

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: «Розробка схеми електропостачання механічного цеху»

КРБ.141ЕЕбд_31[3].08.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Електротехніка, електроенергетика та
електромеханіка

спеціальності 141 Електротехніка,
електроенергетика та електромеханіка

—
ступеня вищої освіти «бакалавр»

Мишун Денис Володимирович
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Басова Ю.О.

ВСТУП

Розробка схеми електропостачання механічного цеху є важливим завданням для забезпечення ефективної та безперебійної роботи електрообладнання. Сучасні вимоги до енергоефективності, надійності та безпеки електропостачання потребують оптимізації схем живлення, вибору відповідного обладнання та врахування особливостей технологічного процесу. Дана тема є актуальною, оскільки забезпечує підвищення енергоефективності та надійності, дозволяє оптимізувати схеми живлення та забезпечити відповідність сучасним нормативним вимогам. Розробка ефективної схеми електропостачання дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність та відповідати сучасним вимогам до промислових електромереж.

Метою дипломного проєкту є розробка схеми електропостачання механічного цеху, яка забезпечить відповідність нормативам та зменшить втрати енергії.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технологічний процес і навантаження електроприймачів;
- визначити оптимальну схему живлення цеху, враховуючи надійність та резервування;
- виконати розрахунок параметрів електричних мереж та вибрати відповідне обладнання;
- забезпечити відповідність нормативним документам і стандартам електропостачання;
- розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – система електропостачання механічного цеху.
Предмет дослідження – принципи проєктування, розрахунок та оптимізація схеми електропостачання механічного цеху.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці ефективної схеми електропостачання механічного цеху, що сприятиме підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню безперебійної роботи електрообладнання. Розроблена схема електропостачання може бути рекомендована для впровадження на промислових підприємствах аналогічного типу. Вона забезпечує високу технічну ефективність, відповідає вимогам ПУЕ, ДБН та сучасним стандартам електробезпеки.

Структура та обсяг роботи. Дипломний проєкт робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Роботу ілюстровано таблицями та рисунками.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Категорії електропостачання споживачів

Електроприймачі за надійністю електропостачання згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [1] поділяють на такі три категорії (рис. 1.1).

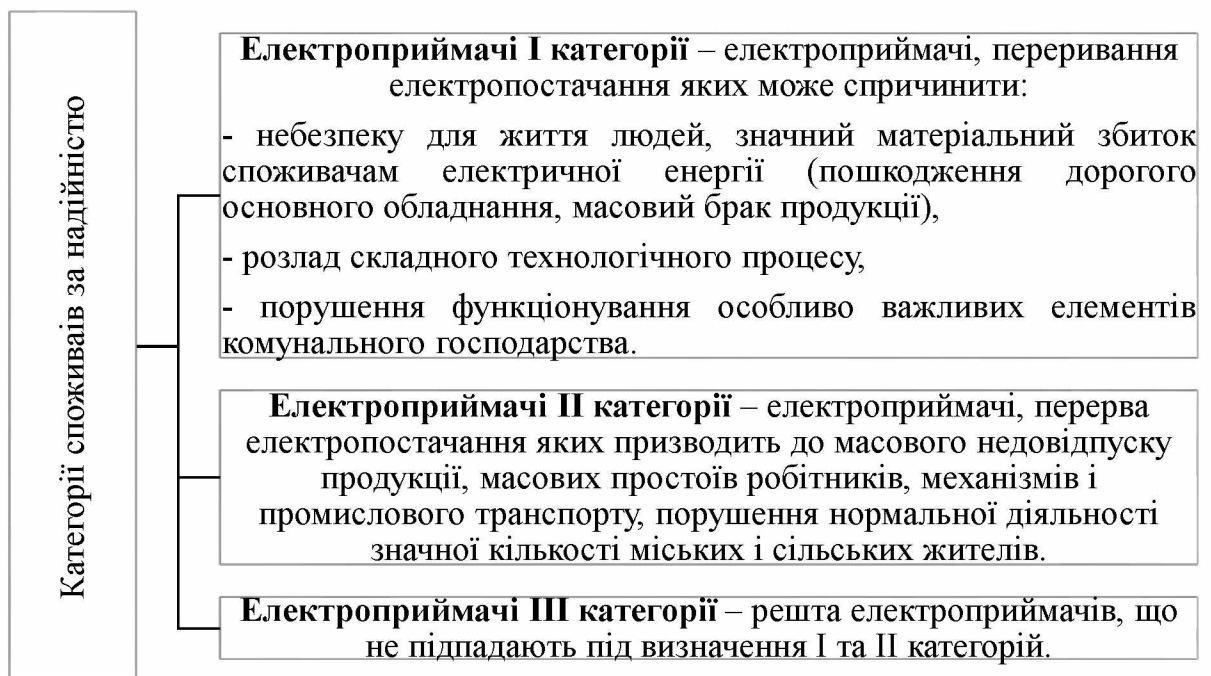


Рисунок 1.1 – Класифікація категорій споживачів

До споживачів 1 категорії належать:

- гірничодобувна, хімічна промисловість та ін. виробництва;
- важливі об'єкти охорони здоров'я (реанімаційні відділення, великі диспансери, пологові відділення та ін.) та інших державних установ;

- котельні, насосні станції першої категорії, перерва у електропостачання яких призводить до виходу з ладу міських систем життєзабезпечення;
- тягові підстанції міського електрифікованого транспорту;
- установки зв'язку, диспетчерські пункти міських систем, серверні приміщення [1];
- ліфти, пристрої пожежної сигналізації, протипожежні пристрої, охоронна сигналізація великих будівель з великою кількістю перебувають у них людей [1].

У складі електроприймачів I категорії виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації [1].

Категорії надійності електропостачання визначають залежно від технології основного виробництва споживача електроенергії згідно з вимогами ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [2]. Остаточні категорії надійності узгоджуються замовником проекту електропостачання споживача від зовнішніх джерел електроенергії.

Електроприймачі I категорії треба забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерву їх електропостачання в разі порушення електропостачання від одного з джерел живлення можна допускати лише на час автоматичного відновлення живлення. Перемикання джерел живлення треба здійснювати за мінімально короткий час і по можливості не змінювати режим роботи обладнання споживачів. Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервуючого джерела живлення. Як третє незалежне джерело живлення для особливої групи електроприймачів і як

друге незалежне джерело живлення для решти електроприймачів I категорії може бути використано місцеві електростанції, електростанції енергосистем (зокрема, шини генераторної напруги), спеціальні агрегати безперебійного живлення, акумуляторні батареї тощо. Якщо резервуванням електропостачання не можна забезпечити необхідну безперервність технологічного процесу або якщо резервування електропостачання є економічно недоцільним, то технологічне резервування забезпечується, наприклад, шляхом установаження взаєморезервуючих технологічних агрегатів, спеціальних пристроїв безаварійної зупинки технологічного процесу, які діють у разі порушення електропостачання [1].

Електропостачання електроприймачів I категорії з особливо складним безперервним технологічним процесом, який потребує тривалого часу на відновлення робочого режиму, за наявності техніко-економічних обґрунтувань рекомендовано здійснювати від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, до яких висувуються додаткові вимоги, що визначаються особливостями технологічного процесу.



Рисунок 1.2 – Акумуляторна батарея великої ємності в системах безперебійного живлення (UPS) або резервного електропостачання

До споживачів II, крім підприємств належать:

– дитячі заклади;

- медичні заклади та аптечні пункти;
- міські установи, навчальні заклади, великі торгові центри, спортивні споруди, у яких можливе велике скупчення людей;
- всі котельні та насосні станції, крім тих, що належать до першої категорії [1].

Електроприймачі II категорії необхідно забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення. Для електроприймачів II категорії в разі порушення електропостачання від одного з джерел живлення переривання електропостачання є допустимим на час, необхідний для увімкнення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

Третя категорія електропостачання споживачів включає всіх споживачів, які залишилися, які не увійшли в перші дві категорії. Зазвичай це невеликі населені пункти, міські установи, системи, перерва в електропостачанні яких не спричиняє наслідків. Також до цієї категорії відносять багатоквартирні житлові будинки, приватний сектор, дачні та гаражні кооперативи.

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 електропостачання, не перевищує однієї доби [1].

1.2 Розподіл споживачів електроенергії на категорії

Поділ споживачів на категорії насамперед дозволяє правильно спроектувати ту чи іншу ділянку електромережі, пов'язати її з об'єднаною енергосистемою. Основна мета поділу споживачів – побудувати максимально ефективну мережу, яка з одного боку має здійснювати

повною мірою потреби в електропостачання всіх споживачів, задовольняти вимоги щодо надійності електропостачання, а з іншого боку бути максимально спрощеною з метою оптимізації коштів на обслуговування та ремонт мереж.

У процесі експлуатації електричних мереж поділ споживачів на категорії електропостачання дозволяє зберегти стабільність роботи об'єднаної енергосистеми у разі виникнення дефіциту потужності причину відключення блоку електростанції чи серйозної аварії у магістральних мережах. В даному випадку працюють автоматичні пристрої, що відключають від мережі споживачів третьої категорії, а за великих дефіцитів потужності - другої категорії [1, 3]. Дані заходи дозволяють залишити у роботі найважливіших споживачів першої категорії та уникнути техногенних катастроф у масштабах регіонів, загибелі людей, аварій на окремих об'єктах, матеріальних збитків.

У сучасних системах електропостачання найчастіше використовується принцип гарячого резерву: потужність трансформаторів трансформаторної підстанції (ТП), головної понижувальної підстанції (ГПП) (і пропускна здатність всього ланцюга живлення до них) вибирається більшою, ніж цього вимагає підтримка нормального режиму, електропостачання електроприймачів I та II категорії у післяаварійному режимі, коли один ланцюг живлення відмовляє внаслідок аварії.

Холодний резерв, як правило, не використовується (хоча більш вигідний за сумарною пропускною спроможністю), оскільки передбачає автоматичне включення під навантаження елементів мережі без попереднього випробування [3].

1.3 Характеристика середовища виробничих приміщень інструментального заводу. Категорії електроприймачів за безперебійністю електропостачання

У цьому проекті розглядається електропостачання ремонтно-механічного цеху інструментального заводу. Завод складається з 14 виробничих приміщень, до яких належать виробничі та допоміжні цехи, а також заводоуправління.

Характеристики зовнішнього середовища (температура, вологість, наявність вибухо- або пожежонебезпечних зон) можуть впливати не тільки на конструктивне виконання обладнання, але і на вибір марок та перерізів проводів, кабелів та пуско-захисної апаратури. Виробничий процес на заводі характеризується нормальними умовами, але деякі з відділень цехів заводу можуть бути віднесені до жарких та вологих приміщень, а також до приміщень з хімічно активним середовищем.

Визначення класу середовища здійснюється відповідно до вимог глави 1.1 та 1.2 [1] Правил улаштування електроустановок споживачів (ПУЕ), а також згідно з класифікацією, наведеною в нормативних документах, таких як НПАОП 40.1-1.32-01 [4], ДСТУ EN 60529 (щодо ступеня захисту оболонок) [5], та ДБН В.1.1-7-2016 [6].

У приміщеннях із підвищеною вологістю, наявністю агресивних парів або підвищеними температурами, передбачається застосування електрообладнання у вологозахищеному, герметичному або вибухозахищеному виконанні (наприклад, IP54 і вище), використання корозійностійких матеріалів, а також кабельно-провідникової продукції зі спеціальним типом ізоляції (наприклад, ПВС, ВВГнг, ХЛ-маркування).

