

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху
металообробної промисловості
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Анжела ПАНЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

(підпис)

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

ПАНЧЕНКО Анжела Едгарівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-
штампувального цеху металообробної промисловості

керівник роботи Бровко Костянтин Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4400

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика
електроприймачів, кількість та потужність електроприймачів напругою до 1 кВ

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Загальна характеристика
технологічного процесу проєктованого об'єкта; Розрахунок електричних
навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розміщення цехових трансформаторів
на площі цеху; Вибір схеми живлення цехових трансформаторів; Вибір схеми

внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ; Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань); Вибір марки і перетину струмоведучих частин; Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ; Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП; Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження; Охорона праці

5. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика технологічного процесу проєктованого об'єкта		
2	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ		
3	Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
4	Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів		
5	Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
6	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху		
7	Вибір схеми живлення цехових трансформаторів		
8	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою		
9	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)		
10	Вибір марки і перетину струмоведучих частин		
11	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ		
12	Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП		
13	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження		
14	Охорона праці		

6. Дата видачі завдання: «__» _____ 2026 року

Здобувач вищої освіти _____ Ангела ПАНЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто питання проєктування системи внутрішньоцехового електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної галузі.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ковальсько-штампувального цеху, її структура, режими роботи та елементна база.

Предмет дослідження – процеси розрахунку електричних навантажень, вибору компенсувальних пристроїв, силових трансформаторів, комутаційно-захисних апаратів і струмоведучих частин, а також забезпечення надійності, якості електроенергії та безпеки експлуатації цехової мережі.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено категорію надійності електроприймачів (II категорія). Виконано розрахунок електричних навантажень методом упорядкованих діаграм і визначено потужність компенсувальних установок у мережі 0,4 кВ. За результатами техніко-економічного порівняння обрано два цехові трансформатори потужністю по 1000 кВА, розташовані у «мертвій» зоні мостових кранів за принципом глибокого введення. Розроблено магістральну схему живлення з використанням блоків «трансформатор–магістраль» (БТМ) та розподільних шинопроводів. Обґрунтовано вибір автоматичних вимикачів, перерізів кабелів і шинопроводів, виконано перевірку за умовами нагріву, захисту та допустимої втрати напруги. Розраховано струми трифазного й однофазного короткого замикання, підтверджено чутливість захисних апаратів та їхню вимикаючу здатність. Перевірено відхилення напруги на шинах цехової підстанції – воно перебуває в допустимих межах. У розділі «Охорона праці» проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, запропоновано заходи з електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від шуму, вібрації та організації безпечної експлуатації. Прийняті проєктні рішення спрямовані на підвищення енергоефективності, надійності й безпеки системи електропостачання цеху.

Ключові слова: електропостачання, ковальсько-штампувальний цех, електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, трансформаторна підстанція, блок «трансформатор–магістраль», автоматичний вимикач, струми короткого замикання, якість електроенергії, електробезпека.

ABSTRACT

The thesis considers the issue of designing an in-house power supply system for a forging and stamping shop of a metalworking enterprise.

The object of the study is the power supply system of a forging and stamping shop, its structure, operating modes and element base.

The subject of the study is the processes of calculating electrical loads, selecting compensating devices, power transformers, switching and protective devices and current-carrying parts, as well as ensuring the reliability, quality of electricity and safety of operation of the shop network.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the shop was carried out and the reliability category of electrical receivers (category II) was determined. The calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams and the power of compensating installations in the 0.4 kV network was determined. According to the results of the technical and economic comparison, two shop transformers with a capacity of 1000 kVA each were selected, located in the "dead" zone of bridge cranes according to the principle of deep insertion. A main power supply circuit has been developed using transformer-main blocks (BTM) and distribution busbars. The choice of circuit breakers, cable cross-sections and busbars has been justified, a check has been performed for heating conditions, protection and permissible voltage loss. Three-phase and single-phase short-circuit currents have been calculated, the sensitivity of protective devices and their switching capacity have been confirmed. The voltage deviation on the shop substation buses has been checked - it is within permissible limits. In the "Occupational Safety" section, the main dangerous and harmful production factors have been analyzed, measures have been proposed for electrical safety, fire safety, protection against noise, vibration and the organization of safe operation. Design decisions have been made aimed at increasing the energy efficiency, reliability and safety of the shop power supply system.

Keywords: power supply, forging and stamping shop, electrical loads, reactive power compensation, transformer substation, transformer-main unit, circuit breaker, short-circuit currents, power quality, electrical safety.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	
ВСТУП.....	
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЯКИЙ ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	
2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ.....	
2.2. Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ....	
2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умови вибору оптимальної кількості цехових трансформаторів.....	
2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП	
2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху...	
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....	
2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах	
2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин.....	
2.7. Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів КЗ.....	

					ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ			
Зм	Лист	П.І.Б.	Під-	Дата				
Розробив	Панченко				Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості	Літ.	Лист	Лис-
Перевір.	Бровко							
						ДЕА-Е22		
Н контр								
Затвер.	Чернюк							

2.8. Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП.....	
2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання цеху промисловості.....	
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
ВИСНОВКИ.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕП	—	електроприймач
СЕП	—	система електропостачання
ТП	—	трансформаторна підстанція
КТП	—	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	—	підстанція
ГЗП	—	головна знижувальна підстанція
ПГВ	—	підстанція глибокого вводу
КРП	—	компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ	—	якість електричної енергії
ДЖ	—	джерело живлення
ККУ	—	комплектна конденсаторна установка
ДРП	—	джерело реактивної потужності
РП	—	реактивна потужність
КУ	—	конденсаторна установка

ВСТУП

Проект присвячений розробленню системи електропостачання ковальсько-штампувального цеху підприємства металообробної галузі.

Актуальність теми зумовлена тим, що в сучасних умовах виробництва дедалі більше уваги приділяють оптимізації режимів роботи об'єктів, зокрема режимів енергоспоживання. Водночас економічна ситуація в Україні, що супроводжується дефіцитом енергетичних ресурсів, вимагає розроблення та впровадження комплексних енергоощадних заходів на діючих виробництвах.

Головне завдання дипломного проєкту – опанувати методи розв'язання складних інженерних задач з електропостачання промислових підприємств із застосуванням новітніх досягнень науки й техніки.

Зниженню втрат електроенергії в мережах сприяють оптимальне завантаження елементів системи електропостачання – електроприводів, силових трансформаторів, а також вибір доцільних пристроїв компенсації реактивної потужності та їх раціональне розміщення.

Під час проєктування реалізовано такі рішення:

- застосовано принцип глибокого введення високої напруги та розукрупнення підстанцій;
- раціонально розміщено трансформатори по площі цеху;
- використано конденсаторні установки в мережах до 1 кВ, що дало змогу зменшити втрати активної потужності в елементах системи електропостачання;
- передбачено швидкодійні захисні апарати, які суттєво підвищують надійність внутрішньоцехової електромережі.

Одним із ключових критеріїв під час проєктування є економічна ефективність. Розроблена схема повинна потребувати мінімальних капіталовкладень і водночас відзначатися достатньою надійністю та гнучкістю.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Аналіз технологічного процесу є одним із ключових етапів проектування системи електропостачання цеху. Він дає змогу виявити вузли зі специфічним характером навантаження та визначити категорію надійності електроприймачів кожного вузла, що необхідно для подальшої побудови надійної схеми живлення. Вихідні умови для проектування системи електропостачання конвертерного цеху металургійної промисловості подано на рис. 1.1 і в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Встановлених потужностей характерних груп електроприймачів

Електроприймачі напру- гою до 1 кВ	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{n_{MIN}}}{P_{n_{MAX}}}$	F, m^2
Електромагнітні преси	$\frac{40}{900}$	$\frac{3}{80}$	
Кривошипні преси	$\frac{230}{750}$	$\frac{0,5}{10}$	
Вентилятори	$\frac{70}{560}$	$\frac{5}{20}$	
Насоси, компресори	$\frac{15}{1100}$	$\frac{10}{200}$	
Крани, тельфери, ПВ = 25%	$\frac{25}{250}$	$\frac{5}{40}$	
Крани, тельфери, ПВ = 40%	$\frac{45}{860}$	$\frac{5}{45}$	
Зварювальні машини шо- вного зварювання (потуж- ність дана в кВА)	$\frac{80}{900}$	$\frac{10}{40}$	
Елеватори, конвеєри збло- ковані	$\frac{50}{1000}$	$\frac{3}{100}$	
Площа цехів			12000

