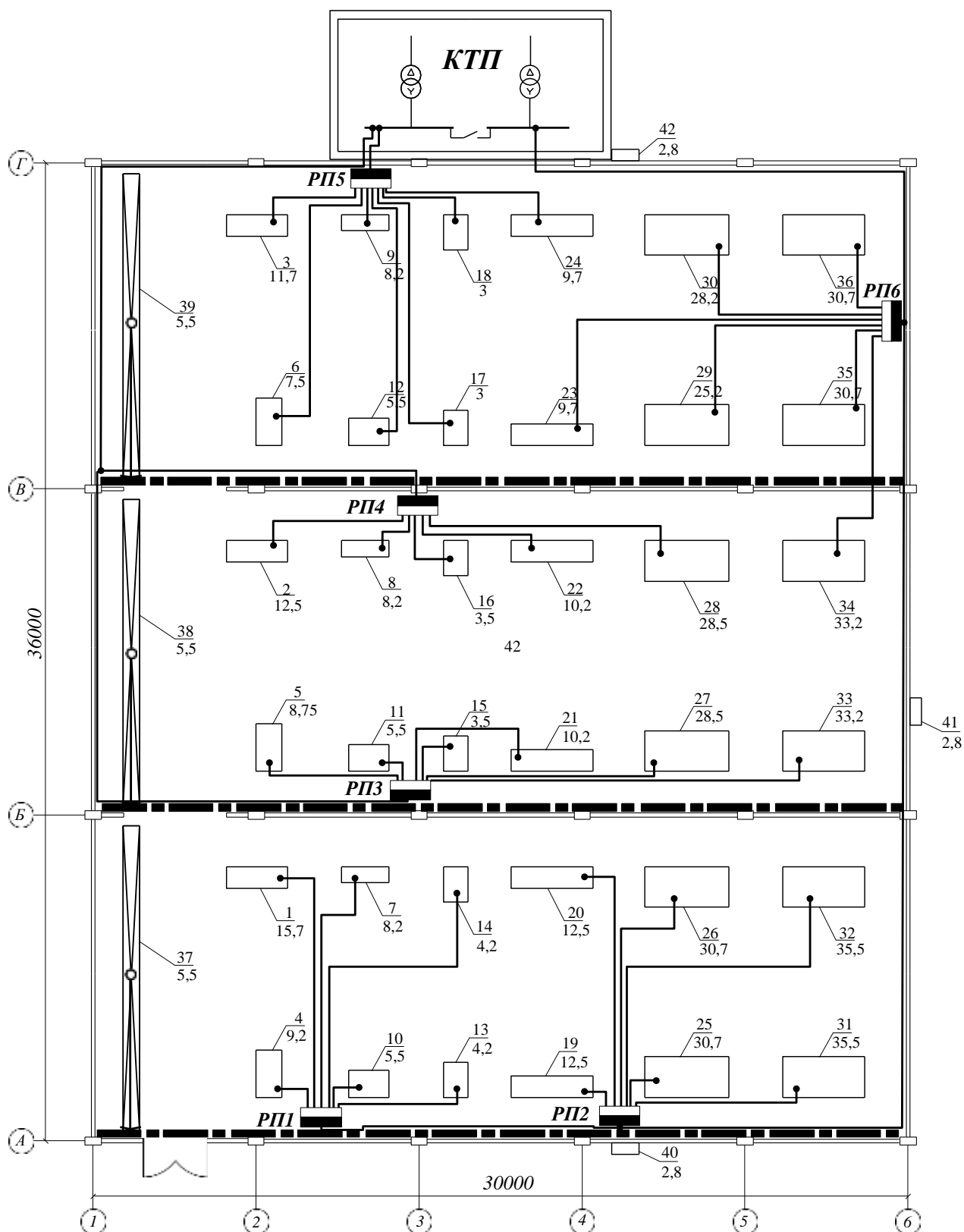


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання цеху.

2.3 Світлотехнічний розрахунок

2.3.1 Розрахунок робочого освітлення

Так як приміщення цеху погонажних виробів складається з трьох ідентичних прольотів (кожен розміром $30 \times 12 \times 10$ м) доцільно виконати розрахунок тільки одного з них (осі – 1–6, проліт А-Б), оскільки результати будуть аналогічні для всього цеху [10].

Вихідні дані:

- загальна висота приміщення $H_u = 10$ м ;
- робоча поверхня на висоті: $h_p = 0,8$ м ;
- відстань від стелі до освітлювального приладу: $h_{ож} = 1,2$ м .

Робоча висота підвісу (h) над робочою зоною становить:

$$h = H_u - h_{ож} - h_p = 10 - 1,2 - 0,8 = 8 \text{ м} . \quad (2.14)$$

Для світильників моделі РСП 05 / ГОЗ (глибока крива світла) оптимальне відношення відстані між приладами до висоти підвісу становить [10] $\lambda_E = 0,9$.

Виходячи з цього, відстань між світильниками в одному ряду дорівнює:

$$L_A = \lambda_E \cdot h = 0,9 \cdot 8 = 7,2 \text{ м} . \quad (2.15)$$

При розміщенні 5 світильників у ряду, відстань від крайніх точок до стін (ℓ_A) складе [10]:

$$\ell_A = \frac{12 - (5 - 1) \cdot 7,2}{2} = 1,2 \text{ м} .$$

Плануємо встановлення 2-х рядів світильників ($m = 2$). Відстань між рядами приймаємо $L_B = 8$ м , тоді відступ від поздовжніх стін (ℓ_B) дорівнює [10]:

$$\ell_B = \frac{12 - (2 - 1) \cdot 8}{2} = 2 \text{ м} .$$

Загальна кількість світлових точок в прольоті: $N = 5 \cdot 2 = 10$ шт .

Співвідношенні відстані між приладами становить: $L_B/L_A = 8/7,2 \approx 1,11$, що відповідає нормативу (менше 1,5).

Для забезпечення рівномірної освітленості горизонтальних поверхонь використано метод коефіцієнта використання світлового потоку. Необхідний потік лампи (Φ_p) розраховується за формулою [10]:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_{зан} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}. \quad (2.16)$$

В формулі (2.15) вхідні параметри для розрахунку:

– норма освітленості (E_n): 200 лк (для робіт середньої точності згідно зі *СП 52.13330.2011*);

– коефіцієнт запасу ($K_{зан}$): 1,5;

– коефіцієнт нерівномірності (z): 1,15 (для ламп типу *ДРЛ*);

– площа (S): $30 \cdot 12 = 360 \text{ м}^2$.

Визначаємо індекс приміщення (i):

$$i = \frac{L_u \cdot B_u}{h \cdot (L_u + B_u)} = \frac{30 \cdot 12}{8 \cdot (30 + 12)} = 1,1. \quad (2.17)$$

Враховуючи коефіцієнт відбиття поверхонь (стеля – 50 %, стіни – 30 %, підлога – 10 %), за довідковими таблицями [10] коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,62$.

Світловий потік однієї лампи згідно 2.16:

$$\Phi_p = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 360 \cdot 1,15}{10 \cdot 0,62} \approx 20032 \text{ лм}.$$

Згідно з отриманим значенням, обираємо ртутну лампу високого тиску типу *ДРЛ 400(12)–4* (потужність 400 Вт, цоколь *E40*. Номінальний світловий потік лампи становить $\Phi_{ном} = 24000 \text{ дм}$.

Перевіряємо відхилення:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ном} - \Phi_p}{\Phi_p} \cdot 100 \% = \frac{24000 - 20032}{20032} \cdot 100 \% \approx 19,8 \% . \quad (2.18)$$

Отримане відхилення знаходиться в межах допустимого діапазону (від -10% до $+20\%$), що підтверджує коректність вибору потужності ламп та схеми їх розташування.

2.3.2 Розрахунок аварійного освітлення

Розрахунок параметрів аварійного освітлення для прольоту *A-B* (осі – 1–6) виконується за методикою, аналогічною до розрахунку основної робочої мережі, але з урахуванням специфічних вимог до інтенсивності світлового потоку та типу обладнання.

Розрахункова висота підвісу (h) залишається незмінною і становить 8 м (з урахуванням висоти приміщення, відступу від перекриття та положення робочої поверхні).

Для реалізації проекту обрано світильники типу *НСП–02*, що мають наполовину широкую криву сили світла. Згідно з довідковими даними [9], оптимальний показник відносної відстані для такого типу обладнання становить $\lambda_E = 1,8$.

Визначення схеми розміщення:

– відстань між світловими точками вздовж ряду згідно (2.15):

$$L_A = 1,8 \cdot 8 = 14,4 \text{ м};$$

– у межах одного ряду планується монтаж 3-х світильників. Відстань від крайніх приладів до стін цеху складе:

$$\ell_A = \frac{30 - (3 - 1) \cdot 14,4}{2} = 1,2 \text{ м};$$

– параметри розміщення по ширині: кількість рядів (m) приймаємо рівним

2. При відстані між рядами $L_B = 10\text{ м}$, відступ від поздовжніх стін рівна:

$$\ell_B = \frac{12 - (2-1) \cdot 10}{2} = 1 \text{ м.}$$

Загальна кількість точок аварійного освітлення у прольоті – 6 шт. Відношення відстаней між ними становить $L_B/L_A = 14,4/10 = 1,44$, що не перевищує гранично допустиме значення (1,5).

Індекс приміщення (i) для даної конфігурації складає 1,1. Використовуючи значення коефіцієнтів відбиття поверхонь та технічні характеристики світильників НСП [10], встановлено коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,29$.

Відповідно до нормативних вимог [10], рівень аварійного освітлення має становити не менше 5 % від норми робочого світла: $E_n = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ лк}$.