Характеристика середовища основних виробничих приміщень заводу представлена таблиці 2.1 розділу 2.

Класифікація електроприймачів підприємства за безперебійністю електропостачання здійснюється згідно з вимогами ПУЕ, гл. 1.2 [1].

Зупинка електропостачання електроприймачів основного виробництва інструментального заводу може призвести до масового недовідпустки продукції та простою людей, тому електроприймачі основного виробництва відносяться до II категорії.

Допоміжні цехи та підрозділи, які прямо не беруть участь у створенні продукції підприємства, можна віднести до III категорії.

Класифікацію основної частки електроприймачів інструментального заводу з безперебійності електропостачання наведено в таблиці 2.2 наступного розділу.

Висновок до розділу 1

Поділ електроприймачів за рівнем надійності живлення відіграє ключову роль у формуванні структури системи електропостачання підприємства. Відповідно до нормативних документів, електроприймачі ремонтно-механічного цеху інструментального заводу належать переважно до II категорії надійності, оскільки їх знеструмлення може призвести до зупинки виробництва, простоїв персоналу та втрат продукції. Допоміжні служби класифікуються як споживачі III категорії.

Вивчення середовищ виробничих приміщень дозволило визначити необхідність застосування спеціалізованого електрообладнання зі ступенем захисту не нижче IP54, з урахуванням підвищеної вологості, температури та наявності хімічно активного середовища в окремих зонах. Врахування цих факторів є обов'язковим під час проектування мережі, вибору матеріалів та пускозахисної апаратури.

Загалом, отримані результати створюють методичну основу для подальшого технічного проектування системи електропостачання підприємства відповідно до норм ПУЕ, ДБН і ДСТУ.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Опис технологічного процесу інструментального заводу

ТОВ «Інструментальний завод» забезпечує виготовлення деталей та комплектуючих для продукції вагонобудування, поверхових та тунельних ескалаторів, запасних частин до ескалаторів та обладнання метрополітенів, ріжучого, вимірювального інструменту, різних металоконструкцій. Завод складається із таких основних ділянок:

- заготівельна ділянка – різання заготовок, термічне відділення, ковальське виробництво;
- ділянка виготовлення запасних частин для ескалаторів та обладнання метрополітенів;
- мірлива, складно-різальна та різцева ділянки - виготовлення шаблонів мірального інструменту, пресформ, різального інструменту, різців будь-якої конфігурації;
- зварювально-штампувальна ділянка - виготовлення поверхових та тунельних ескалаторів, рам візків метро, великогабаритних металоконструкцій;
- ділянка гумотехнічних виробів – виробництво виробів із гуми, пластмас, поліаміду [7].

Характеристика середовища основних виробничих приміщень заводу описана у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Відомості про електричні навантаження по цехах заводу

№	Найменування цеху	Характеристика робочого середовища	Категорія електропостачання	Встановлена потужність, кВт
1	Термічне відділення	Пилове, шумне	II	900
2	Заготівельний	пилове	II	700
3	Свердлильний	Пилове, шумне	II	800
4	Цех плашок	шумне	III	900
5	Деревообробний	Пилове, шумне	III	290
6	Ремонтно-механічний	Пилове, шумне	III	140
7	Термічне відд.2	Пилове, шумне	II	669
8	Дослідна станція	Пилове, шумне	II	700
9	Ковальний	жарке	III	120
10	Склад	Нормальне	III	700
11	Управління	нормальне	III	180
12	Насосна	Вологе, шумне	II	300
13	Компресорна (10 кв СД))	Шумне	II	2500
14	Компресорна (0,38 кВ)	шумне	II	125

Відомість навантажень ремонтно-механічного цеху, а також коефіцієнти використання споживача електроенергії (ЕЕ) та активної потужності наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Відомість навантажень ремонтно-механічного цеху

Номер на плані	Найменування приймача ЕЕ	Встановлена потужність приймача ЕЕ, кВт
1-3, 3-15	Токарно-гвинторізний верстат	4,5
4-6	Трубозгинальний верстат	6,0
7-9	Прес-ножиці	3,7
10-12	Прес листозгинальний	16,4
16, 17, 41, 42	Кран-балка, ПВ=40%	14
18-26	Токарно-гвинторізний верстат	3,3
27-32	Токарно-гвинторізний верстат	10,6
33-36	Універсальний круглошліфувальний верстат	5,0
37-40	Внутрішньошліфувальний верстат	6,6
43, 44	Молот пневматичний	7,0
45-47	Електропіч опору	28
48, 49	Молот пневматичний	13
50-54	Пічка муфельна	2,4
55, 56	Зварювальний агрегат, ПВ = 50%	22
57-61	Трансформатор зварювальний, ПВ=40%	16
62, 63	Перетворювач зварювальний	14,5
64-66	Машина електрозварювальна точкова	24
67-70	Вентилятор	11

2.2 Вибір схеми електропостачання та розрахунок навантажень ремонтно-механічного цеху

Розраховуємо розрахункове навантаження ремонтно-механічного цеху методом коефіцієнта розрахункової активної потужності Для цього насамперед необхідно вибрати схему електропостачання цеху.

Схема внутрішньоцехової мережі визначається технологічним процесом виробництва, планування приміщення цеху, взаємним розташуванням трансформаторної підстанції (ТП).

Електроприймачі (ЕП) та вводи живлення, розрахунковою потужністю, вимогами до безперебійності електропостачання, техніко-економічними міркуваннями, умовами навколишнього середовища. Найбільш поширеним для цехових мереж є напруга 380 В (чотирипровідні системи із заземленою нейтраллю). Оскільки навколишнє середовище в ремонтно-механічному цеху не шкідливо впливає на електромережі (відсутні технологічний пил, гази або пари, здатні порушувати нормальну роботу обладнання, відносна вологість не перевищує 60% при 20 °С), то середовище приміщення цеху є нормальним [1].

Оскільки в цеху немає обмежень щодо навколишнього середовища та технології виробництва, приймаємо магістральну схему живлення ЕП. Результати розрахунку значення розрахункової потужності ремонтно-механічного цеху наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Навантаження механічного цеху

Найменування приймача ЕЕ	Кількість ЕП	Зальна потужність P_z , кВт	Коефіцієнт використання Кв	Середнє навантаження за зміну, кВт	Максимальне навантаження, Рм, кВт
Всього по групі А	56	474,3	0,23	174,46	139,1
Всього по групі Б	14	169		77,7	129,5
Загальне силове навантаження по цеху	70	643,3		252,16	
Освітлення		25,2	0,95		23,94
Всього по цеху		668,5		252,16	310,5

Середнє активне навантаження за найбільш завантажену зміну для кожної групи електроприймачів визначається за формулою (далі наводиться розрахунок для трубозгинального верстата) [8, 9].

$$P_{см} = K_{\epsilon} \cdot P_{ном} = 0,14 \cdot 18 = 2,52 \text{ кВт}$$

Для кран-балки, ПВ = 40 %

$$P_{см} = K_{\epsilon} \cdot P_{насп} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 0,35 \cdot 35,6 \cdot \sqrt{0,4} = 12,46 \text{ кВт}$$

Середнє реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну для кожної групи електроприймачів визначається за формулою [8].

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg } \varphi = 2,52 \cdot 1,73 = 4,4 \text{ кВар}$$

K_{ϵ} і $\cos \varphi$ для кожного ЕП чи групи ЕП приймаються за довідковими даними. Середньозважений коефіцієнт використання визначається за формулою (для групи А) [8, 9]:

$$K_{в.ср} = \frac{\sum P_{ср}}{\sum P_{ном \Sigma}} = \frac{109,5}{474,3} = 0,23$$

де $\sum P_{ср}$ - сумарне середнє активне навантаження за найбільш завантажену зміну групи електроприймачів цеху, кВт;

$\sum P_{ном \Sigma}$ - сумарна встановлена потужність групи електроприймачів цехи, кВт.

Коефіцієнт максимуму активної потужності визначається за кривими залежно від середньозваженого коефіцієнта використання K_{ϵ} . ефективного числа електроприймачів для цієї групи [8].

$$n_{\epsilon} = \frac{(\sum_1^n P_{ном})^2}{\sum_1^n P_{ном}^2}$$

При великій кількості ЕП рекомендується користуватися спрощеними способами обчислення, допустима похибка яких лежить у межах $\pm 10\%$.

а) при $m = (P_{ном.мах} / P_{ном.мін}) > 3$; $K_{\epsilon} \geq 0,2$, n_{ϵ} - може бути визначено за формулою $n_{\epsilon} = \frac{2 \sum_1^n P_{ном}}{\sum_1^n P_{ном.мах}}$,

де $P_{ном.мах}$ $P_{ном.мін}$ - номінальні активні потужності найбільшого та найменшого електроприймачів у групі (наш випадок).

$$n_{\epsilon} = \frac{2 \cdot 474,3}{23} = 41,24$$

Приймаємо $n_e = 10$.

б) при $m > 3$, $\underline{K}_e \geq 0,2$ ефективне число ЕП визначається за допомогою кривих;

в) при $m \leq 3$ і будь-якому значенні \underline{K}_e допускається приймати n_e , де p - вихідне число ЕП. При визначенні величини n_e можуть бути виключені з розрахунку найменші ЕП групи, сумарна номінальна потужність яких не перевищує 5% сумарної потужності всієї групи (при цьому число виключених ЕП не враховується також і у величині p) [8, 9].

Розрахункові активна (P_M) та реактивна (Q_M) потужності групи приймачів зі змінним графіком навантаження визначаються з виразів (для групи А):

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} = 1,27 \cdot 109,5 = 139,1 \text{ кВт};$$

$$Q_M = Q_{CM} \text{ при } n_e > 10$$

Примітка. Величина K_M знаходиться за кривими $K_M = f(n_e)$ для різних середньозважених значень коефіцієнта використання \underline{K}_e або таблиці.

Для ЕП з практично постійним графіком навантаження розрахункове активне навантаження приймається рівною середньою потужністю за найбільш завантажену зміну $P_M = P_{CM}$.

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху визначається за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту:

$$P_{p.o.} = P_{n.o.} \cdot K_{co} = 25,2 \cdot 0,95 = 23,94 \text{ кВт}$$

K_{CO} приймається за довідковими даними. Величина $P_{n.o.}$ знаходиться як:

$$P_{n.o.} = P_{шт.o.} \cdot F = 8,0 \cdot 3150 = 25,2 \text{ кВт}$$

де $P_{шт.o.}$ – питома щільність освітлювального навантаження, Вт/м² (для люмінесцентні лампи трубчаста, Voltex T8B, G13, 10 Вт, 850 лм)

F – площа цеху, м².

Повне максимальне навантаження цеху (з урахуванням освітлення) визначається:

$$S_m = \sqrt{(P_{\text{пит.о.}} + P_M)^2 + Q_M^2} = \sqrt{(23,94 + 268,6)^2 + 252,16^2} = 400,05 \text{ вВА}$$

Розрахунковий струм

$$I_p = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400,05}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,77 \text{ А}$$

Піковий струм

$$I_{\text{п}} = i_{\text{п.м}} + (I_p - K_i \cdot i_{\text{ном.м}}) = 189,48 + (607,77 - 0,35 \cdot 63,16) = 775,14$$

А

де $i_{\text{п.м}}$, $i_{\text{ном.м}}$, K_i - відповідно найбільший із пускових струмів двигунів у групі; його номінальний струм та коефіцієнт використання (машина електрозварювальна точкова апарат з номінальною потужністю 24 кВт).