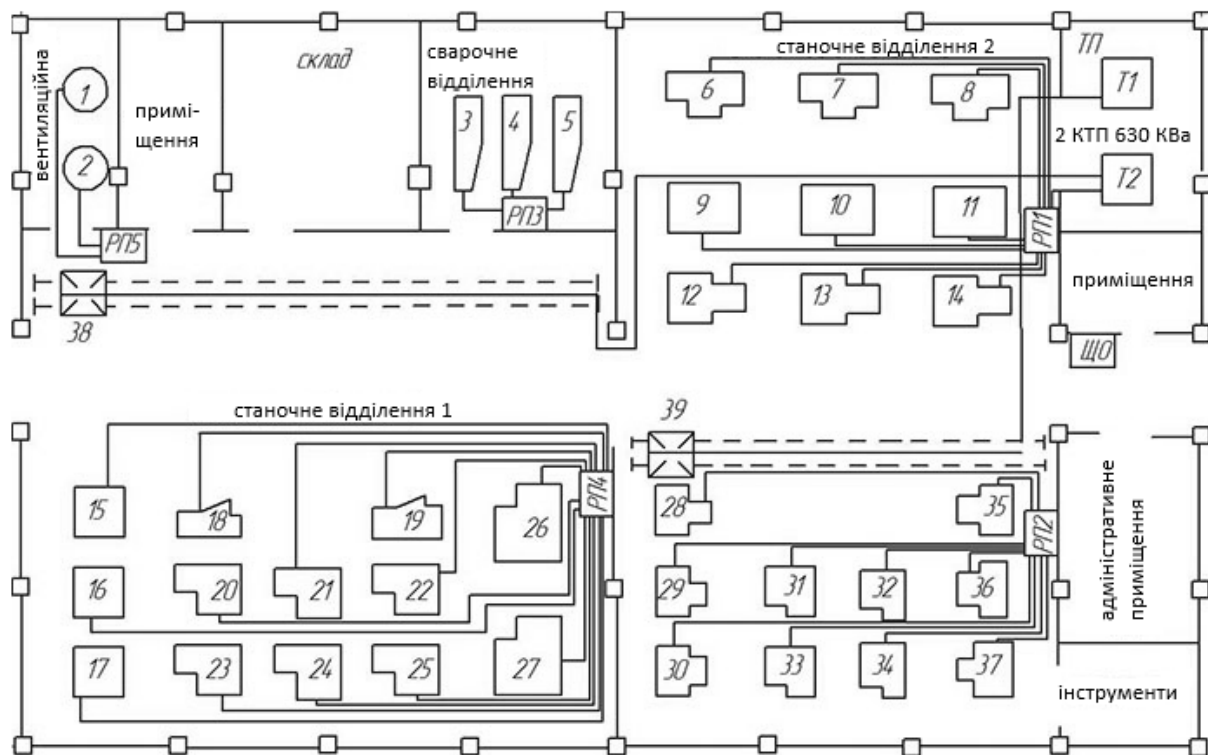


Рис.1.1 – План розташування силового обладнання в цеху

У цеху переважають споживачі другої категорії надійності. До цієї категорії належать електроприймачі, перерва в живленні яких спричиняє масовий недовипуск продукції, простій робітників і механізмів. Прикладами таких споживачів є загальноцехова витяжна вентиляція, транспортери, освітлювальні установки виробничих ділянок, ліфти тощо.

Електроприймачі другої категорії мають жити від двох незалежних джерел. Перерва в електропостачанні для них допускається лише на час, потрібний для ручного ввімкнення резервного живлення черговим персоналом.

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Точність визначення очікуваних електричних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники проекрованої системи електропостачання. Як необґрунтоване завищення, так і заниження розрахункових навантажень призводить до погіршення цих показників.

З огляду на електричну віддаленість проектованого вузла навантаження, яка визначається числом ступенів трансформації між цеховими трансформаторними підстанціями та основними джерелами живлення – шинами вторинної напруги 6(10) кВ головної знижувальної підстанції (ГЗП) або підстанції глибокого введення (ПГВ), розрахунок очікуваних навантажень виконують за методикою, поданою в «Вказівках з розрахунку електричних навантажень». При цьому обов'язково враховують вимоги чинних національних стандартів щодо параметрів електропостачання, зокрема ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення» та інших ДСТУ/EN, що регламентують проектування сучасних електроустановок.

У розрахунок застосовуємо метод упорядкованих діаграм, який нині є основним під час розроблення технічних і робочих проектів електропостачання.

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ

Згідно вихідних даних (табл.1.2.) електроприймачі цеху класифікуються по характерним групам (з однаковим коефіцієнтом використання K_u і коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

Наведемо паспортні данні окремих груп ЕП, які працюють в ПКР (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в кВт за виразом:

$$P_H = P_{насп} \sqrt{ПВ} = 250 \cdot \sqrt{0,25} = 125, \text{ кВт}$$

$$P_H = P_{насп} \sqrt{ПВ} = 860 \cdot \sqrt{0,4} = 543,9, \text{ кВт}$$

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_H = S_H \cdot \cos \varphi \sqrt{IIB} = 900 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{1} = 315, \text{ кВт}$$

і заносимо ці значення у відповідну колонку табл. 2.1.

Складаємо встановлені потужності вузла:

$$P_{H\Sigma} = 900 + 750 + 560 + 1100 + 125 + 543,9 + 315 + 1000 = 5293,9, \text{ кВт}$$

По кожній характерній групі ЕП визначаємо середнє змінне навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm_1} = P_{H_1} \cdot K_{u_1} = 900 \cdot 0,3 = 270, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm_1} = P_{cm_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 270 \cdot 1,17 = 315,7, \text{ квар}$$

де $\operatorname{tg} \varphi_1$ - відповідає середньому значенню $\cos \varphi$ для характерної групи ЕП (див. табл. 2.1). По інших групах розрахунки аналогічні, розраховуємо їх та результати заносимо до таблиці 2.1.