Світловий потік однієї лампи (Φ_p) при коефіцієнті запасу $K_{зан} = 1,5$ та коефіцієнті нерівномірності $z = 1,15$, необхідний потік згідно (2.16):

$$\Phi_p = 6 \frac{10 \cdot 1,5 \cdot (30 \cdot 12) \cdot 1,15}{10 \cdot 0,29} \approx 3569 \text{ лм.}$$

Для комплектації системи аварійного освітлення [10] обрано енергоефективну світлодіодну лампу моделі $NLL-T105-45-230-840-E27$ (потужність 45 Вт, цоколь E27, номінальний потік $\Phi_{ном} = 4000 \text{ лм}$).

Відхилення фактичного потоку від розрахункового значення згідно (2.18) становить:

$$\Delta\Phi = \frac{4000 - 3569}{3569} \cdot 100 \% \approx 12,1 \%.$$

Отриманий результат повністю відповідає інженерним допускам (від -10 % до +20 %). Аналогічна методика розрахунку застосовується для всіх інших зон та приміщень цеху. Довідкові дані щодо характеристик світильників та ламп прийняті згідно з нормативною літературою [1, 10].

Схема розміщення світильників цеху погонажних виробів представлено на рис.2.2.

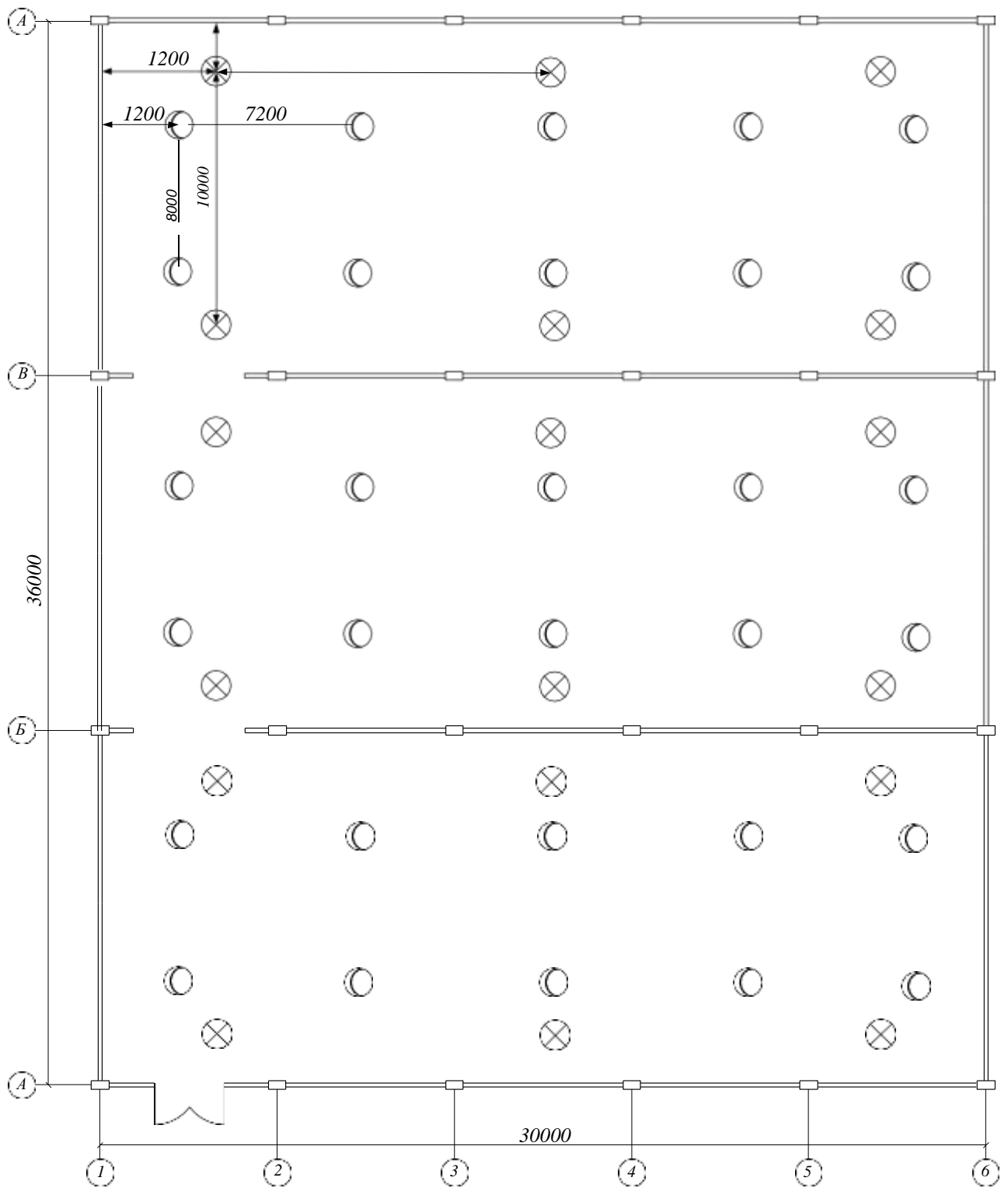


Рисунок 2.2 – Розміщення світильників цеху (робоче та аварійне освітлення).

2.3.3 Потужність освітлювального навантаження цеху

Визначення повної потужності, що споживається системою освітлення, здійснюється за наступною методикою. Спершу обчислюється активна складова навантаження ($P_{осв}$) з урахуванням специфіки джерел світла та режиму їх експлуатації [6, 10]:

$$P_{осв} = N \cdot P_{ном} \cdot K_n \cdot K_{ПРА}, \quad (2.19)$$

де N – загальна чисельність встановлених світлових джерел;

$P_{ном}$ – потужність одиночного освітлювального приладу, *кВт*;

K_n – коефіцієнт попиту [10], для цеху погонажних виробів приймаємо:

$$K_n = 0,95;$$

$K_{ПРА}$ – показник, що враховує втрати в ПРА; для ДРЛ – $K_{ПРА} = 1,1$, для LED – $K_{ПРА} = 1,0$.

Реактивна потужність мережі ($Q_{осв}$) розраховується на основі отриманого значення активної потужності:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi, \quad (2.20)$$

де, значення тригонометричного коефіцієнта залежить від $\cos\varphi$: для ДРЛ коливається в межах 0,56–0,6, для енергоефективних світлодіодів досягає 0,95.

Загальний результат обчислень параметрів освітлення „систематизовано та наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Потужність освітлення

Назва	N , <i>шт</i>	$P_{ном}$, <i>кВт</i>	K_n	$K_{ПРА}$	$P_{осв}$, <i>кВт</i>	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$Q_{осв}$ <i>кВАр</i>
Цех погонажних виробів	$3 \cdot 10 = 30$	0,4	0,95	1,1	12,54	0,57	1,44	18,06

2.4 Вибір комутаційно-захисних апаратів

2.4.1 Вибір автоматичних вимикачів

Підбір автоматичних вимикачів для забезпечення захисту *ЕП* цеху погонажних виробів, здійснюється з дотриманням наступних критеріїв [11]:

– за параметром номінальної напруги: робоча напруга апарата має бути не меншою за напругу мережі живлення: $U_{ан} \geq U_{ном.м}$;

– за номінальним струмом (настроювання теплового розчеплювача), умова: $I_{ном.ан} \geq 1,25 \cdot I_p$, де $I_{ном.ан}$ – розрахунковий номінальний струм вимикача;

– за номінальними характеристиками електромагнітного розчеплювача: струм спрацьовування відсічки (вставки) повинен перевищувати пусковий струм з урахуванням коефіцієнта надійності: $I_{ном.вс.} \geq 1,25 \cdot I_{зан}$.

Величина $I_{ном.вс.}$ визначається через кратність $K_{вс}$ ($I_{ном.вс.} = K_{вс} \cdot I_{ном.ан}$). Для вимикачів типу *ВА* значення $K_{вс}$ обираємо з ряду 3, 5, 7 або 10. В нашому випадку, достатньо обрати кратність у межах 5–7, що відповідає пусковим характеристикам електродвигунів.

Дані щодо обраного обладнання для кожного *ЕП* згруповані у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір автоматів для окремих *ЕП*

№ <i>ЕП</i>	I_p , <i>A</i>	$1,25 \cdot I_p$, <i>A</i>	$I_{ном.ан}$, <i>A</i>	$I_{зан}$, <i>A</i>	$1,25 \cdot I_{зан}$, <i>A</i>	$K_{вс}$	$I_{ном.вс.}$	Тип автомата	$I_{відк.}$, <i>кА</i>
1	39,76	49,7	50	198,8	238,56	7	350	<i>ВА</i> 51–31	6
2	31,65	39,56	40	158,25	189,9	7	280	<i>ВА</i> 51–31	6
3	29,63	37,04	40	148,15	177,78	7	280	<i>ВА</i> 51–31	6
4	23,3	29,13	31,5	116,5	139,8	7	220,5	<i>ВА</i> 51–31	6
5	22,16	27,7	31,5	110,8	132,96	7	220,5	<i>ВА</i> 51–31	6
6	18,99	23,74	25	94,95	113,94	7	175	<i>ВА</i> 51–25	3
7	20,76	25,95	31,5	103,8	124,56	7	220,5	<i>ВА</i> 51–31	6
8	20,76	25,95	31,5	103,8	124,56	7	220,5	<i>ВА</i> 51–31	6
9	20,76	25,95	31,5	103,8	124,56	7	220,5	<i>ВА</i> 51–31	6
10	13,93	17,41	20	69,65	83,58	7	140	<i>ВА</i> 51–25	3
11	13,93	17,41	20	69,65	83,58	7	140	<i>ВА</i> 51–25	3
12	13,93	17,41	20	69,65	83,58	7	140	<i>ВА</i> 51–25	3