2.3 Вибір числа потужності цехового трансформатора

При встановленні на великих промислових підприємствах групи цехових трансформаторів їх номінальна потужність визначається щільністю навантаження і вибирається, як правило, однаковою для всієї групи. Питома щільність навантаження визначається за такою формулою [8, 9]:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{\text{цехів}}} = \frac{4617,8}{87770} = 0,053 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

де $F_{\text{цехів}}$ = площа усіх цехів підприємства, м².

Рекомендовані номінальні потужності трансформаторів для різних густин навантажень наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Питома щільність навантаження

Питома густина навантаження σ , кВА/м ²	Рекомендована номінальна потужність трансформатора, кВА
0,05 - 0,1	630
0,15	1000
> 0,2	1600
> 0,3-0,35	2500

Обираємо трансформатор ТМ 630 [10]. Трансформатор силовий трифазний двообмотувальний оливний загального призначення потужністю 630 кВА напругою 6 кВ і 10 кВ призначений для потреб народного господарства внутрішньої та зовнішньої установки.

Силові трансформатори ТМ-630 кВА 10 (6) кВ випускаються з номінальною напругою первинного обмотування (високої напруги) до 10 кВ включно та вторинного обмотування (низької напруги) — 0,4 кВ. Схема та група з'єднань — У/Ун -0; Д/Ун -11.

Напруга регулюється без збудження. Для цього трансформатори ТМ обладнані високовольтними перемикачами, які приєднуються до обмотування високої напруги та дають змогу регулювати напругу ступенем за вимкненого від мережі трансформатора з боку НН і ВН з діапазоном $+2 \times 2.5\%$ [9].

Мінімально можлива кількість трансформаторів визначається за формулою

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H}{\beta_T \cdot S_{H,тр}} = \frac{3927,58}{0,7 \cdot 630} = 8,9 \approx 9 \text{ шт}$$

де β_T - коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі (приймається 0,7).

$S_{H,тр}$ - номінальна потужність одного трансформатора, кВА;

$\sum P_p^H$ - номінальна розрахункова активна потужність у мережах до 1000 В, кВт.

Отримана розрахункова величина округляється до найближчого більшого цілого значення N .

Після вибору числа та потужності цехових трансформаторів розподіляють активні навантаження цехів з-поміж них рівномірно. Активне навантаження, що припадає на один цеховий трансформатор, може бути визначено:

$$P_1 = \frac{\sum(P_p + P_{po})}{N} = \frac{\sum P_p^H}{N} = \frac{3927,58}{9} = 437 \text{ кВт}$$

Число трансформаторів N_i яке необхідно встановити в тому чи іншому цеху, визначається розподілом навантаження цеху $P_p + P_{po}$ на P_1 :

$$N_1 = \frac{P_p + P_{po}}{P_1} = \frac{582,56}{437} = 1,33$$

Якщо виходить не ціле число, то поєднують навантаження прилеглих цехів. Підстанції зазвичай встановлюють одно-або двох трансформаторні, залежно від необхідної надійності електропостачання. Для ремонтного-механічного цеху необхідно встановити 1 трансформатор.

Після цього на плані підприємства позначають розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП) і намічають схему їх живлення від головної понижувальної підстанції (ГПП). Трансформатори цехових ТП можуть бути заживлені за радіальною схемою або 2-3 трансформаторами різних близько розташованих підстанцій в один ланцюжок. Трансформатори двох трансформаторної підстанції мають бути заживлені від різних секцій розподільчого пристрою (РП) 10 кВ ГПП

або центральної розподільної підстанції (ЦРП). Для живлення споживачів електроенергії напругою вище 1000 В цеху встановлюється РП 10 кВ.

2.4 Схеми зовнішнього електропостачання

ГПП розміщується на території заводу відповідно до розрахункового центру електричних навантажень з деяким зміщенням у бік джерела живлення. Вибір напруги живлення та розподільчих мереж залежить від потужності, що споживається підприємством, його віддаленості від джерела живлення, напруги джерела живлення, кількості та одиничної потужності ЕП (електродвигунів, електричних печей, перетворювачів і т.д.).

Зазвичай величина напруги вибирається на основі техніко-економічного порівняння варіантів. Виконання техніко-економічних розрахунків у кожному окремому випадку підвищує трудомісткість проектування електропостачання. Для зручності проектування можна використовувати такі основні рекомендації щодо вибору напруги [11].

Напруга 35 кВ має економічні переваги при потужності, що передається, не більше 10 МВА. Напруга 110 кВ доцільно застосовувати при споживаній промислове підприємство потужності 10-150 МВА. При потужностях, що перевищують 120-150 МВА, для електропостачання промислових підприємств можливе застосування напруги 220 кВ [8].

Відповідно до ДСТУ 3463-96 [12] для трансформатора допускається тривале аварійне навантаження 40% та систематичне навантаження залежно від умов охолодження, типу трансформатора та графіка навантаження.

Потужність трансформаторів ($S_{н.тр}$) на ГПП визначається за формулою

$$S_{н.тр} = \frac{S_{р.гпп}}{2 \cdot \beta_T} = \frac{5886,3}{2 \cdot 0,7} = 4210 \text{ кВА}$$

де $S_{p,ГПП}$ – р озрахункова потужність підприємства з боку вищої напруги трансформаторів ГПП:

β_T – коефіцієнт завантаження трансформаторів ГПП (приймається 0,7).

2 – число трансформаторів на ГПП.

Отримане значення $S_{н.тр}$ округляється до найближчого більшого стандартного значення. Вибираються два трансформатори ТМН-6300 кВА. Їх основні технічні характеристики наведено у табл. 2.5

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики трансформатора

Номинальна потужність	Номинальна вища напруга, кВ	Номинальна нижча напруга, кВ	Втрати холостого ходу, кВт.	Втрати короткого замикання, кВт	Струм холостого ходу, %	Напруга короткого замикання, %	Схема та група з'єднання я обмоток
6300 кВА	35	10	7,6	46,5	0,8	7,5	У/Δ - 11

З урахуванням того, що в нормальному режимі коефіцієнт завантаження трансформаторів ГПП приймається рівним 0,7, в аварійному режимі будь-який із трансформаторів з урахуванням допустимого навантаження (до 40 %) забезпечить повністю необхідну потужність заводу, оскільки $S_{p,ГПП} = 1,4 \cdot S_{н.тр}$.

2.5 Електропостачання цеху

Розподіл електроприймачів за пунктами живлення здійснюється шляхом підключення групи електроприймачів до відповідної розподільної шафи пункту розподільчого (ПР), що має певне число приєднань [8, 9]. Кількість шаф вибирається, виходячи з територіального розміщення обладнання. Вибір місця встановлення ПР базується на забезпеченні мінімальної довжини кабельної лінії від РП-0,4кВ ТП,

мінімальних довжинах кабельних, що відходять ліній, зручності обслуговування. Також РР не повинен розташовуватись на проходах, проїздах. Прокладання кабелю від РР-0,4кВ до шаф РР здійснюється в підлозі, прокладання кабелю від шаф РР до електроприймачів виконується в підлозі в трубах та по стіні на консолях у металевих коробах. До основних недоліків даної схеми відносяться: висока вартість через більшу витрату провідникового матеріалу та комутаційної апаратури та проблеми при реконструкції мережі [9].

Схема розміщення обладнання та прокладання кабельних ліній міститься у додатку В

2.5.1. Вибір силових розподільчих пунктів

Приклад вибору розподільчого пункту наведемо для РП1.

$$I_{ном} \geq I_p = 108,78 \text{ А}$$

Де $I_{ном}$ – номінальний струм розподільчого пункту, А

По [13] вибираємо розподільчий пункт ПР11-1060-21 з автоматичними вимикачами на фідерах серій ВА57-35 та ВА57-39, технічні характеристики яких наведені у [14]. Аналогічно вибираємо розподільні шафи для інших груп. електроприймачів. Результати вибору зведемо до табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподільні пункти

№ РП	I_p, A	$n_{лін}$	Тип РП	$I_{ном}, A$
РП1	108,78	7	ПР11-1060-21	250
РП2	81,44	10	ПР11-1060-21	250
РП3	84,02	9	ПР11-1060-21	250
РП4	220,15	13	ПР24- 3227(3527)	480
РП5	294,29	12	ПР24- 3227(3527)	480
РП6	58,65	10	ПР11-1060-21	250
РП7	113,34	7	ПР11-1060-21	250

2.5.2. Вибір автоматичних вимикачів

Для забезпечення захисту від струмів короткого замикання та від можливих перевантажень як апарати захисту використовуємо автоматичні вимикачі. Вибір автоматичних вимикачів можна розділити на такі етапи:

1. Вибір типу автомата.
2. Вибір номінального струму автомата за умовою

$$I_{ном. АВ} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов}$$

де $I_{ном. АВ}$ - номінальний струм АВ;

$K_{зан}$ - коефіцієнт запасу, що приймається за [7, 8]

$I_{дов}$ – тривалий максимальний робочий струм лінії (розрахунковий – для групи ЕП, та номінальний для окремого ЕП).

2. Вибір номінального струму теплового розчіплювача автоматів за умовою:

$$I_{ном. тепл} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов}$$

3. Перевірка за струмом спрацьовування (уставки) електромагнітного розчіплювача:

-для групи ЕП $I_{КЗ} \geq 1,25 I_{пик}$

-для групи ЕП $I_{КЗ} \geq 1,25 I_{пуск}$

де $I_{пик}$ – піковий струм групи ЕП;

$I_{пуск}$ – пусковий струм ЕП.

Струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача:

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном. тепл}$$

де $K_{КЗ}$ – уставка спрацьовування у зоні КЗ.