Складаємо середньо змінне навантаження по вузлу:

$$P_{cm\Sigma} = 270 + 225 + 392 + 770 + 22,5 + 97,9 + 94,5 + 600 = 2471,9, \text{ кВт}$$

$$Q_{cm\Sigma} = 315,7 + 263,1 + 294,0 + 577,5 + 44,7 + 194,3 + 252,9 + 612,1 = 2554,2, \text{ квар}$$

Визначаємо середньо важений (груповий) коефіцієнт використання по вузлу навантаження:

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} = \frac{2471,9}{5293,9} = 0,47$$

Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{ef} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{ni}}{P_{n \max}} = \frac{2 \cdot 5293,9}{200} = 53,$$

По значенням групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП визначаємо значення коефіцієнту розрахункового навантаження K_P .

$$K_P = 0,75$$

Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi} = 0,75 \cdot 2471,9 = 1853,9, \text{ кВт}$$

Враховуючи особливість споживання реактивної потужності ЕП, яка мало залежить від завантаження ЕП активною потужністю приймаємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi} = 2554,2, \text{ квар}$$

Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1853,9^2 + 2554,2^2} = 3156,1, \text{ кВА}$$

Визначаємо встановлену потужність освітлювальних ЕП:

$$P_{H.O.} = P_{уд.о.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 1200 \cdot 10^{-3} = 240 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункове навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{пра} = 240 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 250,8, \text{ кВт}$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 250,8 \cdot 0,33 = 82,8, \text{ квар}$$

Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності розраховуються і вносяться до відповідних граф табл. 2.1.

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

в мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність ККУ напругою до 1 кВ визначається по мінімуму приведених витрат двома послідовними розрахунковими етапами:

Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

№ п/п	Найменування характеристик груп ЕП	Вихідні дані	Паспортні дані				Довідкові дані		Середнє змінне навантаження за найбільше завантажену зміну		Ефективне число ЕП, n_{Σ}	Коеф. розрахованого навантаження, K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий максимум навантаження S_p , кВА	Розрахунок втрат струму, I_p, A
			ЕП, кВт		Ном. потужність характерних гр. ЕП	Коеф. використання станція, K_{Σ}	$\cos \varphi$ $tg \varphi$	$P_{\Sigma M}$ кВт	$Q_{\Sigma M}$ квар	P_p , кВт			Q_p , квар				
			Одн.ЕП $P_{\Sigma min}/P_{\Sigma max}$, кВт	Загальна P_{Σ} , кВт													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1.	Електромагнітні преси	40	3/80	900	900	0,3	0,65/1,17	270	315,7								
2.	Кривошипні преси	230	0,5/10	750	750	0,3	0,65/1,17	225	263,1								
3.	Вентилятори	70	5,/20	560	560	0,7	0,8/0,75	392	294,0								
4.	Насоси, компресори	15	10,/200	1100	1100	0,7	0,8/0,75	770	577,5								
5.	Крани, тельфери, $P_{\Sigma} = 25\%$	25	5,/40	250	125	0,18	0,45/1,98	22,5	44,7								
6.	Крани, тельфери, $P_{\Sigma} = 40\%$	45	5,/45	860	543,9	0,18	0,45/1,98	97,9	194,3								
7.	Зварювальні машини шовного зварювання, S_{Σ} , кВА	80	10,/40	900	315,0	0,3	0,35/2,68	94,5	252,9								
8.	Елеватори, конвеєри, зблоковані	50	3/100	1000	1000	0,6	0,7/1,02	600	612,1								
9.	Всього силові ЕП:	555	-	-	5293,9	$K_{\Sigma, ep} = 0,47$	-	2471,9	2554,2	53	0,75	1853,9	2554,2	3156,1	728,9		
10.	Освітлювальні ЕП: (площа цеху F=9600 м)	-	-	-	240,0	-	0,95/0,33	-	-	-	$K_{co} = 0,95$	250,8	82,8	264,1	61,0		
11.	Всього по цеху:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2104,7	2637,0	3420,2	789,9		

- вибором економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), тобто визначення потужності ККП – 0,38 кВ, що забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів, $Q_{нк1}$, квар;
- визначення додаткової потужності ККУ – 0,38 кВ в цілях оптимального зниження втрат в трансформаторах цехових ТП і мереж, що живлять їх, напругою вище 1 кВ, $Q_{нк2}$, квар, викликаних перетіканнями РП через цехові ТП.

Сумарна реактивна потужність ККУ – 0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар}$$

де $Q_{нк1}$ і $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ – 0,38 кВ, визначаємо на двох вказаних етапах розрахунку.

Сумарна потужність ККУ – 0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно їх реактивної потужності.

2.2.1. Визначення потужності компенсуючи пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Виходячи з результатів розрахунку електричних навантажень напругою до 1 кВ, маємо наступні значення навантажень (силове і освітлювальне):

$$P_{p\Sigma} = 2104,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = 2637 \text{ квар}$$

Вибираємо із шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1000 \text{ кВА}$.