№ ЕП	$I_p,$ A	$1,25 \cdot I_p,$ A	$I_{ном.ап},$ A	$I_{зан},$ A	$1,25 \cdot I_{зан},$ A	$K_{ес}$	$I_{ном.вс.}$	Тип автомата	$I_{відк.},$ $кА$
13	10,64	13,3	16	53,2	63,84	7	112	ВА 51–25	3
14	10,64	13,3	16	53,2	63,84	7	112	ВА 51–25	3
15	8,86	11,08	12,5	44,3	53,16	7	87,5	ВА 51–25	2,5
16	8,86	11,08	12,5	44,3	53,16	7	87,5	ВА 51–25	2,5
17	7,6	9,5	10	38	45,6	7	70	ВА 51–25	2,5
18	7,6	9,5	10	38	45,6	7	70	ВА 51–25	2,5
19	31,65	39,56	40	158,25	189,9	7	280	ВА 51–31	6
20	31,65	39,56	40	158,25	189,9	7	280	ВА 51–31	6
21	25,83	32,29	40	129,15	154,98	7	280	ВА 51–31	6
22	25,83	32,29	40	129,15	154,98	7	280	ВА 51–31	6
23	24,56	30,7	31,5	122,8	147,36	7	220,5	ВА 51–31	6
24	24,56	30,7	31,5	122,8	147,36	7	220,5	ВА 51–31	6
25	77,74	97,18	100	388,7	466,44	7	700	ВА 51–31	7
26	77,74	97,18	100	388,7	466,44	7	700	ВА 51–31	7
27	72,17	90,21	100	360,85	433,02	7	700	ВА 51–31	7
28	72,17	90,21	100	360,85	433,02	7	700	ВА 51–31	7
29	63,81	79,76	80	319,05	382,86	7	560	ВА 51–31	6
30	63,81	79,76	80	319,05	382,86	7	560	ВА 51–31	6
31	89,89	112,36	160	449,45	539,34	7	1120	ВА 51–35	15
32	89,89	112,36	160	449,45	539,34	7	1120	ВА 51–35	15
33	84,07	105,09	160	420,35	504,42	7	1120	ВА 51–35	15
34	84,07	105,09	160	420,35	504,42	7	1120	ВА 51–35	15
35	77,74	97,18	100	388,7	466,44	7	700	ВА 51–31	7
36	77,74	97,18	100	388,7	466,44	7	700	ВА 51–31	7
37	10,57	13,21	16	52,85	63,42	7	112	ВА 51–25	3
38	10,57	13,21	16	52,85	63,42	7	112	ВА 51–25	3
39	10,57	13,21	16	52,85	63,42	7	112	ВА 51–25	3
40	5,32	6,65	8	26,6	31,92	7	56	ВА 51–25	2
41	5,32	6,65	8	26,6	31,92	7	56	ВА 51–25	2
42	5,32	6,65	8	26,6	31,92	7	56	ВА 51–25	2

Для забезпечення надійного захисту ліній, що з'єднують джерела живлення з РП групи електроспоживачів, підбір захисної апаратури здійснюється згідно з методикою [11]:

– відповідність номінальної напруги апарата напрузі мережі, в якій він функціонує: $U_{ном.ап} \geq U_{ном.м}$;

– номінальний струм розчеплювача має перевищувати розрахунковий струм лінії щонайменше на 10 % : $I_{ном.розч} \geq 1,1 \cdot I_{розр.л.}$.

Для комплектації РП прийняли рішення використовувати автоматичні вимикачі серії ВА 51 [12]. Основні технічні характеристики та результати розрахунків для вибору автоматів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір автоматів для захисту РП

Назва	I_p , А	$I_{ном.розч}$, А	$I_{ном.ап}$, А	I_{max} , А	$1,2 \cdot I_{max}$, А	$K_{вс}$	$I_{ном.вс.}$	Тип автомата	$I_{відк.}$, кА
РП1	26,74	29,41	31,5	133,7	160,44	7	220,5	ВА 51–31	6
РП2	91,02	100,12	160	455,1	546,12	7	1120	ВА 51–35	15
РП3	52,83	58,11	63	264,15	316,98	7	441	ВА 51–31	6
РП4	39,56	43,52	50	197,8	237,36	7	350	ВА 51–31	6
РП5	29,34	32,27	40	146,7	176,04	7	280	ВА 51–31	6
РП6	88,05	96,86	100	440,25	528,3	7	700	ВА 51–31	7

2.4.2 Вибір розподільних пунктів та перерізів кабельних ліній

Вибір РП здійснюємо виходячи з кількості приєднань, робочого струму самого пункту та номінальної напруги [6]. Вибір представлений в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір розподільних пунктів

Назва	I_p , А	Тип РП	$I_{доп}$, А	К-сть приєднань РП
РП1	26,74	ПР8804–1008	40	8
РП2	91,02	ПР8804–1004	100	8
РП3	52,83	ПР8804–1006	63	8
РП4	39,56	ПР8804–1008	40	8
РП5	29,34	ПР8804–1008	40	8
РП6	88,05	ПР8804–1004	100	8

Для організації електропостачання окремих ЕП передбачаємо використання силових кабелів з алюмінієвими жилами марки АВВГ [5]. Згідно з нормативними вимогами [3], переріз провідників повинен бути узгоджений із параметрами захисної апаратури.

Вибір перерізу кабелів здійснюється за двома ключовими критеріями:

– за тривалим допустимим струмом: струмова здатність провідника має перевищувати максимальне робоче навантаження лінії: $I_{np} \geq I_{нав.}$;

– за умовою спрацювання захисту: забезпечується відповідність між допустимим струмом провідника та номінальним струмом захисного автомата: $I_{np} \geq K_{зах} \cdot I_{ном.ав}$, де $K_{зах}$ – коефіцієнт захисту, який для приміщень зі стандартними умовами приймаємо рівним: $K_{зах} = 1$.

Результати розрахунків та підібрані перерізи кабельних ліній для підключення окремих *ЕП* систематизовані у табл. 2.7.

Для магістрального електропостачання (*РП*) також застосовуються кабелі типу *АВВГ*. Їхній переріз визначено на основі розрахункових навантажень згідно з довідковими даними [12]. Зведені результати цього вибору представлені у табл. 2.8.

Таблиця 2.7 – Вибір перерізів проводів та кабельних ліній

№ <i>ЕП</i>	Номінальний струм автомату, $I_{ном}, A$	Допустимий струм провідника (кабелю), $I_{доп}, A$	Переріз основної жили, $S, мм^2$	Марка, переріз проводу (кабелю)
1	50	55	16	АВВГ 3x16+1x10
2	40	55	16	АВВГ 3x16+1x10
3	40	55	16	АВВГ 3x16+1x10
4	31,5	39	10	АВВГ 4x10
5	31,5	39	10	АВВГ 4x10
6	25	30	6	АВВГ 4x6
7	31,5	39	10	АВВГ 4x10
8	31,5	39	10	АВВГ 4x10
9	31,5	39	10	АВВГ 4x10
10	20	23	4	АВВГ 4x4
11	20	23	4	АВВГ 4x4
12	20	23	4	АВВГ 4x4
13	16	23	4	АВВГ 4x4
14	16	23	4	АВВГ 4x4
15	12,5	23	4	АВВГ 4x4
16	12,5	23	4	АВВГ 4x4
17	10	23	4	АВВГ 4x4

№ ЕП	Номинальний струм автомату, $I_{ном}, A$	Допустимий струм провідника (кабелю), $I_{дон}, A$	Переріз основної жили, $S, мм^2$	Марка, переріз проводу (кабелю)
18	10	23	4	АВВГ 4х4
19	40	55	16	АВВГ 3х16+1х10
20	40	55	16	АВВГ 3х16+1х10
21	40	55	16	АВВГ 3х16+1х10
22	40	55	16	АВВГ 3х16+1х10
23	31,5	39	10	АВВГ 4х10
24	31,5	39	10	АВВГ 4х10
25	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
26	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
27	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
28	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
29	80	85	35	АВВГ 3х35+1х16
30	80	85	35	АВВГ 3х35+1х16
31	160	175	95	АВВГ 3х95+1х50
32	160	175	95	АВВГ 3х95+1х50
33	160	175	95	АВВГ 3х95+1х50
34	160	175	95	АВВГ 3х95+1х50
35	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
36	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25
37	16	23	4	АВВГ 4х4
38	16	23	4	АВВГ 4х4
39	16	23	4	АВВГ 4х4
40	8	23	4	АВВГ 4х4
41	8	23	4	АВВГ 4х4
42	8	23	4	АВВГ 4х4

Таблиця 2.8 – Вибір кабелів живлення РП

№ РП	Струм спрацювання теплового розчеплювача, A	Допустимий струм провідника (кабелю), $I_{дон}, A$	Переріз основної жили, $S, мм^2$	Марка, переріз проводу (кабелю)
РП1	31,5	55	16	АВВГ 3х16+1х10
РП2	160	175	95	АВВГ 3х95+1х50
РП3	63	85	35	АВВГ 3х35+1х16
РП4	50	85	35	АВВГ 3х35+1х16
РП5	40	85	35	АВВГ 3х35+1х16
РП6	100	120	50	АВВГ 3х50+1х25

2.4.3 Розрахунок втрат потужності та напруги

Визначення технічних параметрів кабельних ліній передбачає розрахунок падіння напруги та втрат потужності. Згідно з методикою [8], величину лінійної втрати напруги визначаємо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot \ell \cdot (r_n \cdot \cos \varphi + x_n \cdot \sin \varphi), \quad (2.21)$$

де ℓ – протяжність кабельної лінії, км;

r_n, x_n – питомі параметри опору (активного та реактивного, відповідно), Ом/км;

I_p – величина розрахункового струму навантаження, А.