Наведемо приклад вибору автоматичного вимикача для трубозгинального верстату

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos(\varphi_{насп}) \cdot \eta} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,95} = 19,2 \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{длит} = 5 \cdot 19,2 = 96 \text{ А}$$

Обираємо автоматичний вимикач ВА13-25 з $I_{ном.} = 25 \text{ А}$,
 $I_{ном. \text{ тепл}} = 25 \text{ А}$, $K_{КЗ} = 7$ [8]

Виконуємо перевірку:

$$I_{ном. АВ} = 25 \text{ А} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов} = 1,15 \cdot 19,2 = 22,08 \text{ А}$$

$$I_{ном. \text{ тепл}} = 25 \text{ А} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов} = 1,15 \cdot 19,2 = 22,08 \text{ А}$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном. \text{ тепл}} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 96 = 144 \text{ А}$$

Автоматичний вимикач типу ВА13-25 задовольняє зазначені вище умови. Аналогічно вибираємо автомати, що захищають ЕП цеху, результати зводимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Вибір автоматичних вимикачів

№ на плані	Найменування приймача ЕЕ	$I_{ном. АВ}, \text{ А}$	$I_{ном. \text{ тепл}}$	$K_{КЗ}$	$I_{КЗ}$	Марка	Р НІ, Вт
1-3, 3-15	Токарно-гвинторізний верстат	25	16	7	112	ВА13-25	4,5
4-6	Трубозгинальний верстат	25	25	7	175	ВА13-25	6,0
7-9	Прес-ножиці	25	16	7	112	ВА13-25	3,7
10-12	Прес листозгинальний	63	63	12	756	ВА13-29	16,4
16, 17, 41, 42	Кран-балка, ПВ=40%	63	63	12	765	ВА13-29	14
18-26	Токарно-гвинторізний верстат	25	16	7	112	ВА13-25	3,3
27-32	Токарно-гвинторізний верстат	63	63	6	378	ВА13-29	10,6
33-36	Універсальний круглошліфувальний верстат	25	25	7	175	ВА13-25	5,0
37-40	Внутрішньошліфувальний верстат	25	25	7	175	ВА13-25	6,6
43, 44	Молот пневматичний	25	25	7	175	ВА13-25	7,0
45-47	Електропід опору	100	100	15	1400	ВА51Г-31	28
48, 49	Молот пневматичний	63	63	12	765	ВА13-29	13
50-54	Пічка муфельна	25	16	7	112	ВА13-25	2,4
55, 56	Зварювальний агрегат, ПВ=50%	100	100	15	1400	ВА51Г-31	22
57-61	Транс. Зварювальний, ПВ=40%	63	63	12	765	ВА13-29	16
62, 63	Перетворювач зварювальний	63	63	12	765	ВА13-29	14,5
64-66	Машина електрозварювальна точкова	100	100	15	1400	ВА51Г-31	24
67-70	Вентилятор	63	63	6	378	ВА13-29	11

Зробимо вибір вступного автоматичного вимикача для відно-
розподільчого пристрою (ВРУ). Розрахунковий струм ремонтно-
механічного цеху:

$$I_{розр} = 1016,44 \text{ A}$$

Визначимо піковий струм групи ЕП механічного цеху

$$I_{пик} = I_{пуск. макс} + (I_{розр} - K_i \cdot I_{ном. макс}) = 960,68 + (1016,44 - 0,14 \cdot 28) = 1973 \text{ A}$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу Е40 з $I_{ном.} = 40 \text{ A}$, $I_{ном. тепл} = 2500 \text{ A}$, $K_{КЗ} = 5$.

Виконуємо перевірку:

$$I_{ном.} = 4000 \text{ A} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{розр} = 1,15 \cdot 1016,44 = 1168,91 \text{ A}$$

$$I_{ном. тепл} = 2500 \text{ A} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{розр} = 1,15 \cdot 1016,44 = 1168,91 \text{ A}$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном. тепл} = 5 \cdot 2500 = 12500 \text{ A} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 1973,2 = 2959,8 \text{ A}$$

Умови виконуються.

Здійснюємо вибір ввідного вимикача РП ПН ТП1.

Номинальний струм трансформатора ТП1:

$$I_{ном.ТП} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,18 \text{ A};$$

На цехової підстанції ТПЗ встановлено два трансформатори, тому можливий післяаварійний режим. Його необхідно врахувати з огляду на те, що при виході з роботи одного трансформатора другий може працювати з перевантаженням 40%.

Струм післяаварійного режиму

$$I_{п.ав} = 1,4 \cdot I_{ном.ТП} = 1,4 \cdot 1340,1 \text{ A}$$

Піковий струм групи ЕП механічного цеху

$$I_{пик} = I_{пуск. макс} + (I_{ном. ТП} - K_i \cdot I_{ном. макс}) = 960,68 + (957,18 - 0,14 \cdot 28) = 1913,26 \text{ A}$$

Здійснюємо автоматичний вимикач ВА75-45 з $I_{ном.} = 3000 \text{ A}$, $I_{ном. тепл} = 2500 \text{ A}$, $K_{КЗ} = 7$.

Виконуємо перевірку:

$$I_{ном. АВ} = 3000 \text{ A} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов} = 1,15 \cdot 1340,1 = 1541,12 \text{ A}$$

$$I_{ном. тепл} = 2500 \text{ A} \geq K_{ЗАП} \cdot I_{дов} = 1,15 \cdot 1340,1 = 1541,12 \text{ A}$$

$$I_{КЗ} = K_{КЗ} \cdot I_{ном. тепл} = 7 \cdot 2500 = 17500 \text{ A} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 1913,26 = 2869,89 \text{ A}$$

2.5.3. Вибір перерізів мережі живлення ремонтно-механічного цеху

Електричний струм у провіднику виділяє теплову енергію, частина якої витрачається на підвищення його температури, а частина виділяється у навколишнє середовище. Надмірно висока температура нагріву провідника може призвести до передчасного зносу ізоляції, погіршення контактних з'єднань та пожежної небезпеки. Тому ПУЕ [1] встановлює гранично допустимі значення температури нагріву провідників залежно від марки та матеріалу ізоляції провідника у різних режимах.

Тривало протікаючий по провіднику струм, при якому встановлюється найбільша тривало допустима температура нагріву провідника, називається гранично допустимим струмом нагрівання. Значення максимальних довго допустимих струмів визначаються за умови допустимого теплового зносу матеріалу ізоляції провідників різних марок та перерізів, температурою навколишнього середовища та способів прокладання, безпеки обслуговування електричної мережі, забезпечення надійності (терміни служби) та економічності [8, 9].

Вибір перерізу провідника з нагрівання тривалим струмом навантаження зводиться до порівняння максимального розрахункового струму I_p з допустимим струмом I_d , визначеним за таблицями для провідника прийнятої марки та умов його прокладання. При цьому має дотримуватися співвідношення: $I_p \leq I_d$.

$$I_p = I_{ном} / K_{крок}$$

Якщо умова прокладання провідників відрізняються від наведених вище нормальних умов, то переріз кабелю вибираємо більше, ніж попереднього. Розрахунковий струм приймається для нормального режиму роботи, тобто збільшення струму в післяаварійних та ремонтних режимах мережі не враховується [7,8].

Здійснюємо вибір перерізу кабелю, що живить токарно-гвинторізний верстат. Кабель прокладений у кабельному каналі, тому $K_1 = 1$, оскільки температура навколишнього середовища нормальна. Разом з ним прокладено ще 3 кабелі, тому поправочний коефіцієнт $K_2=0,84$ [1]. Вибираємо кабель марки АВВГ (4×2,5), із тривало допустимим струмом $I_{\text{дод}}=19$ А.

Зробимо перевірки вибраного кабелю за допустимим нагріванням провідника тривалим струмом:

$$I_{\text{дод}}=19 \text{ А} \geq I_{\text{ном}} / K_{\text{прок}} = 6,84 / 0,82 = 7,43 \text{ А}$$

де $K_{\text{прок}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 0,92 = 0,84$ – коефіцієнт, який враховує умови прокладання.

Таким чином, обраний попередній переріз відповідає умовам.

Вибір перерізів кабелів для інших ЕП аналогічний, результати вибору представлені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Вибір перерізів ліній, що живлять мережі механічного цеху

Номер на плані	Найменування приймача ЕЕ	$I_{\text{ном}}$ А	$K_{\text{прок}}$	$I_{\text{ном}} / K_{\text{прок}}$	$I_{\text{дод}}$	$K_{\text{зах}}$	Марка кабелю
1-3, 3-15	Токарно-гвинторізний верстат	6,84	0,92	7,43	19	1	АВВГ (4х2,5)
4-6	Трубозгинальний верстат	9,12	0,84	10,86	19	1	АВВГ (4х2,5)
7-9	Прес-ножиці	5,62	0,81	6,94	19	1	АВВГ (4х2,5)
10-12	Прес листозгинальний	24,9 2	0,81	30,77	27	1	АВВГ (4х4)
16, 17, 41, 42	Кран-балка, ПВ=40%	21,2 7	0,84	25,32	27	1	АВВГ (4х4)

Продовження табл. 2.8

Номер на плані	Найменування приймача ЕЕ	$I_{ном. A}$	$K_{прок}$	$I_{ном} / K_{прок}$	$I_{дод}$	$K_{зах}$	Марка кабелю
18-26	Токарно-гвинторізний верстат	5,01	0,92	5,45	19	1	АВВГ (4х2,5)
27-32	Токарно-гвинторізний верстат	16,11	0,92	17,51	27	1	АВВГ (4х4)
33-36	Універсальний круглошліфувальний верстат	7,6	0,87	8,74	19	1	АВВГ (4х2,5)
37-40	Внутрішньошліфувальний верстат	10,03	0,87	11,53	19	1	АВВГ (4х2,5)
43, 44	Молот пневматичний	10,64	0,75	14,19	19	1	АВВГ (4х2,5)
45-47	Електропіч опору	42,54	0,81	52,52	45	1	АВВГ (4х10)
48, 49	Молот пневматичний	19,75	0,81	24,38	27	1	АВВГ (4х4)
55, 56	Зварювальний агрегат, ПВ = 50%	33,43	0,82	40,77	35	1	АВВГ (4х6)
57-61	Транс. Зварювальний, ПВ=40%	34,31	0,82	41,84	35	1	АВВГ (4х6)
62, 63	Перетворювач зварювальний	22,03	0,81	27,20	27	1	АВВГ (4х4)
64-66	Машина електрозварювальна точкова	36,46	0,81	45,01	45	1	АВВГ (4х10)
67-70	Вентилятор	16,71	0,84	19,89	27	1	АВВГ (4х4)

Зробимо перевірки вибраного кабелю що живлять РП. Розглянемо приклад вибору перерізу кабелю для РП1. Кабель прокладено відкрито по стіні за допомогою скоб, отже $K_1 = 1$, $K_2=1$ [1]. Вибираємо кабель марки АВВГ (4×25), з тривало допустимим струмом $I_{дод} = 115$ А.

Зробимо перевірки вибраного кабелю за допустимим нагрівом провідника додатковим струмом

$$I_{дод} = 115 \text{ А} \geq I_{ном} / K_{прок} = 108,78 / 1 = 108,78 \text{ А}$$

Де $K_{\text{прок}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 1 = 1$ – коефіцієнт, який враховує умови прокладання.

Таким чином, обраний попередній переріз відповідає умовам.

Вибір перерізів кабелів для інших ЕП аналогічний, результати вибору наведені у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Вибір перерізів ліній, що живлять мережі механічного цеху

Номер на плані	$I_{\text{ном. А}}$	$K_{\text{прок}}$	$I_{\text{ном}} / K_{\text{прок}}$	$I_{\text{доп}}$	$K_{\text{зах}}$	Марка кабелю
РП1	108,78	1	108,78	115	1	АВВГ (4x25)
РП2	81,44	1	81,44	90	1	АВВГ (4x16)
РП3	84,02	1	84,02	90	1	АВВГ (4x16)
РП4	220,15	1	220,15	240	1	АВВГ (4x95)
РП5	294,29	1	294,29	305	1	АВВГ (4x150)
РП6	58,65	1	58,65	65	1	АВВГ (4x10)
РП7	113,34	1	113,34	115	1	АВВГ (4x25)

Зробимо перевірки вибраного кабелю, який живлять РУ 0,4 кВ механічного цеху від РУ НН ТП1 Кабель прокладено в траншеї з урахуванням працюючих кабелів $K_1 = 1$, $K_2 = 0,92$ [1]. Вибираємо кабель марки АВВГ (4×240), з тривало допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 115$ А.

Зробимо перевірки вибраного кабелю за допустимим нагрівом провідника додатковим струмом

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном}} / K_{\text{прок}} = 957,18 / 0,92 = 1040,42 \text{ А}$$

де $K_{\text{прок}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 0,92 = 0,92$ – коефіцієнт, який враховує умови прокладання.

Таким чином, обраний попередній переріз відповідає умовам.