Мінімальне число трансформаторів:

$$Nm.min = \frac{Pr.c. + Pr.o.}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{2104,7}{0,705 \cdot 1000} = 2,99 + 0,01 = 3 \text{ шт}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{опт} = Nm.min + m, \text{ шт}$$

Визначаємо додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Nonm = Nm.min = 3 \text{ шт}$$

Найбільша реактивна потужність, квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Qm = \sqrt{(\beta \cdot N_{ont} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2} = \sqrt{(0,705 \cdot 3 \cdot 1000)^2 - 2104,7^2} = 208,5 \text{ квар}$$

Сумарна потужність НБК, квар, для даної групи трансформаторів, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Qm = 2637 - 208,5 = 2428,5 \text{ квар}$$

Потужність НБК, яка приходить на один цеховий трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{Nonm} = \frac{2428,5}{3} = 809,5 \text{ квар}$$

По цій величині вибираємо із табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: ККУ-0,38-500-150+ ККУ-0,38-300-150

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок буде складати:

$$Q''_{НК1.СПР} = Nonm \cdot Q'_{НК1.СПР} = 3 \cdot 800 = 2400 \text{ квар}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР} = 2637 - 2400 = 237 \text{ квар}$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{НК2}$, з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{НК2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_{HT} = 237 - 0,44 \cdot 3 \cdot 1000 = -1083, \text{ квар}$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за кривими 4.9. [1], виходячи зі значень K_1 (табл.4.6. [1]) и K_2 (табл.4.7. [1])

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 7; \quad \gamma = 0.44;$$

Оскільки $Q_{HK2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність Q_{HK2} приймається рівною нулю.

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Місце розташування цехових трансформаторів визначають за сукупністю таких чинників, як щільність електричних навантажень цеху, просторове розміщення технологічного устаткування (з урахуванням можливого встановлення компенсувальних пристроїв безпосередньо в цеху) та мікрокліматичні умови, зумовлені особливостями технологічного процесу.

Практичний досвід проєктування, монтажу й експлуатації цехових трансформаторних підстанцій (ТП), а також результати теоретичних досліджень дають доволі чіткі рекомендації щодо вибору їхнього розташування. Насамперед рекомендовано застосовувати комплектні трансформаторні підстанції (КТП), які уможлиблюють індустріальний монтаж, незалежний від будівельної частини. Розміщення КТП якомога ближче до центрів навантажень забезпечує максимальну економію кольорових металів і зниження втрат електроенергії в цехових мережах. Принцип розукрупнення підстанцій із максимальним наближенням їх до центрів навантажень дає змогу вирішувати завдання енергозбереження вже на стадії проєктування.

Залежно від умов навколишнього середовища та специфіки технологічного процесу цехові ТП можуть мати різне виконання: внутрішньоцехове (закрите), вбудоване, прибудоване або окремо розташоване.

Оскільки проєктований вузол навантаження належить до конверторного цеху, прийнято схему внутрішньоцехового розміщення трансформаторів. При цьому слід ураховувати, що внутрішньоцехові ТП розташовують у мертвій (необслуговуваній) зоні роботи мостових кранів.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