Для оцінки якості електропостачання розраховуємо відносне відхилення напруги (%) щодо номінального значення мережі ($U_{ном}$):

$$\Delta U \% = \Delta U / U_{ном} \cdot 100 \% . \quad (2.22)$$

Енергетичні втрати в провідниках (активні ΔP та реактивні ΔQ) обчислюємо на основі квадрату робочого струму та параметрів лінії:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_n \cdot \ell ; \quad (2.23)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_p^2 \cdot x_n \cdot \ell . \quad (2.24)$$

Результати проведеного аналізу наведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахунок втрат потужності та напруги

№ ЕП	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$L, м$	$I_p, А$	$S, мм^2$	$r_n, Ом/км$	$x_n, Ом/км$	$\Delta U, \%$	$\Delta P, кВт$	$\Delta U, В$	$\Delta Q, кВАр$
1	0,6	0,8	10	39,76	16	1,94	0,0675	0,22	0,092	0,836	0,003
2	0,6	0,8	6	31,65	16	1,94	0,0675	0,11	0,035	0,418	0,001
3	0,6	0,8	5	29,63	16	1,94	0,0675	0,08	0,026	0,304	0,001
4	0,6	0,8	2	23,3	10	3,1	0,073	0,04	0,01	0,152	0
5	0,6	0,8	6	22,16	10	3,1	0,073	0,12	0,027	0,456	0,001
6	0,6	0,8	12	18,99	6	5,17	0,09	0,33	0,067	1,254	0,001
7	0,6	0,8	10	20,76	10	3,1	0,073	0,18	0,04	0,684	0,001
8	0,6	0,8	3	20,76	10	3,1	0,073	0,05	0,012	0,19	0

№ ЕП	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$L, м$	$I_p, А$	$S, мм^2$	$r_n, Ом/км$	$x_n, Ом/км$	$\Delta U, \%$	$\Delta P, кВт$	$\Delta U, В$	$\Delta Q, кВАр$
9	0,6	0,8	2	20,76	10	3,1	0,073	0,04	0,008	0,152	0
10	0,6	0,8	2	13,93	4	7,74	0,095	0,06	0,009	0,228	0
11	0,6	0,8	2	13,93	4	7,74	0,095	0,06	0,009	0,228	0
12	0,6	0,8	11	13,93	4	7,74	0,095	0,33	0,05	1,254	0,001
13	0,6	0,8	6	10,64	4	7,74	0,095	0,14	0,016	0,532	0
14	0,6	0,8	13	10,64	4	7,74	0,095	0,3	0,034	1,14	0
15	0,6	0,8	3	8,86	4	7,74	0,095	0,06	0,005	0,228	0
16	0,6	0,8	3	8,86	4	7,74	0,095	0,06	0,005	0,228	0
17	0,6	0,8	12	7,6	4	7,74	0,095	0,2	0,016	0,76	0
18	0,6	0,8	4	7,6	4	7,74	0,095	0,07	0,005	0,266	0
19	0,6	0,8	2	31,65	16	1,94	0,0675	0,04	0,012	0,152	0
20	0,6	0,8	10	31,65	16	1,94	0,0675	0,18	0,058	0,684	0,002
21	0,6	0,8	7	25,83	16	1,94	0,0675	0,1	0,027	0,38	0,001
22	0,6	0,8	6	25,83	16	1,94	0,0675	0,09	0,023	0,342	0,001
23	0,6	0,8	16	24,56	10	3,1	0,073	0,34	0,09	1,292	0,002
24	0,6	0,8	7	24,56	10	3,1	0,073	0,15	0,039	0,57	0,001
25	0,6	0,8	10	77,74	50	0,62	0,0625	0,15	0,112	0,57	0,011
26	0,6	0,8	2	77,74	50	0,62	0,0625	0,03	0,022	0,114	0,002
27	0,6	0,8	9	72,17	50	0,62	0,0625	0,12	0,087	0,456	0,009
28	0,6	0,8	10	72,17	50	0,62	0,0625	0,14	0,097	0,532	0,01
29	0,6	0,8	10	63,81	35	0,89	0,0637	0,17	0,109	0,646	0,008
30	0,6	0,8	9	63,81	35	0,89	0,0637	0,15	0,098	0,57	0,007
31	0,6	0,8	7	89,89	95	0,326	0,0602	0,07	0,055	0,266	0,01
32	0,6	0,8	15	89,89	95	0,326	0,0602	0,15	0,119	0,57	0,022
33	0,6	0,8	15	84,07	95	0,326	0,0602	0,14	0,104	0,532	0,019
34	0,6	0,8	10	84,07	95	0,326	0,0602	0,09	0,069	0,342	0,013
35	0,6	0,8	4	77,74	50	0,62	0,0625	0,06	0,045	0,228	0,005
36	0,6	0,8	4	77,74	50	0,62	0,0625	0,06	0,045	0,228	0,005
37	0,5	0,87	1	10,57	4	7,74	0,095	0,02	0,003	0,076	0
38	0,5	0,87	1	10,57	4	7,74	0,095	0,02	0,003	0,076	0
39	0,5	0,87	1	10,57	4	7,74	0,095	0,02	0,003	0,076	0
40	0,8	0,6	1	5,32	4	7,74	0,095	0,02	0,001	0,076	0
41	0,8	0,6	3	5,32	4	7,74	0,095	0,05	0,002	0,19	0
42	0,8	0,6	1	5,32	4	7,74	0,095	0,02	0,001	0,076	0

Втрати напруги в кабелях, що з'єднують РП з КТП розраховуємо аналогічно за формулами (2.21) – (2.24) та зводимо в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок втрат в кабелях, що живлять РП

№ РП	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$L, м$	$I_p, А$	$S, мм^2$	$r_n, Ом/км$	$x_n, Ом/км$	$\Delta U, \%$	$\Delta P, кВт$	$\Delta U, В$	$\Delta Q, кВАр$
1	0,59	0,81	72	26,74	16	1,94	0,0675	1,05	0,3	3,99	0,01
2	0,61	0,79	60	91,02	95	0,326	0,0602	0,61	0,486	2,318	0,09
3	0,6	0,8	50	52,83	35	0,89	0,0637	0,7	0,373	2,66	0,027
4	0,6	0,8	40	39,56	35	0,89	0,0637	0,42	0,167	1,596	0,012
5	0,63	0,78	3	29,34	35	0,89	0,0637	0,02	0,007	0,076	0
6	0,61	0,79	22	88,05	50	0,62	0,0625	0,38	0,317	1,444	0,032

2.5 Висновки до другого розділу

У розділі проведено комплексний інженерний розрахунок системи електропостачання цеху погонажних виробів.

Світлотехнічний розрахунок підтвердив ефективність використання ртутних ламп типу ДРЛ – 250 для основного освітлення та світлодіодних ламп LED – 20W для аварійної мережі, що забезпечує нормовану освітленість 300 лк при оптимальному відхиленні світлового потоку в межах 6,8 %.

Результати розрахункового розділу підтверджують можливість підвищення потужностей споживання при збереженні належної якості електроенергії. Завдяки групуванню споживачів за розподільними пунктами (РП1 – РП6) та вибору сучасних засобів захисту досягнуто високого рівня селективності мережі.

Вибрані джерела світла та комутаційні апарати повністю відповідають галузевим нормативам щодо енергоефективності та термічної стійкості, що забезпечує безперебійну роботу технологічного обладнання цеху.

– реактивний опір: $x_l = x_0 \cdot L = 0,113 \cdot 1,5 = 0,17 \text{ Ом}$;

– активний опір: $r_l = r_0 \cdot L = 1,94 \cdot 1,5 = 2,91 \text{ Ом}$.

Оскільки точні дані про потужність підстанції енергосистеми відсутні, її параметри визначаються за характеристиками встановленого захисного обладнання. Виходячи з типу вимикача $VBE - M - 10 - 12,5 / 630U2$, струм відключення якого становить $I_{відк} = 12,5 \text{ кА}$, розраховуємо потужність та опір системи:

$$S_M = \sqrt{3} \cdot I_{відк} \cdot U_{ном} = \sqrt{3} \cdot 12,5 \cdot 10,5 = 227,3 \text{ МВА}; \quad (3.1)$$

$$x_M = U_{ном}^2 / S_M = 10,5^2 / 227,3 = 0,5 \text{ Ом}. \quad (3.2)$$

Оцінка струмів $K3$ на стороні високої напруги ($10,5 \text{ кВ}$).

Точка $K1$ (на затискачах системи). Сумарний реактивний опір $x_{\Sigma K1} = x_M = 0,5 \text{ Ом}$. Струм $K3$ (I_{K1}) та ударний струм ($i_{уд.K1}$) замикання складають [15]:

$$I_{K1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,5} = 12 \text{ кА};$$

$$i_{уд.K1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12 = 30,55 \text{ кА},$$

де $k_{уд} = 1,8$ – ударний коефіцієнт при $K3$ в мережах BH [14].