2.5.4. Перевірка внутрішньоцехової мережі за втратами напруги. Побудова епюр відхилення напруги від ГПП до найбільш віддаленого та потужного ЕП.

Розрахункова схема для побудови епюри відхилення напруги наведено рис 2.1.

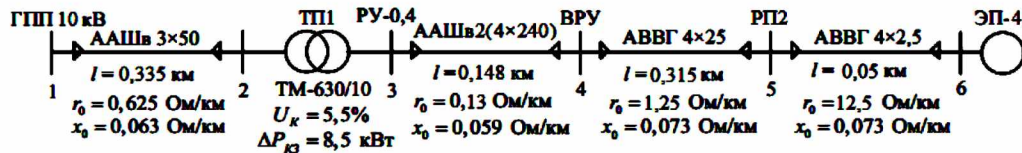


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для побудови епюр відхилення напруги

Цехова ТП1 – двотрансформаторна, тому потрібно розглянути максимальний, мінімальний та післяаварійний режими роботи мережі.

Розрахуємо навантаження максимального режиму.

Вузол 6 - Трубозгинальний верстат. Як привід використовується асинхронний двигун. Визначимо розрахункове навантаження приводу за номінальними даними:

$$S_{\text{розрЕП}} = S_{\text{розр6}} = 6 + j4,36 \text{ кВА}$$

Вузол 5 - РП2. Розрахункова навантаження визначається методом коефіцієнта розрахункової активної потужності:

$$S_{\text{розрРП}} = S_{\text{розр5}} = 8,42 + j10,18 \text{ кВА}$$

Вузол 4 – ВРУ механічного цеху. Розрахункова навантаження визначається методом коефіцієнта розрахункової активної потужності:

$$S_{\text{розрВРУ}} = S_{\text{розр4}} = 491,94 + j351,23 \text{ кВА}$$

Розрахункове навантаження на одну кабельну лінію:

$$S_{\text{розрКЛ}} = \frac{S_{\text{розр4}}}{2} = \frac{491,94 + j351,23}{2} = 245,97 + j175,62 \text{ кВА}$$

Вузол 3 - РУ ПН ТП3. Розрахункова навантаження знайдена за методом коефіцієнта попиту

$$S_{\text{розрТП}} = S_{\text{розр3}} = 1074,5 + j826,43 \text{ кВА}$$

Розрахункове навантаження на один трансформатор:

$$S_{\text{розр.тр}} = \frac{S_{\text{розр.ТП1}}}{2} = \frac{1074,5 + j826,43}{2} = 537,25 + j413,22 \text{ кВА}$$

Вузол 2 - сторона ВН трансформатора ТП3. Навантаження є сумою потужності на боці ПН та втрат потужності у трансформаторі. Визначимо втрати потужності у трансформаторі ТМ-630/10, паспортні дані якого наведено вище [10].

Втрати активної потужності

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{тр}} &= \Delta P_{\text{ХХ}} + \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \beta^2 = 1,56 + 8,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{537,25^2 + 413,22^2}}{630} \right) \\ &= 11,4 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Втрати реактивної потужності

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{тр}} &= \Delta Q + \Delta Q_{\text{КЗ}} \beta^2 = S_{\text{ном.тр}} \cdot \frac{I_{\text{ХХ}}}{100} + S_{\text{ном.тр}} \cdot \frac{U_{\text{КЗ}}}{100} \beta^2 \\ &= 630 \cdot \frac{2}{100} + 630 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \left(\frac{\sqrt{537,25^2 + 413,22^2}}{630} \right) \\ &= 53,31 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження у вузлі 2

$$P_{\text{розр2}} = P_{\text{розр3}} + \Delta P_{\text{тр}} = 537,25 + 11,4 = 548,65 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр2}} = Q_{\text{розр3}} + \Delta Q_{\text{тр}} = 413,22 + 53,31 = 466,535 \text{ кВт}$$

Розраховуємо навантаження мінімального режиму

$$P_{\text{min12}} = \frac{30}{100} \cdot P_{\text{man12}} = \frac{30}{100} \cdot 551,52 = 165,46 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{min12}} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\text{man12}} = \frac{4}{50} \cdot 463,1 = 37,05 \text{ кВАр}$$

$$P_{\text{min23}} = \frac{30}{100} \cdot P_{\text{man23}} = \frac{30}{100} \cdot 537,25 = 161,18 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{min23}} = \frac{4}{50} \cdot Q_{\text{man23}} = \frac{4}{50} \cdot 413,22 = 33,06 \text{ кВАр}$$

$$P_{\text{min34}} = \frac{30}{100} \cdot P_{\text{man34}} = \frac{30}{100} \cdot 245,97 = 73,79 \text{ кВт}$$

$$Q_{min34} = \frac{4}{50} \cdot Q_{man34} = \frac{4}{50} \cdot 351,23 = 28,1 \text{ кВар}$$

$$P_{min45} = \frac{30}{100} \cdot P_{man45} = \frac{30}{100} \cdot 8,42 = 2,53 \text{ кВт}$$

$$Q_{min45} = \frac{4}{50} \cdot Q_{man45} = \frac{4}{50} \cdot 10,18 = 0,81 \text{ кВар}$$

$$P_{min56} = \frac{30}{100} \cdot P_{man56} = \frac{30}{100} \cdot 6 = 1,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{min56} = \frac{4}{50} \cdot Q_{man56} = \frac{4}{50} \cdot 4,36 = 0,35 \text{ кВар}$$

Навантаження післяаварійного режиму

Навантаження післяаварійного режиму визначаються із аналізу схеми мережі. В даному випадку в післяаварійному режимі навантаження у вузлах 2, 3 та 4 вдвічі збільшуються у порівнянні з максимальним, а у вузлах 5 та 6 залишаються без змін [8, 9].

Результати розрахунку навантажень у різних режимах представлені в таблиці 2.10

Таблиця 2.10 - Результати розрахунку навантажень у різних режимах

Позначення ділянки	Навантаження в режимах, кВА		
	мінімальне	максимальне	післяаварійне
1-2	165,46+j37,05	548,65+j466,53	1115,41+j999,45
2-3	161,18+j33,06	537,25+j413,22	1074,5+j826,43
3-4	73,79+j28,1	245,97+j175,62	491,94+j351,23
4-5	2,53+j0,81	8,42+j10,18	8,42+j10,18
5-6	0,8+j0,35	6+j4,36	6+j4,36

На основі аналізу навантажень у табл. 2.10 можна зробити такі висновки:

– максимальні навантаження в усіх ділянках мережі значно перевищують мінімальні, що свідчить про змінний графік роботи

обладнання та необхідність врахування пікових режимів при проектуванні.

– у післяаварійному режимі навантаження майже подвоюється порівняно з максимальним, що підтверджує критичність забезпечення резервування трансформаторів і правильного вибору обладнання, здатного витримати такі режими без перевантаження.

– перехід від ділянки до ділянки демонструє поступове зменшення навантаження, що свідчить про раціональне територіальне розташування приймачів і оптимальний вибір схем живлення.

– найменші значення потужностей спостерігаються на останніх ділянках (4-5, 5-6), що дозволяє використовувати провідники меншого перерізу, тим самим знижуючи загальні витрати на матеріали.

– значні значення уявної реактивної складової (особливо в режимі "післяаварійний") вказують на необхідність компенсації реактивної потужності за допомогою батарей конденсаторів або інших засобів.

2.5.5. Розрахунок режимів

Розрахунок режиму максимальних навантажень [15].

Ділянка 1-2:

Напруга на початку ділянки приймаємо $U_1 = 10,5$ кВ

$$R_{12} = r_0 \cdot l_{12} = 0,625 \cdot 0,335 = 0,209 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = x_0 \cdot l_{12} = 0,063 \cdot 0,335 = 0,021 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{548,65 \cdot 0,209 + 466,53 \cdot 0,021}{10 \cdot 10,5_1^2} = 0,113\%$$

У вольтах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,113 \frac{10500}{100} = 11,865 \text{ В}$$

Напруга в вузлі 2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 35 - 7,119 = 10500 - 11,865 = 10488,135 \text{ В}$$

Ділянка 2-3

Знайдемо активну та реактивну складові напруги КЗ трансформатора:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{КЗ}}{S_{НОМ.тр}} 100 = \frac{8,5}{630} 100 = 1,35 \%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{КЗ}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,66 \%$$

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора

$$\beta = \frac{\sqrt{P_{12}^2 - Q_{12}^2}}{S_{НОМ.тр}} = \frac{\sqrt{548,65^2 + 466,53^2}}{630} = 1,143$$

Потоки потужності, що передаються через вторинну обмотку цехового трансформатора:

$$P_2 = P_{12} - \Delta P_{mp} = 548,65 - 11,4 = 537,25 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = Q_{12} - \Delta Q_{mp} = 466,53 - 53,31 = 413,22 \text{ кВт}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 - Q_2^2} = \sqrt{537,25^2 - 413,22^2} = 677,78 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{537,25}{677,78} = 0,76$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{413,22}{677,78} = 0,61$$

Втрати напруги у трансформаторі:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \\ \sin \varphi_2) &= 1,143 \cdot (1,35 \cdot 0,79 + 5,66 \cdot 0,61) + \frac{1,143^2}{200} \cdot (1,35 \cdot 0,79 - 5,66 \cdot \\ &0,61) = 4,195 \% \end{aligned}$$

У вольтах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 4,165 \frac{10488,135}{100} = 439,977 \text{ В}$$

З урахуванням втрат в обмотці ВН напруга ВН дорівнює:

$$U_{ВН} = U_2 - \Delta U_{23} = 10488,135 - 439,977 = 10048,158 \text{ В}$$

Перерахунок напруги НН:

$$U_3 = U_{\text{ср.ном}} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}}{U_1} = 400 \frac{10048,158}{10500} = 382,5 \text{ В}$$

Ділянка 3-4:

$$R_{34} = r_0 \cdot l_{34} = 0,13 \cdot 0,148 = 0,019 \text{ Ом}$$

$$X_{34} = x_0 \cdot l_{34} = 0,059 \cdot 0,148 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{245,97 \cdot 0,019 + 175,62 \cdot 0,009}{10 \cdot 0,3828^2} = 4,27\%$$

У вольтах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 4,87 \frac{382,8}{100} = 18,64 \text{ В}$$

Напруга в вузлі 2

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 382,8 - 18,64 = 364,16 \text{ В}$$

Ділянка 4-5:

$$R_{45} = r_0 \cdot l_{45} = 1,25 \cdot 0,135 = 0,394 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = x_0 \cdot l_{45} = 0,073 \cdot 0,315 = 0,023 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{8,42 \cdot 0,394 + 10,18 \cdot 0,023}{10 \cdot 0,36416^2} = 2,68\%$$

У вольтах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 2,68 \frac{364,16}{100} = 9,76 \text{ В}$$

Напруга в вузлі 2

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 364,16 - 19,76 = 354,4 \text{ В}$$

Ділянка 5-6:

$$R_{56} = r_0 \cdot l_{56} = 12,5 \cdot 0,05 = 0,625 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = x_0 \cdot l_{56} = 0,073 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{6 \cdot 0,625 + 4,36 \cdot 0,004}{10 \cdot 0,3544^2} = 2,99\%$$

У вольтах

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 2,99 \frac{354,4}{100} = 10,6 \text{ В}$$

Напруга в вузлі 2:

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 354,4 - 10,6 = 343,8 \text{ В}$$

Розрахунок інших режимів ведеться аналогічно. У мінімальному режимі $U_I = 10 \text{ кВ}$, післяаварійному – $U_I = 10,5 \text{ кВ}$. Результати розрахунків зведемо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Результати розрахунків режимів

Позначення ділянки	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Марка кабелю, перетин, мм ² довжина, км	ААШв 3×50 0,335	$S_{ном.тр} = 630 \text{ кВА}$ $U_{КЗ} = 5,5\%$ $\Delta P_{КЗ} = 8,5 \text{ кВт}$	ААШв 2(4×240) 0,148	АВВГ 4×25 0,315	АВВГ 4×2,5 0,05
Опір, Ом активний реактивний	0,625 0,063	$U_a = 13,5\%$ $U_p = 5,66\%$	0,13 0,059	1,25 0,073	12,5 0,073
Навантаження у режимах, кВА максимальний мінімальний післяаварійний	548,6 + j 466,5 165,46+j37,05 1115,4+j999,4	537, 25 + j 413, 22 161,18+j33,06 1074,5+j826,43	245,9+j175,6 73,79+j28,1 491,9+j351,2	8,42+j10,1 2,53+j0,81 8,42+j10,1	6 j 4,36 1,8+j0,3 6+j4,36
Втрати напруги, В максимальні	11,865	439,77	18,64	9,76	10,6
Відхилення напруги, % максимальні	0,113	4,195	4,27	2,68	2,99

Аналіз табл. 2.11 уявлення про режим роботи мережі електропостачання ремонтно-механічного цеху в різних умовах — максимального, мінімального та післяаварійного навантаження.