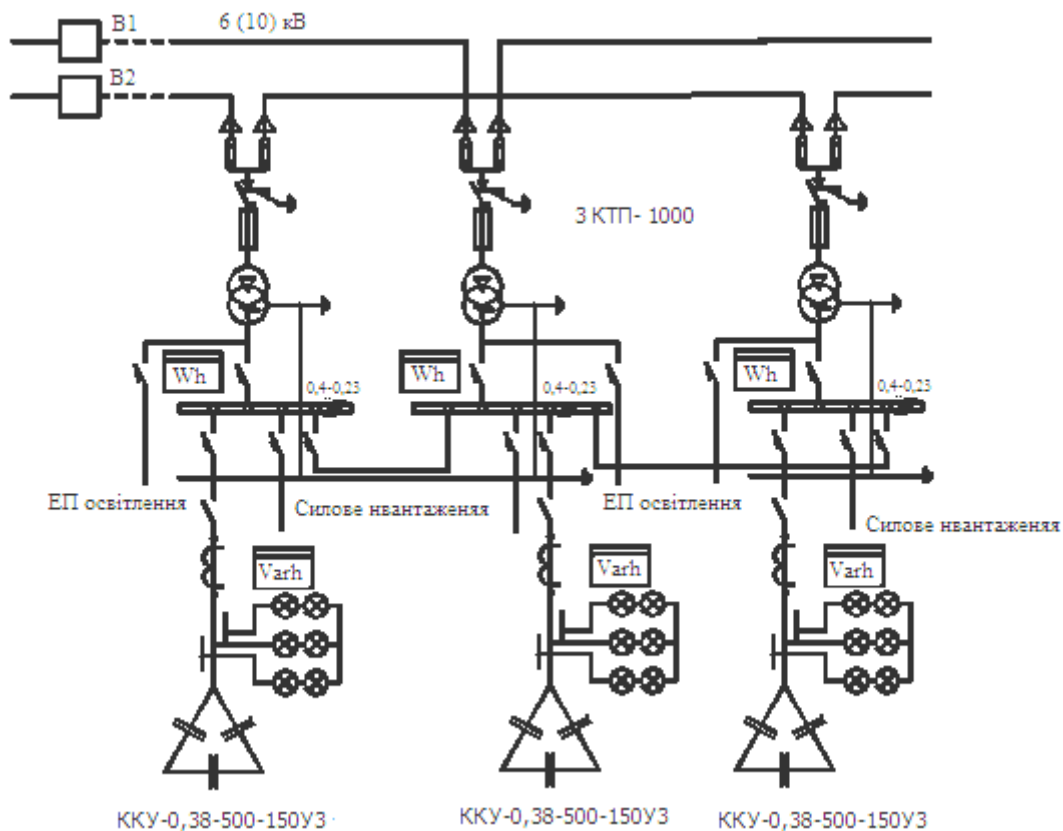


Рис. 2.1 – Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схему живлення цехових трансформаторів обирають залежно від їхньої кількості, розташування на площі цеху та категорії надійності під'єднаних навантажень. Згідно з рекомендаціями, цехові трансформатори доцільно живити подвійними наскрізними магістралями, приєднуючи до однієї магістралі: 2–3 трансформатори за їхньої встановленої потужності 1600–2500 кВА та 3–4 трансформатори – за меншої потужності. Якщо встановлено лише два трансформатори, їхнє живлення виконують за радіальною схемою.

Останнім часом, у разі розташування трансформаторних підстанцій у центрах електричних навантажень, у мережах до 1 кВ значного поширення набула схема БТМ (блок «трансформатор–магістраль»), показана на рис. 2.2.

Мережа, виконана за схемою БТМ з використанням шинопроводів, є простішою, оскільки комплектна трансформаторна підстанція (КТП) може не мати розподільного пристрою низької напруги (РП НН). У такій конфігурації від трансформатора КТП безпосередньо відходить магістральний шинопровід (ШМА), що передає електроенергію до кількох розподільних шинопроводів (ШРА) або безпосередньо до окремих електроприймачів. Схеми БТМ широко застосовують для живлення цехових мереж механічних цехів машинобудівних підприємств з поточковим виробництвом.

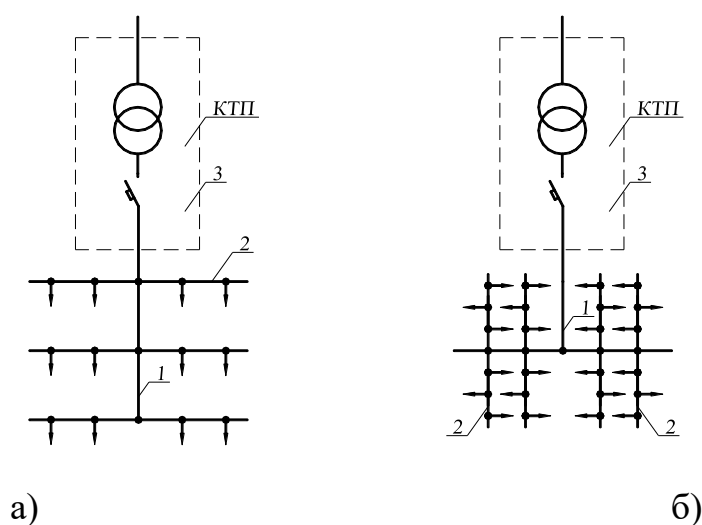


Рис. 2.2 - Схеми БТМ

б – вихід магістралі в одному напрямку;

в – вихід магістралі в двох напрямках;

1 – магістраль, що живить; 2 – розподільчі шинопроводи; 3 – апаратура управління та захисту.

По своїй структурі схеми шинопроводів мереж можуть бути радіальними, магістральними і змішаними (рис. 2.3).