Точка $K2$ (перед трансформатором). Враховуємо опір лінії електропостачання:

$$x_{\Sigma K2} = x_M + x_l = 0,5 + 0,17 = 0,67 \text{ Ом}; \quad r_{\Sigma K2} = r_l = 2,91 \text{ Ом}.$$

$$I_{K2} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,67^2 + 2,91^2}} = 2,03 \text{ кА};$$

$$i_{уд.K2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,03 = 5,17 \text{ кА}.$$

Для аналізу $K3$ на стороні $0,4 \text{ кВ}$ у точках $K3 - K5$ перераховуємо всі опори за формулою [15]:

$$X_k = X_{ном} \cdot \left(\frac{U_k}{U_{ном}} \right)^2. \quad (3.3)$$

У відповідності до (3.5):

– приведений опір системи:

$$x_m = \frac{U_{ном.мп}^2}{S_m} \cdot \left(\frac{U_k}{U_{ном}} \right)^2 = \frac{10000^2}{227,3 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,64 \text{ мОм}; \quad (3.4)$$

– приведені опори кабельної лінії:

$$x_l = x_{н.л} \cdot \ell_l \cdot \left(\frac{U_k}{U_{ном}} \right)^2 = 0,113 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,25 \text{ мОм}; \quad (3.5)$$

$$r_l = r_{н.л} \cdot \ell_l \cdot \left(\frac{U_k}{U_{ном}} \right)^2 = 1,94 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 4,22 \text{ мОм}. \quad (3.6)$$

Точка $K3$ (ввід $0,4 \text{ кВ}$ $KТП$). З врахуванням параметрів трансформатора ($r_{мп} = 31,52 \text{ мОм}$; $x_{мп} = 64,73 \text{ мОм}$) та, відповідно, приведених опорів мережі:

$$x_{\Sigma K3} = x_m + x_l + x_{мп} = 0,64 + 0,25 + 64,73 = 65,62 \text{ Ом};$$

$$r_{\Sigma K3} = r_{мп} + r_l + r_{\text{дод}} = 31,52 + 4,22 + 15 = 50,74 \text{ Ом}, \text{ де } r_{\text{дод}} = 15 \text{ мОм} - \text{ додатковий}$$

опір контактів. Так як $x_{\Sigma K3}/r_{\Sigma K3} = 1,02$, тобто $k_{y\text{д}} = 1$ [14]. Отже:

$$I_{K3} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K3}^2 + r_{\Sigma K3}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{65,62^2 + 50,74^2}} = 2,78 \text{ кА};$$

$$i_{y\text{д}.K3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\text{д}} \cdot I_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 2,78 = 3,93 \text{ кА}.$$

Розраховуємо струм $K3$ в точці $K4$ та $K5$. При розрахунках у цих точках додаються опори кабельних ліній та перехідні опори контактів (20 мОм для первинних та 25 мОм для вторинних пунктів). В точці $K4$:

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{кл.РП1} \cdot \ell = 65,62 + 0,0675 \cdot 72 = 70,48 \text{ Ом};$$

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K3} + r_{кл.РП1} \cdot \ell + r_{\text{дод.прв}} = 50,74 + 1,94 \cdot 72 + 20 = 210,42 \text{ Ом}.$$

Так як $x_{\Sigma K4}/r_{\Sigma K4} < 1$, то $k_{y\text{д}} = 1,0$ [14].

$$I_{K4} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{70,48^2 + 210,42^2}} = 1,041 \text{ кА};$$

$$i_{y\text{д}.K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\text{д}} \cdot I_{K4} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,041 = 1,472 \text{ кА}.$$

В точці $K5$:

$$x_{\Sigma K5} = x_{\Sigma K4} + x_{кл.ЕП} \cdot \ell = 70,48 + 0,0675 \cdot 10 = 71,155 \text{ Ом};$$

$$r_{\Sigma K5} = r_{\Sigma K4} + r_{кл.ЕП} \cdot \ell + r_{од.всп} = 210,42 + 1,94 \cdot 10 + 25 = 254,82 \text{ Ом.}$$

Так як $x_{\Sigma K5}/r_{\Sigma K5} < 0,5$, то $k_{y0} = 1,0$ [14].

$$I_{K5} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K5}^2 + r_{\Sigma K5}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{71,155^2 + 254,82^2}} = 0,873 \text{ кА};$$

$$i_{y0.K5} = \sqrt{2} \cdot k_{y0} \cdot I_{K5} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 0,873 = 1,235 \text{ кА.}$$

Розрахунки за *ЕП* проводимо аналогічно. Результати в Додатку В.

Для забезпечення надійної роботи мережі напругою до 1000 В необхідно виконати перевірку захисних пристроїв на їхню здатність на відключення. Розрахунок базується на співвідношенні:

$$I_{вимк.ном} \geq I_{K3.max}, \quad (3.7)$$

де $I_{вимк.ном}$ – номінальний струм відключення апарата;

$I_{K3.max}$ – максимальне значення струму *K3* в точці встановлення.

Результати перевірки представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Перевірка автоматичних вимикачів

Місце встановлення (РП або № ЕП)	Тип автоматичного вимикача	Гранична здатність на вимкнення, кА	Точка <i>K3</i>	$I^{(K3)}$, кА
Ввідний автомат QF1, QF3	ВА 51-35	15	K3	2,78
Секційний автомат QF2	ВА 51-35	15	K3	2,78
РП-1	ВА 51-31	6	K4	1,041
1	ВА 51-31	6	K5	0,873
7	ВА 51-31	6	K6	0,837
14	ВА 51-25	3	K7	0,672
4	ВА 51-31	6	K8	0,917
10	ВА 51-25	3	K9	0,886
13	ВА 51-25	3	K10	0,794
37	ВА 51-25	3	K11	0,912
СП-2	ВА 51-35	15	K12	2,03
20	ВА 51-31	6	K13	1,522
26	ВА 51-31	7	K14	1,703
32	ВА 51-35	15	K15	1,66
19	ВА 51-31	6	K16	1,675
25	ВА 51-31	7	K17	1,648

Місце встановлення (РП або № ЕП)	Тип автоматичного вимикача	Гранична здатність на вимкнення, <i>кА</i>	Точка <i>КЗ</i>	$I^{(КЗ)}$, <i>кА</i>
31	ВА 51-35	15	К18	1,69
40	ВА 51-25	2	К19	1,635
СП-3	ВА 51-31	6	К20	1,721
5	ВА 51-31	6	К21	1,333
11	ВА 51-25	3	К22	1,356
15	ВА 51-25	2,5	К23	1,301
21	ВА 51-31	6	К24	1,369
27	ВА 51-31	7	К25	1,43
33	ВА 51-35	15	К26	1,434
СП-4	ВА 51-31	6	К27	1,828
38	ВА 51-25	3	К28	1,491
2	ВА 51-31	6	К29	1,456
8	ВА 51-31	6	К30	1,477
16	ВА 51-25	2,5	К31	1,366
22	ВА 51-31	6	К32	1,456
28	ВА 51-31	7	К33	1,502
СП-5	ВА 51-31	6	К34	2,342
3	ВА 51-31	6	К35	1,822

Оскільки фактична здатність на вимкнення обраних автоматичних вимикачів перевищує розрахункові значення трифазного струму короткого замикання $I_{\text{вимк.ном}} > I^{(КЗ)}$, можна зробити висновок про правильність вибору апаратури. Усі автомати здатні безпечно розірвати коло при виникненні аварійних режимів.

3.2 Оцінка якості напруги цехової мережі

Метод оцінки якості електропостачання на основі побудови епюри відхилення напруги – найбільш інформативний, де рівень напруги в системі визначається конфігурацією мережі та параметрами джерела живлення [8].

Для компенсації втрат у мережі застосовується принцип зустрічного регулювання, згідно з яким на шинах джерела підтримуються такі рівні напруги [6, 8]:

– в період максимального навантаження: $1,05 \cdot U_{ном}$;

– в період мінімального навантаження: $U_{ном}$.

На *КТП* встановлені силові трансформатори, оснащені пристроями перемикачів без збудження (*ПБЗ*), що дозволяють змінювати коефіцієнт трансформації в межах $\pm 2 \times 2,5 \%$.

Перевірка якості напруги виконуємо для двох найбільш критичних точок мережі:

1. Найбільш енергоємний споживач – верстат фрезерний 4-х сторонній 8-ми шпindelний (*ЕП №31*) від *РП2* .

2. Найбільш віддалений вузол – фугувальний верстат (*ЕП №1*) від *РП1* .

Для обчислення відхилення напруги ($U, \%$) використовується формула [8]:

$$U = \frac{(U_{дж} - \Delta U_{дл.}) - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \% . \quad (3.8)$$

Втрати напруги в лініях електропередачі (ΔU_l) та трансформаторах ($\Delta U_{тр}$) визначаються за стандартними залежностями [6]:

$$\Delta U_l = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot \ell \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi); \quad (3.9)$$

$$\Delta U_{тр} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi), \quad (3.10)$$

де складові напруги короткого замикання U_a та U_p обчислюємо на основі паспортних даних трансформатора [6]:

$$U_p = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2}; \quad (3.11)$$

$$U_a = \Delta P_{кз} / S_{ном.тр} . \quad (3.12)$$

Оцінка параметрів для найпотужнішого споживача (*ЕП №31*).

Розрахунок проводимо [8] за розрахунковою схемою (рис. 3.2) для режиму максимального навантаження при напрузі на джерелі $U_{дж} = 10500 \text{ В}$.

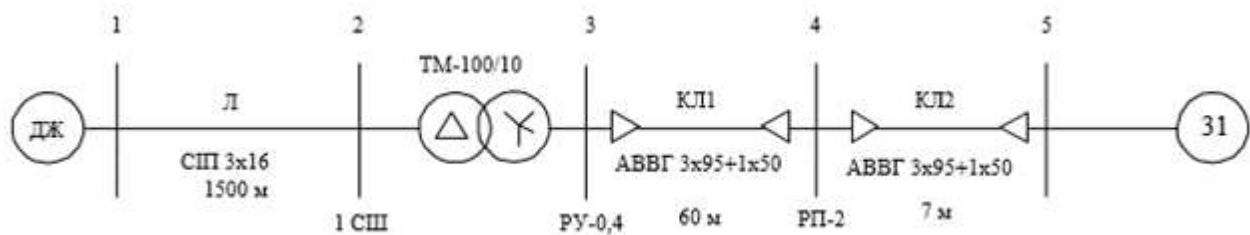


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для ЕП №31.