Конфігурація ділянок і кабелів:

- ділянка 1-2: кабель ААШв 3×50, довжина 0,335 км — лінія від ГПП до трансформатора ТП. Є втрати короткого замикання.
- ділянка 2-3: трансформатор ТМ-630, дано потужність і втрати.
- ділянка 3-4: кабель ААШв 2(4×240), довжина 0,148 км — від ТП до ВРУ цеху.
- ділянка 4-5: кабель АВВГ 4×25, довжина 0,315 км — до РП.
- ділянка 5-6: кабель АВВГ 4×2,5, коротка ділянка 0,05 км — до окремого приймача (трубозгинальний верстат).

Визначимо опору елементів системи електропостачання до розрахунку струмів трифазного КЗ.

Опір силового трансформатора

$$R_{mp} = 3,1 \text{ мОм}; X_{mp} = 13,6 \text{ мОм}$$

Опір автоматичних вимикачів QF1-QF4:

$$R_{QF1} = 0,12 \text{ мОм}; X_{QF1} = 0,094 \text{ мОм}; R_{kQF1} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$R_{QF2} = 0,12 \text{ мОм}; X_{QF2} = 0,094 \text{ мОм}; R_{kQF2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$R_{QF3} = 2,35 \text{ мОм}; X_{QF3} = 1,3 \text{ мОм}; R_{kQF3} = 0,75 \text{ мОм};$$

$$R_{QF4} = 5,5 \text{ мОм}; X_{QF4} = 2,7 \text{ мОм}; R_{kQF4} = 1,3 \text{ мОм};$$

Опір первинної обмотки трансформатора струму ТА1, ТА2 [15] вище 1000/5 не враховується.

Опір КЛ1:

$$R_{KL1} = r_0 \cdot l_{KL1} = 0,13 \cdot 148 = 19,24 \text{ мОм}$$

$$X_{KL1} = x_0 \cdot l_{KL1} = 0,06 \cdot 148 = 8,88 \text{ мОм}$$

Опір КЛ2:

$$R_{KL2} = r_0 \cdot l_{KL2} = 1,25 \cdot 315 = 393,75 \text{ мОм}$$

$$X_{KL2} = x_0 \cdot l_{KL2} = 0,073 \cdot 315 = 22,995 \text{ мОм}$$

Опір КЛ3:

$$R_{KL3} = r_0 \cdot l_{KL3} = 1,25 \cdot 50 = 625 \text{ мОм}$$

$$X_{KL3} = x_0 \cdot l_{KL3} = 0,09 \cdot 50 = 4,5 \text{ мОм}$$

Перехідні опори ступенів розподілу:

$$R_{P1111} = 15 \text{ мОм}; R_{P112} = 20 \text{ мОм}; R_{P12} = 25 \text{ мОм};$$

Активні перехідні опори нерухомих контактних з'єднань:

$$R_{kL11} = 0,012 \text{ мОм}; R_{kL12} = 0,064 \text{ мОм}; R_{kL13} = 0,085 \text{ мОм};$$

Визначимо еквівалентні опори на ділянках схеми між точками КЗ.

$$R_1 = R_{TP} + R_{QF1} + R_{kQF2} + R_{PV111} = 3,1 + 0,12 + 0,25 + 15 = 18,47 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_{TP} + X_{QF1} = 13,6 + 0,094 = 13,694 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{KЛ1} + R_{kKЛ1} + R_{BPV} =$$

$$0,12 + 0,25 + 19,24 + 0,012 + 20 = 39622 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{KЛ1} = 0,94 + 8,88 = 9,974 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{KЛ3} + R_{kKЛ3} + R_{ПР} = 2,35 + 0,75 + 936,75 + 0,064 + 25 =$$

$$421,914 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{KЛ3} = 1,3 + 22,995 = 24,295 \text{ мОм}$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{kQF4} + R_{KЛ3} + R_{kKЛ3} = 5,5 + 625 + 0,85 = 632,65 \text{ мОм}$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{KЛ3} = 2,7 + 4,5 = 7,2 \text{ мОм}$$

Спрощена схема заміщення розподільчої мережі для розрахунку струмів трифазного та двофазного КЗ представлена на рис 2.3.

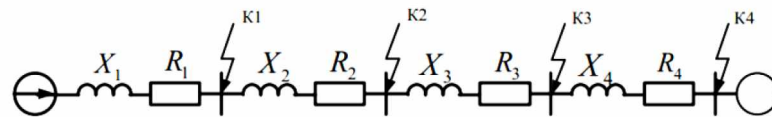


Рисунок 2.3 – Спрощена схема заміщення розподільчої мережі

Розрахуємо струми трифазного та двофазного КЗ для точки К1 [15].

Сумарний опір

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,47^2 + 13,694^2} = 22,99 \text{ мОм}$$

Періодична складова струму трифазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22,99} = 10,05 \text{ кА}$$

Постійна згасання:

$$T_a = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = \frac{13,694}{314 \cdot 18,47} = 0,0024 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-0,01/Ta} = 1 + e^{-0,01/0,0024} = 1,02$$

Ударний струм

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,02 \cdot 10,05 = 14,49 \text{ кА}$$

Струм двухфазного КЗ

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 10,05 = 8,74 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ для інших точок здійснюється аналогічно.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було проведено аналіз технологічного процесу та визначено електричні навантаження ремонтно-механічного цеху. Проведено розрахунок активних та реактивних навантажень, а також розраховано повну потужність цеху. Обґрунтовано вибір трансформатора типу ТМ потужністю 630 кВА, здійснено розрахунок струмів короткого замикання, перевірку втрат напруги та побудовано епюри відхилення напруги. Розрахунки підтвердили відповідність обраного обладнання вимогам нормативних документів, а також забезпечення енергоефективності та надійності електропостачання цеху.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

Проектування системи електропостачання механічного цеху складається з 2 етапів:

1 етап - регулювання напруги при зміні коефіцієнта трансформації в діапазоні $\pm 10\%$ $U_{ном}$ із кроком 1% [16, 17];

2 етап – зміна напруги при обриві фазного дроту електропередачі 10 кВ в електричній мережі напругою 10/0,4 кВ із трансформатором зі схемою з'єднання обмоток зірка з нулем - зірка з нулем [16,17].

1 етап - розв'язання задач підвищення якості електричної енергії у мережі 0,4 кВ та її економії тісно пов'язане з регулюванням змінної напруги на стороні 10 кВ трансформаторних підстанцій (ТП). На силових трансформаторах зазначених ТП відсутні пристрої автоматичного регулювання напруги. Регулювання рівня напруги 0,4 кВ на ТП 10/0,4 кВ здійснюється пристроями ПБЗ (перемикання без збудження) двічі на рік (сезонне регулювання) за умови відключеного трансформатора [16,17].

На промислових підприємствах необхідний рівень напруги 0,4 кВ підтримується пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН) на головних понижувальних підстанціях (ГПП). У той же час більшість побутових споживачів не отримують електроенергію напругою 380 В необхідної якості: відхилення напруги в мережі часто перевищують межі нормально допустимих і гранично допустимих значень. Результат – знижена освітленість приміщень, що впливає на погіршення зору працівників та; вихід з ладу дорогого електроустаткування, побутових електроприладів тощо [16].

За основу прийнято систему електропостачання (СЕР) промислового підприємства (ПП) як електроспоживача, що відрізняється різноманіттям електроприймачів із різними режимами роботи.

Скористаємося вище обраними електричними апаратами та змоделюємо модель СЕП ремонтно-механічного цеху заводу. У програмному додатку Matlab Simulink є можливість моделювання широкого спектру готових електротехнічних пристроїв [18].

Вихідними даними для моделювання СЕП підприємства є тип, кількість, режим роботи та номінальна потужність електроприймачів 0,4 та 10 кВ, а також довжини ліній електропередачі. На основі розрахунку електричних навантажень 0,4 та 10 кВ обрані елементи СЕП: цехові трансформатори ТМ-630/10/0,4 кВ, перерізи розподільних електромереж, автоматичний вимикачі та електроприймачі цеху 0,4 кВ.

Під час побудови імітаційної моделі використано принцип структурного моделювання, який полягає у створенні окремих функціональних блоків (трансформатор, мережа, навантаження, захист), з подальшим синтезом їх у цілісну модель СЕП. Такий підхід дає змогу провести аналіз параметрів мережі при різних режимах роботи, виявити потенційні втрати напруги, перевантаження окремих елементів, оцінити ефективність схем керування і захисту.

Імітаційна модель системи електропостачання підприємства побудована у вигляді функціональної схеми та представлена на рисунку 3.1, що дозволяє візуалізувати структуру електромережі й оцінити її роботу в режимі реального часу.

Імітація процесу регулювання напруги у розробленій моделі здійснюється шляхом зміни коефіцієнта трансформації (співвідношення первинної та вторинної напруги) на трансформаторі 10/0,4 кВ [15].

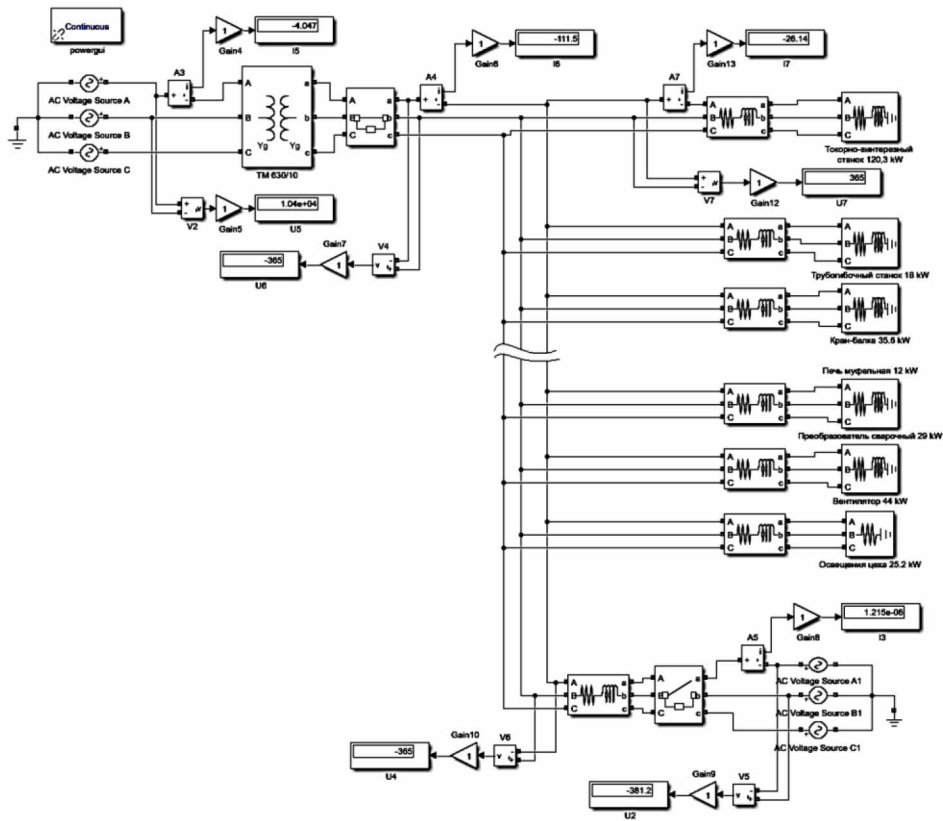


Рисунок 3.1 – Імітаційна модель системи електропостачання цеху 10/0,4 кВ.

На рис. 3.2 наведена залежність струму та напруги, виміряних на шинах ТП 0,4 кВ, від коефіцієнта трансформації

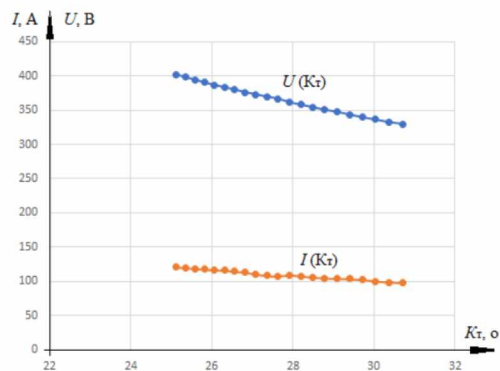


Рисунок 3.2 – Залежність струму та напруги, виміряних на шинах ТП 0,4 кВ, від коефіцієнта трансформації.

Аналіз результатів процесу регулювання напруги показав, що при зміні коефіцієнта трансформації в діапазоні $\pm 10\%$ від $U_{ном}$ із кроком 1% величини відхилення напруги на затискачах низьковольтних та високовольтних споживачів не перевищують нормально-допустимих значень (регламентованих ДСТУ 13109 [19]) на інтервалі від -6% до $+10\%$ від номінальної напруги (табл. 1). На іншому ж діапазоні зміни коефіцієнта трансформації відхилення напруги досягає величин, у яких робота електроприймачів нееконічна.

2 – Етап: досліджувана електрична мережа напругою $10/0,4$ кВ (рис. 3.2) складається з джерела живлення напругою 10 кВ, трипровідної кабельної лінії напругою 10 кВ (КЛ - 10 кВ), понижуючого трифазного трансформатора Т напругою $10/0,4$ кВ кабельної лінії напругою $0,4$ кВ (КЛ - $0,4$ кВ) та навантаження споживачів наприкінці лінії ЕП [17].

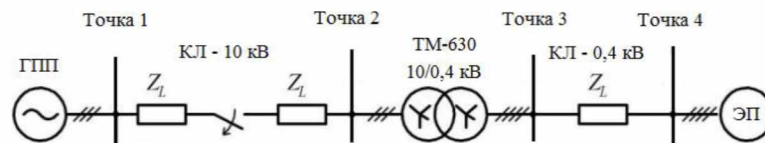


Рисунок 3.3 – Електрична мережа напругою $10/0,4$ кВ.

При дослідженнях обрив фазного дроту проводиться послідовно у фазі А, потім В і С. Це забезпечує всі можливі поєднання фаз обірваного дроту КЛ- 10 кВ з фазною несиметрією споживачів напругою 380 В, оскільки спостерігається відмінність характеристик напруг U_0 на відстаючій та випереджальній фазах по відношенню до фази, в якій відбувається обрив фазного дроту [16, 17].

Таким чином, дослідження зміни напруги проведені для 16 режимів роботи електричної мережі $10/0,4$ кВ:

- нормальний режим (НР) роботи КЛ- 10 кВ при чотирьох варіантах навантаження споживачів напругою $0,4$ кВ;

- почерговий обрив проводу фази А, В або С КЛ-10 кВ (ОФА, ОФВ, ОФС), причому щоразу при чотирьох варіантах навантаження споживачів напругою 0,4 кВ [17].

У таблиці 3.1 наведені результати досліджень змін нульової напруги U_0 послідовностей у чотирьох характерних точках електричної мережі напругою 10/0,4 кВ (рис. 3.3), отримані за допомогою моделювання електропостачання цеху в програмі Matlab Simulink. Напруги представлені у вольтах (кВ): напруга нульової послідовності приведена до відповідної фазної напруги, а напруга зворотної послідовності – до відповідної лінійної напруг, виміряним у чотирьох характерних точках під час роботи мережі 10/0,4 кВ на холостому ходу, тобто за відсутності навантажень споживачів, підключених до КЛ-0,4 кВ [14].

Таблиця 3.1 – Результати дослідження

Номер режиму	Навантаження по фазам, %			Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
	P_A	P_B	P_C	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)
1	100	100	100	10,3	10,3	0,365	0,353
2	0	100	100	10,3	10,3	0,369	0,349
3	0	0	100	10,3	10,3	0,376	0,190
4	0	0	0	10,3	10,3	0,387	0
Обрив фази А							
5	100	100	100	10,3	5,116	0,366	0,350
6	0	100	100	10,3	7,195	0,365	0,349
7	0	0	100	10,3	7,661	0,377	0,190
8	0	0	0	10,3	5,660	0,387	0
Обрив фази В							
9	100	100	100	10,3	5,114	0,197	0,188
10	0	100	100	10,3	7,197	0,199	0,190
11	0	0	100	10,3	7,664	0,288	0,190
12	0	0	0	10,3	5,664	0,277	0
Обрив фази С							
13	100	100	100	10,3	5,279	0,169	0,162
14	0	100	100	10,3	7,197	0,165	0,15
15	0	0	100	10,3	7,197	0,188	0
16	0	0	0	10,3	6,503	0,235	0

Проведемо аналіз зміни напруги. Напруга нульової послідовності U_0

При нормальному режимі роботи електричної мережі 10/0,4 кВ:

- напруга U_0 у мережі 10 кВ (у точках 1 і 2; режими 1–4) = 0;
- напруга U_0 у мережі 0,4 кВ (точки 3 та 4) при симетричному навантаженні і на «холостому ході» КЛ-0,4 кВ (режими 1 і 4) = 0, а за наявності несиметричного навантаження споживачів 0,4 кВ (режими 2 і 3) становить 0,2-14,7% фазної напруги і обумовлено саме несиметрією фазних навантажень споживачів напругою 0,4 кВ.

У таблиці 3.1 представлена зміни напруги U_0 (кВ) в характерних точках електричної мережі напругою 10/0,4 кВ, отримані за допомогою моделювання електропостачання цеху програмного застосунку Matlab Simulink. Результати зніматимемо у фазах В і С для всіх точках і режимах.

При обриві фазного дроту КЛ-10 кВ:

- напруга U_0 у мережі 10 кВ (у точці 1; режими 1–16) – не змінюється фазна напруга;
- напруга U_0 в мережі 10 кВ (у точці 2; режими 5 і 8, 9 і 12, 13 і 16) при симетричному навантаженні споживачів 380 В, а також «холостому ході» КЛ 0,4 кВ стає рівним половині фазної напруги мережі. В інших режимах (7 і 8, 10 і 11, 14 і 15) на поздовжню несиметрію КЛ-10 кВ накладається несиметрія фазних навантажень споживачів мережі 380 В;
- напруга U_0 в точках 3 і 4 при обриві фазного дроту КЛ-10 кВ не змінюється, воно залишається тим же, що і при нормальному режимі роботи КЛ-10 кВ. Це підтверджує теоретичні положення [14, 15], що напруга U_0 в мережі 10 кВ, яка працює із ізольованою нейтраллю не проходить в мережу 380 В через понижуючий трансформатор, незалежно від схем з'єднання обмоток цього трансформатора. Наявність невеликої напруги U_0 (у точці 4; режими 6 і 7, 10 і 11, 14 і 15), що дорівнює 1,8–14,7% фазної напруги, обумовлено несиметрією фазних навантажень споживачів.

Проведені дослідження змін напруги нульової послідовностей у різних точках електричної мережі напругою 10/0,4 кВ при обриві фазного дроту КЛ-10 кВ дозволили отримати їх якісні та кількісні характеристики, які можуть бути використані при розробці пристроїв захисту. Аналіз кількісних характеристик напруги зворотної послідовності показав, що його можна використовувати як інформаційний параметр при побудові захистів, які можуть бути встановлені як в кінці КЛ-10 кВ, так і на стороні нижчої напруги понижуючого трансформатора 10/0,4 кВ схемою з'єднання обмоток «зірка з нулем - зірка з нулем».

Влаштування захисту при обриві фазного дроту КЛ-10 кВ краще встановлювати на стороні нижчої напруги трансформатора напругою 10/0,4 кВ. У порівнянні з установкою пристрою на стороні вищої напруги трансформатора 10/0,4 кВ воно простіше використання, менш витратно та найменш громіздко.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 розроблено структуру системи електропостачання механічного цеху. Визначено оптимальну схему живлення з урахуванням надійності, резервування та зручності обслуговування. Обрано силові розподільчі пункти, автоматичні вимикачі, а також проведено розрахунок і перевірку перерізів кабелів згідно з тривалими допустимими струмами та умовами прокладання. Результати засвідчили, що проєктована система відповідає вимогам ПУЕ, ДБН, а також забезпечує безпечну, стабільну та безперебійну роботу електрообладнання цеху в усіх режимах. Проєкт враховує експлуатаційні особливості виробничого середовища, забезпечуючи надійність і довговічність електромережі.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Економіка

4.1.1 Розрахунок витрат на здійснення технічного проекту

Метою планування собівартості проведення технічного проекту є економічно обґрунтоване визначення величини витрат за його виконання. Вихідними даними для розрахунку витрат є план робіт та перелік необхідної апаратури, обладнання, сировини та матеріалів.

Витрати на здійснення технічного проекту обраховуються за сумою витрат за такими стаття: - витрати на оплату праці; - відрахування податків; - витрати на матеріали та комплектуючі вироби; - витрати на спецобладнання; - накладні витрати.

4.1.2. Розрахунок повної заробітної плати виконавців теми

До кошторису проекту включаються витрати на фінансування діяльності виконавців: заробітна плата виконавців, відрахування податків, а також накладні витрати. Для розрахунку кошторису витрат необхідно знайти повну заробітну плату.

Повна заробітна плата $Z_{повн}$ включає основну $Z_{осн}$ та додаткову заробітну плату $Z_{дод}$ та визначається як:

$$Z_{повн} = Z_{осн} + Z_{дод}$$

Розмір основної заробітної плати визначається за такою формулою:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

де $Z_{дн}$ – середньоденна заробітна плата, грн.