А) Високовольтна лінія L ($ПЛ - 10 \text{ кВ}$). Використано провід $СИП 3 \times 16$. За розрахунковими параметрами (струм $3,95 \text{ А}$, довжина 1500 м , питомі опори проводу: $r_0 = 1,94 \text{ Ом}$; $x_0 = 0,79 \text{ Ом}$) відносні втрати склали в відповідності до (3.9) – $0,13 \%$, що відповідає падінню напруги $\Delta U_n = 13 \text{ В}$. Отже, на вході до $ТП$ напруга становить $U_0 = 10487 \text{ В}$.

Б) Трансформаторний вузол ($ТМ 100 / 10 \text{ кВ}$). Потужність третього рівня становить $128,32 \text{ кВА}$. За паспортними даними трансформатора $\Delta P_{кз} = 1,97 \text{ кВт}$, $U_{кз} = 4,5 \%$. Тоді, згідно (3.11) та (3.12): $U_a = 1,97 \%$ та $U_p = 4,05 \%$, а коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{III}}{2 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{128,32}{2 \cdot 100} = 0,64. \quad (3.13)$$

Втрати напруги згідно (3.10):

$$\Delta U_{тр} = 0,64 \cdot (1,97 \cdot 0,61 + 4,05 \cdot 0,79) = 2,82 \% \quad (282 \text{ В у приведених одиницях}).$$

Напруга на вторинній обмотці, приведена до сторони $ВН$, становить 10250 В . При коефіцієнті трансформації ($380/10000 = 0,038$), фактична напруга на шинах $0,4 \text{ кВ}$ становить $387,79 \text{ В}$, що згідно (3.8) відповідає позитивному відхиленню $2,5 \%$.

В) Низьковольтна мережа ($0,4 \text{ кВ}$).

– для ділянки, що з'єднує $РУ - 0,4$ та $РП2$, втрати напруги на лінії становить $2,32 \text{ В}$. Напруга на розподільчому пункті (в кінці кабелю $КЛ1$) – $385,47 \text{ В}$, а відхилення напруги відносно номінальної – $1,44 \%$ згідно (3.8).

– для ділянки, що з'єднує РП2 з ЕП №31 втрати в кабелі КЛ2 (рис. 3.2) становлять 0,27 В. Напруга на затискачах споживача – 385,2 В, а відхилення напруги згідно (3.8) відносно номінальної – 1,37 % .

Підсумкове відхилення напруги становить 1,37 %, що повністю вкладається в допустимі норми (до $\pm 10\%$).

Аналогічні обчислення було виконано для:

– мінімального режиму: навантаження прийнято на рівні 70 % від номінального;

– після аварійного режиму: враховано роботу при виході з ладу одного з силових трансформаторів.

Результати всіх режимів (максимальний, мінімальний та аварійний) систематизовано в таблицях 3.2 – 3.4. У всіх випадках якість електроенергії відповідає галузевим стандартам.

Таблиця 3.2 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №31 (максимальний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,113	3,95				0,13	13	10487		4,87
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	0,64	1,97	64,16	100	1,97	4,5	4,05	2,82	282	10205	387,79	2,05
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,61	0,79	91,02	0,06	0,326	0,0602				0,61	2,32	385,47		1,44
4-5	0,6	0,8	89,89	0,007	0,326	0,0602				0,07	0,27	385,2		1,37

Таблиця 3.3 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №31 (мінімальний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,4	2,765				0,091	9,56	9990,44		-0,091
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	0,45	1,97	44,91	100	1,97	4,5	4,05	1,98	198	9792,44	372,11	-2,08
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,61	0,79	91,02	0,06	0,326	0,0602				0,427	1,624	369,79		-2,69
4-5	0,6	0,8	89,89	0,007	0,326	0,0602				0,049	1,189	369,52		-2,76

Таблиця 3.4 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №31 (після аварійний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,4	7,9				0,26	27,3	10472,7		4,74
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	1,28	1,97	128,32	100	1,97	4,5	4,05	5,63	563	9909,7	376,57	-0,9
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,61	0,79	91,02	0,06	0,326	0,0602				0,61	2,32	369,79		-1,51
4-5	0,6	0,8	89,89	0,007	0,326	0,0602				0,07	0,27	373,98		-1,58

Оцінка параметрів для найвіддаленішого споживача (ЕП №1).

Під час розрахунків використовуємо дані з попередніх розрахунків [8] та керуємо розрахунковою схемою на рисунку 3.3. Розрахунки для найвіддаленішого споживача аналогічні. Навантаження в мінімальному режимі прийняте рівним 70 % від навантаження максимального режиму, у після аварійному режимі враховано роботу при виході з ладу одного з силових трансформаторів.

Усі необхідні параметри розрахунку представлені у таблицях 3.5 – 3.7.

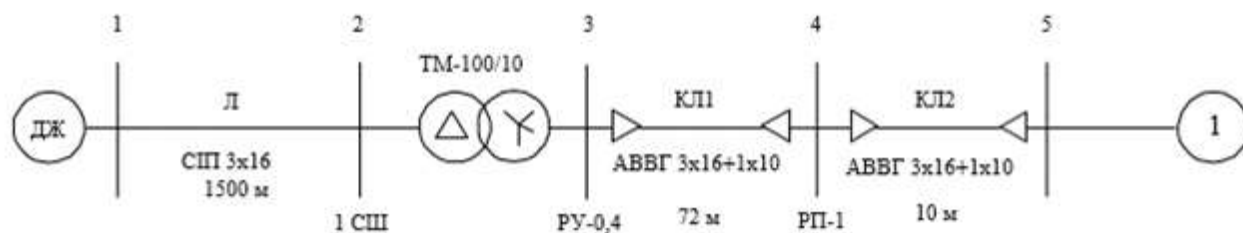


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для ЕП №31.

Таблиця 3.5 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №1 (максимальний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,113	3,95				0,13	13	10487		4,87
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	0,64	1,97	64,16	100	1,97	4,5	4,05	2,82	282	10205	387,79	2,05
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,59	0,81	26,74	0,072	1,94	0,0675				1,05	3,99	383,8		1
4-5	0,6	0,8	39,76	0,01	1,94	0,0675				0,22	0,84	382,96		0,78

Таблиця 3.6 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №1 (мінімальний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,4	2,765				0,091	9,56	9990,44		-0,091
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	0,45	1,97	44,91	100	1,97	4,5	4,05	1,98	198	9792,9	372,13	-2,07
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,59	0,81	26,74	0,072	1,94	0,0675				0,735	2,793	368,14		-3,12
4-5	0,6	0,8	39,76	0,01	1,94	0,0675				0,154	0,588	367,3		-3,34

Таблиця 3.7 – Оцінка відхилення напруги для ЕП №1 (після аварійний режим)

Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_p , А				ΔU , %	ΔU , В	U , В		Відхилення напруги U , %
1-2	0,61	0,79	1,5	1,94	0,4	7,9				0,26	27,3	10472,7		4,74
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	β	$\Delta P_{кз}$, кВт	S_{III} , кВА	$S_{ном.тр}$, кВА	U_a , %	$U_{кз}$, %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	Відхилення напруги U , %
2-3	0,61	0,79	1,28	1,97	128,32	100	1,97	4,5	4,05	5,63	563	9909,7	376,57	-0,9
Ділянка	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	I_p , А	ℓ , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U , В		
3-4	0,59	0,81	26,74	0,072	1,94	0,0675				1,05	3,99	372,58		-1,95
4-5	0,6	0,8	39,76	0,01	1,94	0,0675				0,22	0,84	371,74		-2,17

Епюри щодо відхилення напруги для найбільш потужного на віддаленого ЕП представлено на рис. 3.4 та рис. 3.5.

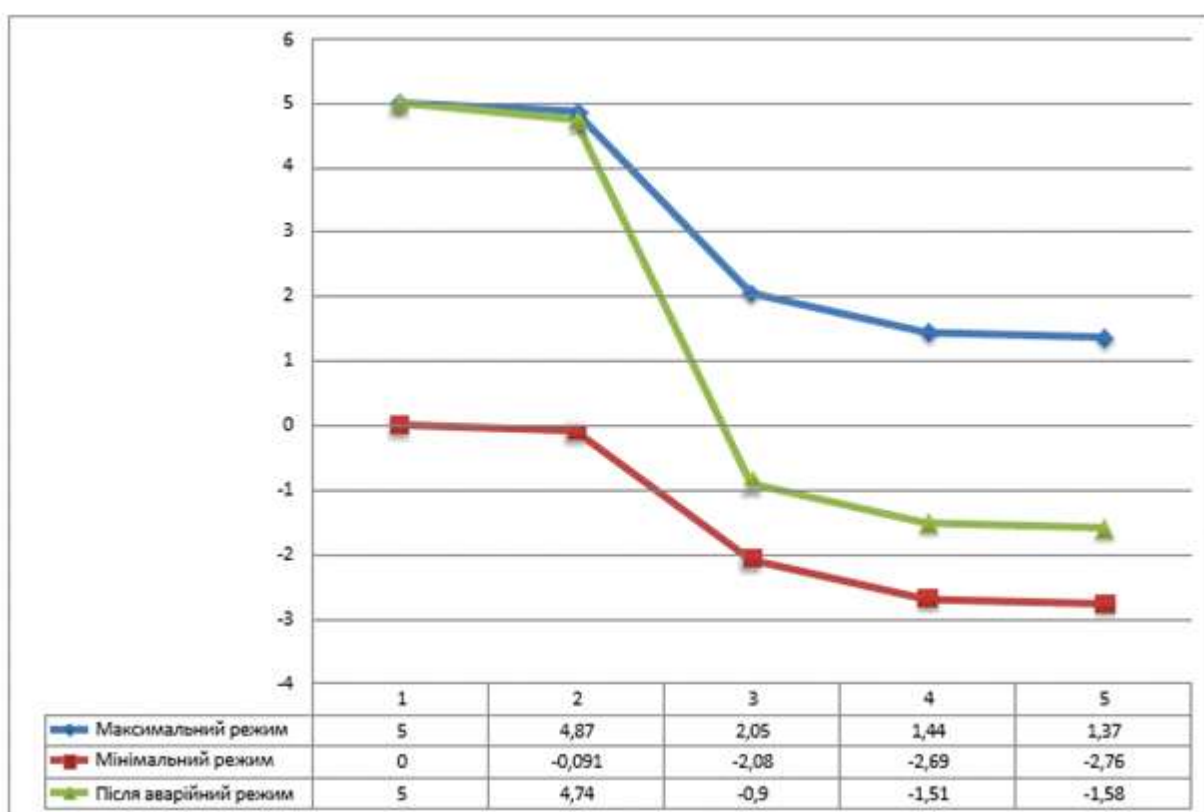


Рисунок 3.4 – Епюри відхилення напруги для ЕП №31
(найбільш потужного).

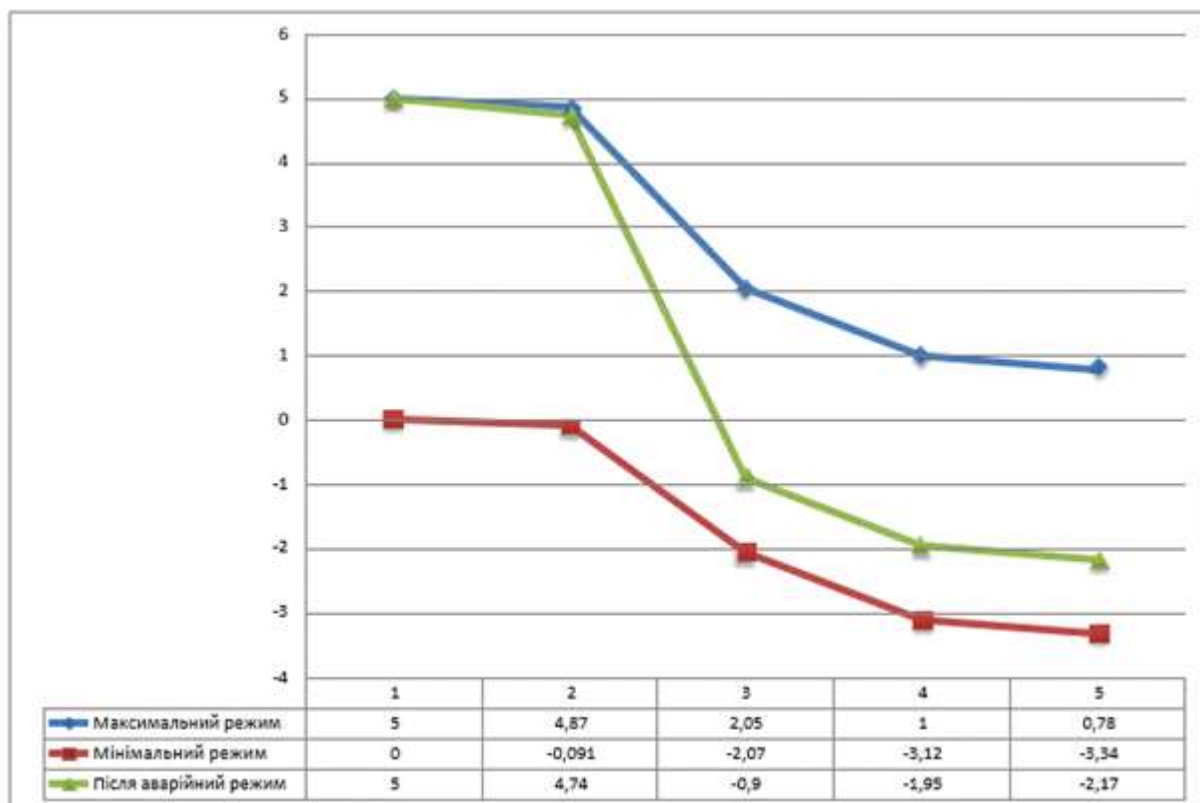


Рисунок 3.5 – Епюри відхилення напруги для *ЕП №1*
(найбільш віддаленого).

3.3 Висновки до третього розділу

У розділі проведено комплексний аналіз надійності та ефективності роботи проектованої цехової електричної мережі.

Проведено обчислення параметрів аварійних режимів у ключових вузлах системи (від затискачів джерела живлення до кінцевих споживачів). Встановлено, що максимальні значення трифазних струмів *КЗ* спостерігаються на стороні високої напруги та шинах низької напруги трансформатора.

Здійснено верифікацію обраних автоматичних вимикачів за їхньою граничною здатність на вимкнення. Розрахунки показали, що встановлене обладнання гарантує безпечне розірвання електричного кола у разі виникнення аварійних ситуацій.

Шляхом побудови епюр відхилення напруги проаналізовано режими роботи для найбільш потужного та найбільш віддаленого споживачів для трьох сценаріїв: максимального навантаження, мінімального споживання та після аварійного режиму.

Встановлено, що завдяки застосуванню принципу зустрічного регулювання напруги та використанню *ЛБЗ* трансформаторів, максимальні відхилення напруги на затискачах електроприймачів не перевищують допустимих меж (до $\pm 5\%$).

Таким чином, схема електропостачання є технічно обґрунтованою, забезпечує необхідний рівень захисту обладнання та стабільні параметри напруги для безперебійної роботи технологічних установок.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Оцінка заходів безпеки життєдіяльності в цеху

Заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці (ОП) в цеху з виробництва погонажних виробів (лиштва, плінтус, вагонка, дошка підлоги, віконні рами, двері й т.д.) мають комплексний характер. Деревообробка належить до робіт з підвищеною небезпекою через наявність рухомих механізмів, гострого ріжучого інструменту, високої концентрації горючого пилу та шуму [15].

1. Технічна безпека та захист від механічних травм.

Цех погонажних оснащений чотиристоронніми поздовжньо-фрезерними, торцювальними та ділильними верстатами. Тому в якості забезпечення безпеки необхідно [15]:

– бар'єрні та кожухові огороження: усі рухомі частини верстатів (паси, ланцюги, вали) та зони різання (фрези, пили) повинні мати захисні кожухи. Доступ у зону обробки під час роботи обладнання має бути фізично заблокований;

– захист від зворотного удару (викиду): чотиристоронні та кругло пильні верстати обов'язково обладнуються проти викидними упорами, які унеможливають виліт заготовки у бік оператора;

– автоматизація подачі: максимальне використання механізованої або автоматичної подачі матеріалу, щоб мінімізувати знаходження рук робітника в небезпечній зоні;

– блокувальні пристрої: впровадження кінцевих вимикачів, які автоматично вимикають живлення верстата при відкритті захисного капота чи дверцят зони налаштування фрез.

2. Пожежна та вибухобезпека.

В цеху деревний пи́л у поєднанні з повітрям утворює вибухонебезпечну суміш, а суха тирса й стружка є легкозаймистими матеріалами. Тому [15]:

- аспіраційна система (циклон): безперервне видалення тирси та пи́лу безпосередньо з зон різання верстатів. Очищення повітря та збір відходів мають виноситися за межі основного цеху (у бункери-накопичувачі);

- регулярне прибирання: графік щозмінного очищення поверхонь верстатів, підлоги та світильників від осілого пи́лу. Заборонено здувати пи́л стисненим повітрям (це створює вибухонебезпечну хмару) – дозволяється лише вологе прибирання або промислові пи́лососи у вибухозахищеному виконанні;

- протипожежний захист: оснащення цеху автоматичною системою пожежогасіння, наявність пожежних щитів, справних вогнегасників (порошкових та вуглекислотних) та чітких схем евакуації;

- зони для паління: категорична заборона куріння та використання відкритого вогню на території цеху.

3. Електробезпека.

Обладнання цеху працює під напругою 0,4 кВ (380 В), що в умовах запиленості вимагає особливого контролю [15]:

- ступінь захисту оболонок: використання електрошаф, пультів керування та світильників із рівнем захисту не нижче IP54 (захист від пи́лу та бризок води);

- заземлення та занулення: усі металеві корпуси верстатів, аспіраційних повітроводів та електродвигунів повинні мати надійне підключення до контуру заземлення (для зняття як лінійної напруги, так і статичної електрики, що виникає при русі тирси);

- кнопки аварійної зупинки: верстати та лінії повинні мати великі, легкодоступні кнопки типу «Гриб» (*Emergency Stop*) на кожному робочому місці оператора;

- система LOTO (*Lockout / Tagout*): обов'язкове блокування та вивішування попереджувальних табличок на рубильники під час проведення ремонтних робіт або заміни ножових інплантів на фрезах.

4. Виробнича санітарія та гігієна праці.

Тривалий вплив шуму, вібрації та мікроклімату цеху може призвести до професійних захворювань, тому необхідно забезпечити [15]:

– шумоізоляція: застосування звукоізолювальних кожухів на високооборотних верстатах. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту органів слуху (протишумові навушники);

– вентиляція: окрім місцевої аспірації, цех повинен мати загально обмінну припливно-витяжну вентиляцію для підтримання допустимої концентрації пилу та забезпечення нормативного повітрообміну.