T_p – сумарна тривалість робіт, виконуваних працівником, роб. дн.;

Середньоденна заробітна плата розраховується за такою формулою:

$$Z_{дн} = Z_{ТС} / M$$

де $Z_{ТС}$ - заробітна плата за тарифною ставкою, грн

M - кількість відпрацьованих днів, дні.

4.1.3. Відрахування податків В Україні при виплаті заробітної плати існують **податки та обов'язкові внески**, які сплачуються як із зарплати працівника, так і за рахунок роботодавця. Відповідно до законодавства України, із витрат на оплату праці працівників здійснюються обов'язкові нарахування на соціальне страхування, зокрема до Пенсійного фонду та фондів загальнообов'язкового державного соціального страхування.

Відрахування роботодавця (додатково до нарахованої ЗП) ЄСВ (єдиний соціальний внесок) розраховують [26]

$$\text{ЄСВ} = Z_{\text{повн}} \times 22\%$$

4.1.4. Накладні витрати Накладні витрати враховують додаткові витрати організації, не включені до прямих витрат, зокрема амортизацію основних засобів, витрати на рекламу, адміністративні послуги тощо. Їхня величина становить 16% від загальної суми витрат на проектування

4.1.5 Формування кошторису витрат технічного проекту Розрахована величина витрат технічного проекту є основою для формування кошторису витрат проекту, який при укладанні договору із замовником захищається організацією як нижня межа витрат на розробку технічної продукції. Якщо середньоденна заробітна плата складає 400 грн/день, а тривалість робіт - 30 днів: $Z_{\text{осн}} = 400 \times 30 = 12000$ грн

Повна заробітна плата (за умови додаткових виплат 2000 грн):
 $Z_{\text{повн}} = 12000 + 2000 = 14000$ грн

Відрахування на ЄСВ: $\text{ЄСВ} = 14000 \times 22\% = 3080$ грн

Загальна сума витрат на матеріали складає 25 000 грн.

Вартість спецобладнання для електропостачання - 40 000 грн.

Накладні витрати складають

$(12000 + 25000 + 40000 + 14000) \times 16\% = 91000 \times 16\% = 14560$ грн

Загальна сума витрат = $12000 + 25000 + 40000 + 14000 + 14560 = 105560$ грн

Таблиця 4.1 – Кошторис витрат технічного проекту

№	Стаття витрат	Сума (грн)
1	Витрати на оплату праці	14 000
2	Витрати на матеріали	25 000
3	Витрати на спецобладнання	40 000
4	Накладні витрати	14 560
	Загальна сума витрат	105 560

У даному розділі було проведено орієнтовний розрахунок витрат на реалізацію технічного проекту з електропостачання цеху. Загальна сума кошторису витрат становить 105,56 тис. грн, з яких 64,7 %, або 68,34 тис. грн, припадає на витрати на оплату праці. Витрати на матеріали склали 25,0 тис. грн, витрати на спеціалізоване обладнання — 40,0 тис. грн, а накладні витрати, що розраховані як 16 % від суми основних витрат, становлять 14,56 тис. грн.

Проведені розрахунки підтверджують, що витрати є економічно обґрунтованими, а структура витрат відповідає типовим показникам для подібних проектів. Усі результати проекту відповідають очікуваним параметрам і можуть бути реалізовані на практиці в межах визначеного бюджету та термінів.

4.2. Вимоги безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Аналіз можливих НС, які можуть ініціювати об'єкт досліджень та обґрунтування заходів щодо запобігання НС

У Кодексі цивільного захисту України термін «надзвичайна ситуація» визначається як обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням

засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності [20]. Надзвичайна ситуація є наслідком небезпечної події і можливих небезпечних чинників.

Відповідно до ДСТУ 3891:2013 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять «Надзвичайна ситуація; НС» - порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншими чинниками, що призвели (можуть призвести) до загибелі людей, тварин і рослин, значних матеріальних збитків та (або) завдати шкоди довкіллю [21].

З погляду виконання проекту характерні такі види НС:

1. Пожежі, вибухи;
2. Раптове обвалення будівель, споруд;
3. Геофізичні небезпечні явища (землетруси);
4. Метеорологічні та агрометеорологічні небезпечні явища;

Так як об'єкт досліджень являє собою модель електропостачання механічного цеху в програмному додатку Matlab Simulink, то найбільш ймовірною НС в даному випадку можна назвати пожежу в приміщенні де знаходиться комп'ютер. У кімнаті застосовується дороге обладнання, не горючі кабелі, що не виділяють дим. У такий спосіб виникнення пожеж відбувається через людський чинник, зокрема, це недотримання правил пожежної безпеки. Наприклад, замикання електропроводки - найчастіше теж людський чинник.

Дотримання сучасних норм пожежної безпеки дозволяє унеможливити виникнення пожежі в комп'ютерній кімнаті.

Відповідно до ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту" [22] межа вогнестійкості комп'ютерної кімнати має бути наступною:

- перегородки – повинні мати межу вогнестійкості щонайменше EI 45,
- стіни і перекриття – повинні мати протипожежні стіни 2-го типу – це негорюча перегородка з REI 45 (тобто, в умовах пожежі приміщення повинне залишатися герметичним протягом 45 хвилин, перешкоджаючи подальшому розповсюдженню вогню).

Приміщення комп'ютерної кімнати має бути окремим приміщенням, що функціонально не поєднане з іншими приміщеннями. Наприклад, не допускається в приміщенні комп'ютерної кімнати організувати міні-склад обладнання чи канцелярських товарів. При розробці проекту комп'ютерній кімнаті необхідно врахувати, що автоматичне встановлення пожежогасіння (АУПТ) має бути забезпечена електроживленням за першою категорією [22].

Відповідно до [22] у системах повітроводів загальнообмінної вентиляції, повітряного опалення та кондиціонування повітря приміщень, що захищаються, слід передбачати автоматично повітряні затвори, що закриваються при виявленні пожежі (заслінки або протипожежні клапани).

Таким чином, найбільш ймовірною надзвичайною ситуацією при проведенні досліджень є пожежа в комп'ютерному приміщенні. Її можна запобігти дотриманням правил пожежної безпеки, використанням надійного обладнання, систем пожежогасіння та вентиляції згідно з вимогами нормативних документів.

4.2.2. Аналіз ймовірних НС, які можуть виникнути при проведенні досліджень та обґрунтування заходів щодо запобігання

НС При проведенні досліджень найімовірнішою НС є виникнення пожежі у приміщенні. Пожежна безпека повинна забезпечуватись системами запобігання пожежі та протипожежному захисту, у тому числі організаційно-технічними заходами.

Основні джерела виникнення пожежі [23, 24]:

1) Непрацездатне електроустаткування, несправності в проводці, розетках та вимикачах. Для запобігання виникненню пожежі з цих причин необхідно вчасно виявляти та усувати неполадки, а також проводити плановий огляд електроустаткування.

2) Електричні прилади із дефектами. Профілактика пожежі включає своєчасний і якісний ремонт електроприладів.

3) Перевантаження в електроенергетичній системі (ЕЕС) та коротке замикання в електроустановці.

Під пожежною профілактикою розуміється це комплекс заходів, які спрямовані на запобігання пожежі, запобігання розповсюдженню вогню, передбачення можливих шляхів евакуації людей і матеріальних цінностей та створення умов для швидкої ліквідації пожеж [25].

Пожежна безпека забезпечується комплексом заходів:

– навчання, в т.ч. поширення знань про пожежобезпечне поведінці (про необхідність встановлення домашніх індикаторів задимленості та зберігання запальничок та сірників у місцях, недоступних дітям);

– пожежний нагляд, що передбачає розробку державних норм пожежної безпеки та будівельних норм, а також перевірку їх виконання.

Висновок до розділу 4

Проаналізовано економічну ефективність проєктованої системи електропостачання. Визначено основні статті витрат на обладнання, монтаж та експлуатацію системи. Розрахунки підтверджують економічну доцільність обраних технічних рішень.

Розглянуто питання охорони праці та вимоги електробезпеки. Проект передбачає використання обладнання, яке відповідає нормативам безпеки в умовах підвищеної шумності, запиленості та температури, що характерні для механічного цеху. Розроблено заходи щодо запобігання травматизму і дій у надзвичайних ситуаціях. Таким чином, система електропостачання відповідає як технічним, так і санітарно-гігієнічним вимогам, забезпечуючи комфортні й безпечні умови праці.

ВИСНОВКИ

1. У результаті виконаної роботи розроблено ефективну систему електропостачання ремонтно-механічного цеху, яка відповідає сучасним вимогам щодо енергоефективності, надійності та безпеки. Проект охоплює всі етапи – від аналізу технологічного процесу до вибору трансформаторів, апаратури захисту та елементів внутрішньоцехової мережі. Запропонована система враховує специфіку цехового навантаження, характеристики електроприймачів та умови навколишнього середовища.

2. Розрахунок електричних навантажень проведено з урахуванням фактичної встановленої потужності електроприймачів та коефіцієнтів використання, що дозволило визначити середнє і пікове навантаження цеху. Загальне електричне навантаження ремонтно-механічного цеху склало 668,5 кВт. Це забезпечило основу для грамотного вибору силового трансформатора та відповідного обладнання низьковольтного розподілу.

3. Для живлення цеху обґрунтовано обрано трансформатор ТМ-630 кВА з напругою 10/0,4 кВ, що відповідає розрахунковим навантаженням та забезпечує резерв у разі післяаварійного режиму. За критерієм питомої щільності навантаження і коефіцієнта завантаження трансформатор повністю відповідає умовам нормальної та аварійної експлуатації.

4. Виконано технічно обґрунтований вибір апаратури захисту – автоматичних вимикачів для кожної групи електроприймачів та для головного вводу. При цьому враховувалися пускові струми, коефіцієнти запасу, параметри теплових і електромагнітних розчіплювачів, а також умови селективності захисту. Автоматичні вимикачі типів ВА13, ВА51Г та ВА75-45 забезпечують надійне спрацювання в аварійних ситуаціях.

5. Здійснено вибір перерізів живильних кабелів відповідно до допустимих тривалих струмів, умов прокладання та механічного захисту. При цьому всі обрані кабелі забезпечують теплову стійкість і відповідають нормам ПУЕ. Для внутрішньоцехової мережі, а також для підключення розподільчих пунктів РП застосовано кабелі марок АВВГ і ААШВ з відповідним запасом за струмом.

6. Проведено аналіз напругових режимів і втрат напруги в розподільній мережі цеху в максимальному, мініальному та післяаварійному режимах роботи. Побудована епюра напругового відхилення підтвердила, що максимальні втрати не перевищують допустимих меж (5 %), що свідчить про правильність обраної конфігурації мережі. Також виконано розрахунок струмів короткого замикання, що дозволило уточнити параметри захисту та підтвердити достатність відключаючої здатності автоматів.

7. Проведено розрахунок витрат на реалізацію технічного проєкту з електропостачання цеху. Загальна сума кошторису витрат становить 105,56 тис. грн, з яких 64,7 %, або 68,34 тис. грн, припадає на витрати на оплату праці. Витрати на матеріали склали 25,0 тис. грн, витрати на спеціалізоване обладнання – 40,0 тис. грн, а накладні витрати, що розраховані як 16 % від суми основних витрат, становлять 14,56 тис. грн.