– освітлення: комбіноване освітлення (загальне + місцеве на верстатах) без стробоскопічного ефекту на обертових деталях, що досягається використанням сучасних LED-світильників.

5. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Персонал цеху погонажних виробів повинен бути стовідсотково забезпечений відповідними ЗІЗ [15]:

– спецодяг: захисний костюм щільного прилягання (без звисаючих елементів, які можуть бути захоплені фрезою або валом);

– взуття: робочі черевики із захисним металевим або композитним підноском (для захисту від падіння важких пакетів деревини або заготовок);

– захист органів зору та дихання: захисні окуляри закритого типу (для захисту від трісок та пилових часток) та респіратори класу захисту не нижче *FFP2* (при відборі деталей або операціях шліфування).

При роботі безпосередньо на верстатах з обертовими деталями заборонено працювати в рукавицях (аби уникнути затягування руки інструментом), за винятком операцій з навантаження/розвантаження пиломатеріалу.

6. Організаційні заходи та навчання [15]:

– Інструктажі: проведення вступного, первинного (на робочому місці), повторного (не рідше 1 разу на 3 місяці для робіт з підвищеною небезпекою) та цільового інструктажів з ОП;

– Допуск до роботи: о роботи на чотиристоронніх та інших складних верстатах допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли спеціальне навчання, медичний огляд та мають відповідне посвідчення;

– складування матеріалів: чітке маркування зон складування сировини та готового погонажу. Висота штабелів пачок повинна відповідати нормам безпеки для запобігання їх обрушенню, а проходи та проїзди для навантажувачів мають залишатися вільними.

4.2 Робота на електроустановках до 1000 В

Загальними небезпечними та шкідливі виробничими факторами цеху погонажних виробів є як електричний струм: наявність напруги 0,4 кВ (380 В) на РП та технологічному обладнанні так і пожежо- та вибухонебезпечність: деревний пил утворює з повітрям вибухонебезпечні суміші, а стружка та тріска є легкозаймистими речовинами.

Оскільки КТП розташована в окремому приміщенні, що розміщене біля цеху (виконання за типом вбудованої/прибудованої цехової підстанції), вимоги безпеки тут найсуворіші [15]:

А) Організаційні та технічні вимоги:

– допуск до роботи: Обслуговування КТП здійснюється виключно електротехнічним персоналом з групою з електробезпеки не нижче IV (для напруги понад 1000 В, якщо трансформатори високовольтні, наприклад 10/0,4 кВ) або III (до 1000 В).

– режими роботи трансформаторів: наявність двох трансформаторів передбачає можливість їх паралельної роботи або секціонування за допомогою

секційного вимикача (*СВ*). Перемикання повинні виконуватися за чіткими бланками перемикань;

– блокування: *КТП* повинна мати надійне механічне або електромагнітне блокування, що унеможлиблює доступ до струмоведучих частин під напругою та запобігає помилковим операціям з роз'єднувачами та заземлювальними ножами.

– захист від пожежі: приміщення *КТП* має бути відокремлене від цеху протипожежними стінами (*REI 150*) та дверима (*EI 60*). Вентиляція *КТП* не повинна бути пов'язана з витяжною вентиляцією цеху, щоб уникнути потрапляння деревного пилу.

Розміщення *РП* всередині деревообробного цеху вимагає особливого виконання обладнання через агресивне середовище (пил).

Вимоги до виконання та експлуатації [15]:

– ступінь захисту оболонки (*IP*): шафи *РП* повинні мати пилозахисне виконання. Для деревообробних цехів мінімальний рівень захисту – *IP54* (повний захист від пилу та бризок води). Звичайні щити *IP31/ IP20* тут категорично заборонені, оскільки накопичення пилу всередині шафи на контактах призведе до короткого замикання та пожежі;

– замикання та маркування: *РП* повинні бути постійно замкнені на замок. На дверцятах обов'язково наносяться диспетчерське найменування (наприклад, *РП-1, РП-2*), знак безпеки «Обережно! Електрична напруга», чіткі написи, які саме верстати або лінії живляться від цього пункту.

– простір обслуговування: проходи перед *РП* не повинні захищуватися готовою продукцією, сировиною чи відходами, ширина проходу для обслуговування має бути не менше 1 метра, а біля кожного *РП* мають бути діелектричні килимки.

Кабельні мережі забезпечують зв'язок між *КТП, РП* та безпосередньо верстатами (чотиристоронні стругальні верстати, торцювальні пили, тощо) [15]. Спосіб прокладання: кабелі в цеху повинні прокладатися в металевих трубах,

глухих металевих коробах (лотках) або бути броньованими, щоб захистити їх від механічних пошкоджень (наприклад, при транспортуванні погонажу або колод).

Кабельні канали та лотки повинні регулярно очищатися від деревного пилу. У місцях проходу кабелів крізь стіни цеху (особливо від *КТП*), отвори повинні бути щільно загерметизовані вогнетривким матеріалом, що легко видаляється.

Кожна кабельна лінія повинна мати маркувальні бирки на початку, в кінці та в місцях розгалужень із зазначенням марки кабелю, напруги та напрямку.

Оскільки обладнання працює в умовах підвищеної небезпеки, обов'язково застосовується система заземлення (найчастіше *TN-S* або *TN-C-S* із розділенням *PE* та *N* провідників).

Усі металеві неструмоведучі частини (корпуси верстатів, станини пил, корпуси *РП*, металеві лотки кабелів, корпуси трансформаторів) повинні бути надійно приєднані до контуру заземлення.

Усі елементи системи аспірації (повітроводи, циклони), які видаляють тирсу та пил від погонажних верстатів, мають бути заземлені окремими провідниками для зняття статичного заряду, який може спровокувати вибух пило повітряної суміші.

Для ручного електроінструменту та ліній загального призначення (освітлення, побутові розетки в цеху) встановлення пристроїв захисту від диференційного струму (*30 мА*) є обов'язковим.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано на основі комплексу інженерних розрахунків та конструктивних рішень модернізацію системи електропостачання цеху з виробництва погонажних виробів.

1. Обґрунтовано та доведено, що для розрахунку навантажень внутрішньої цехової мережі найбільш ефективним є метод впорядкованих діаграм, який дозволив точно визначити очікувані силові й освітлювальні навантаження.
2. Проведений розрахунок силового навантаження цеху за методом впорядкованих діаграм та отримані значення розрахункових струмів для кожної групи споживачів дозволили здійснити вибір розподільних кабельних ліній та перевірку за втратою напруги.
3. На основі проведеного світлотехнічного розрахунку обрано оптимальні джерела світла, які повністю відповідають галузевим нормативам щодо енергоефективності. Поєднання ртутних ламп для основного освітлення та світлодіодних ламп для аварійної мережі дозволить забезпечити нормований рівень освітленості цеху.
4. Сформовано раціональну схему розподілу електроенергії із групуванням споживачів за розподільними пунктами, де на основі проведених розрахунків струмів короткого замикання та тривалих режимів роботи здійснено вибір автоматичних вимикачів за їхньою граничною здатністю на вимкнення та кабельних ліній на всіх ланках розподілу, що гарантує безпечне розірвання електричного кола при аварійних ситуаціях.
5. Проведена оцінка втрат напруги для найбільш потужного та найбільш віддаленого споживачів для максимального, мінімального та після аварійного режимів показала, що отримані відхилення не перевищують нормативних меж, гарантуючи стабільність технологічного процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
2. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електрообладнання промислових підприємств. Методи розрахунку електричних навантажень. Київ : Мінрегіон України, 2016. 45 с.
3. Праховник А. В., Назаренко В. І., Іншеков Є. М. Проектування систем електропостачання промислових підприємств : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 280 с.
4. Маліновський А. А., Холик О. М. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Х. : Вид-во «Форт», 2017. 760 с. (зі змінами та доповненнями станом на 2024–2026 рр.).
6. Калинчик В. П., Лазуренко О. В. Проектування внутрішньоцехових електричних мереж : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХП», 2020. 192 с.
7. БУНЯК, О., СТАСІВ, А., ОРОБЧУК, Б., & СУДОМИР, В. (2025). РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОРІВНЯЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВРАХУВАННЯМ УМОВИ ЕКОНОМІЧНОСТІ. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 357(5.2), 115-122. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-73>.
8. Козирський В. В., Каплун В. В. Якість електричної енергії та режими електропостачання промислових об'єктів. Київ : НУБіП України, 2022. 310 с.
9. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Супрун О. Д. та ін. Проектування систем електропостачання: навчальний посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 291 с.
10. Терешкевич Л.Б. Освітлення промислових споруд та житлових будинків: навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. Б. Терешкевич, О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 123 с.

11. Сирота О. Г. Основи проектування систем електропостачання: навч. посібник для студентів енергетичних спеціальностей. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 250 с.

12. Шеховцов В. П. Електричне і електромеханічне обладнання: підручник. – К.: Вища школа, 2018. – 412 с.

13. Ковпак В. П. Електропостачання промислових підприємств: довідковий посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 320 с.

14. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем. Навч. посібник / В.П. Кідиба. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка». –2013. – 500 с.

15. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання [Текст]: навч. посібник для студ. електротехнічних спец. вищ. навч. закладів України / П. П. Говоров [та ін.]. – Х.: Інститут змісту і методів навчання; Харківська держ. академія міського господарства. – 1996. – 228 с.

16. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник [Електронний ресурс] / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022.–150 с. Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424>.

17. Коваль В.П., Тарасенко М.Г., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/45300>.