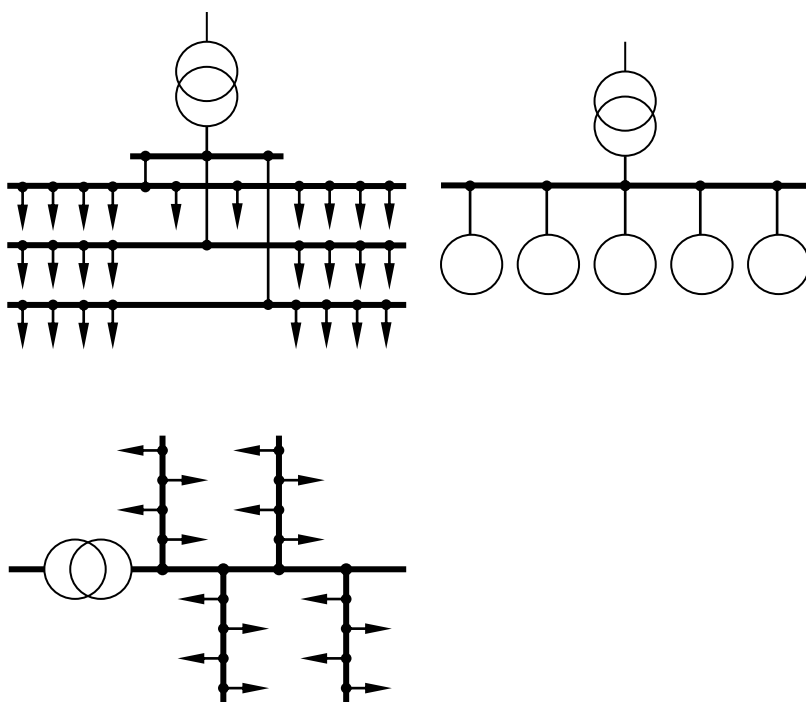


Рис. 2.3 – Схема живлення ЕП: радіальна, магістральна, змішана схема живлення ЕП

2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах

Вибір параметрів і типу автоматів, виходячи з розрахункової схеми, рис. 2.4, де вказані місця розміщення автоматів і їх призначення.

Параметри вимикачів QF4–QF7 прийнято однаковими, оскільки вони захищають електроприймачі, приєднані до розподільних шинопроводів ШРА1–ШРА4, навантаження яких розподілене рівномірно.

QF8 виконує функцію ввідного автомата, і його характеристики визначають за встановленою потужністю трансформатора з урахуванням допустимих перевантажень. QF9 є секційним вимикачем, і його параметри приймають аналогічними до параметрів ввідного автомата.

Вибір захисних характеристик для QF1–QF3 розпочинають із визначення номінальних струмів двигунів, які підлягають захисту. За довідником [3] обирають тип і потужність двигунів, а на їх основі – відповідні номінальні струми:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А};$$

$$I_{н.дв.} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 93,9 \text{ А};$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

За довідником [3] визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 93,9 = 563,4 \text{ А};$$

За результатами розрахунків до встановлення приймаємо автоматичний вимикач типу А3710, номінальні параметри якого подано в таблиці 10.4 [2]. У разі вибору номінального струму комбінованого електромагнітного розчіплювача цього автомата, вбудованого в шафу, слід урахувувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.розч.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, \text{ А};$$

$$I_{н.розч.} = \frac{93,9}{0,85} = 110,5 \text{ А};$$

Вибираємо розчіплювача з номінальним струмом $I_{н.расц.} = 120 \text{ А}$.

Встановлюємо неможливість спрацювання (відстроюємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{сер.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \text{ А};$$

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{сер.ел.} = 1,25 \cdot 563,4 = 704,2 \text{ А.}$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 1000А.

Розраховуємо навантаження шинопроводу ШРА-73-1.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів:

$$I_{P.ШРА-1} = \sum_1^3 I_{НОМ.ДВ.} = 202 \text{ А;}$$

Піковий струм шинопроводу визначається виходячи з умови пуску найбільше потужного двигуна, який приєднано до шинопроводу:

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_1^{n-1} I_{НОМ.ДВ.} = 563,4 + 60,9 + 47 = 671,3 \text{ А}$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{н.розч.} \geq I_{P.ШРА-1}$$

Перевіряємо неможливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (настройки від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{пик} \leq I_{сер.ел.розч.} \text{ . Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.}$$

Вибір ввідного автомата. Ввідні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з врахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі, згідно ГОСТ 14209 89.

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2129 \text{ А.}$$

По струму післяаварійного режиму з врахуванням поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата з незалежною від величини струму витримкою часу при к.з.:

$$\frac{I_{н.ав.}}{0,85} \leq I_{н.розч.}$$

$$2500 \leq 2500$$

Приймаємо до установки автомат ЕО-25, $I_{н.а.} = 2500 \text{ А.}$

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2

Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність, Р _н , кВт / Розрах. навант. Р _р , кВт; S _p , кВА	Ном. струм, I _н , А / Розр. струм I _р , А	Кратність пуску, I _п , А	Пуск. струм, I _п , А	Тепл. погр. ав. коеф. I _п , А	Ном. струм розч., I _р , А	Струм розч., I _р , А	Тип автомата, I _н , А	Коеф. зах. К _з	Доп. струм СВЧ, I _с , А	Перевірка вибраного перерізу за умови I _{дл.ном.} ≥ K _з · I _с	Остаточна вибраний марка і переріз СВЧ, мм ²	Перевірка по втраті напруги	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF1	ШРА-1-АД-1	50	93,9	6	563,4	0,85	110,5	120	1000	A3710/160	1	93,9	200	ABBГ(3*25)	6,5
QF2	ШРА-1-АД-2	32	60,9	6	365,4	0,85	71,6	100	1000	A3710/160	1	60,9	200	ABBГ(3*25)	7,1
QF3	ШРА-1-АД-3	22	47	6	282	0,85	55,3	60	630	A3710/60	1	47	90	ABBГ(3*16)	3,2
QF4	ШМА-ШРА-1	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF5	ШМА-ШРА-2	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF6	ШМА-ШРА-3	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF7	ШМА-ШРА-4	-	202	-	671,3	0,85	789,8	400	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF8	Тр-р-ШМА	1000	2129	-	-	-	-	2500	4000	ЭО-25	-	2500		ШМА-73	
QF9	Секційний	-	1503	-	-	-	-	1600	3000	ВА-55-43/1600	-	1600		ШМА-73	

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на рівень нижче за ввідний автомат:

$$I_{p.секції} = \frac{(0,6 \div 0,7) I_{n.ав}}{0,85}, \text{ А}$$

Приймаємо до установки автомат типа ВА – 55 – 43, $I_{n.ав.} = 1600 \text{ А}$.

2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин

Підбираємо по таблиці. 5.6. [2] трижильний кабель з алюмінієвими жилами марки АВВГ перетином 35 мм^2 , для якого тривало допустимий струм дорівнює 200 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

$$I_{тр.дон} \geq k_3 \cdot I_3$$

$$110,5 \geq 1 \cdot 120 \text{ А}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Аналогічно вибираємо переріз проводів до двигунів АД2 і АД3.

Далі вибираємо переріз шинопроводу розподільчий типу ШРА – 73, $I_{ном} = 400 \text{ А}$, за тими ж умовами, що і кабель. Здійснимо перевірку вибраних переріз по втраті напруги:

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot 110,5 \cdot 0,05 \cdot (0,92 \cdot 0,62 + 0,06 \cdot 0,79) = 4,2 \text{ В}$$

Оскільки КУ підключені до шин вторинної напруги цехові ТП, перетоки РП знижуються в мережі до місця їх приєднання і не впливають на режим РП в мережі 0,38 кВ. Тому значення коефіцієнту активної потужності $\cos \varphi$ визначаємо по розрахунковому силовому навантаженню (табл. 2.1.):

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{2104,7}{3420,2} = 0,62; \quad \sin \varphi = 0,79$$

Проведені розрахунки підтвердили, що обрані перерізи проводів відповідають встановленим вимогам. Усі результати обчислень систематизовано в таблиці 2.2.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Водночас, оскільки характер навантаження та умови навколишнього середовища в різних цехах неоднакові, для забезпечення високої надійності внутрішньоцехового електропостачання виконано додаткову перевірку обраних перерізів струмоведучих частин з урахуванням цих особливостей.

2.7. Розрахунок струмів КЗ в мережі до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання

Метою розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) в мережах напругою до 1 кВ є перевірка вибраних автоматичних вимикачів та шинопроводів на стійкість до дії струмів КЗ, а також усіх типів захисних апаратів (автоматів і запобіжників) за граничним струмом вимкнення та чутливістю захисту.

Особливостями розрахунків струмів КЗ у мережах до 1 кВ є:

- обчислення виконують в іменованих одиницях;
- під час розрахунку необхідно враховувати активні та індуктивні опори всіх елементів короткозамкненого кола: провідників, трансформаторів струму, струмових котушок автоматів, а також опори дуги, контактів і контактних з'єднань.

Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

Питомі опори елементів мережі наведено в таблиці 2.3.

Опори (питомі) елементів мережі

Опори послі- довно- стей	Питомі опори МОм/м	СВЧ			Трансформа- тори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш1) (35м)	ШРА 400 (Ш2) (20м)	Кабель АВВГ (3*35) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF3	QF 4	QF 8
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Ну- льова	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза- нуль	r _{Ф-0}	0,067	0,262	4					
	x _{Ф-0}	0,056	0,294	0,15					

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ МОм}$$

Параметри трансформатора ТМ-1000-10/0,4; U_к = 5,5 %, ΔP_{к.з.} = 7,6 кВт.

$$r_{IT} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 2,07 \text{ МОм};$$

$$x_{1m} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{1000} \right)^2} \cdot \frac{0,4^4 \cdot 10^2}{1000} = 9,2 \text{ МОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 2,07 + 0,14 + 0,05 = 2,26 \text{ МОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 9,2 + 0,08 + 0,07 = 10,65 \text{ МОм}.$$

$$I_{IO}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,26^2 + 10,65^2}} = 10,3 \text{ кА}.$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення:

$$I_{н\partial\theta\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)} \quad 225 \leq 0,1 \cdot 10300$$

Таким чином вплив двигуна в місці к.з. можна не враховувати.

Струм однофазного к.з. в точці К – 2 розраховується за формулою:

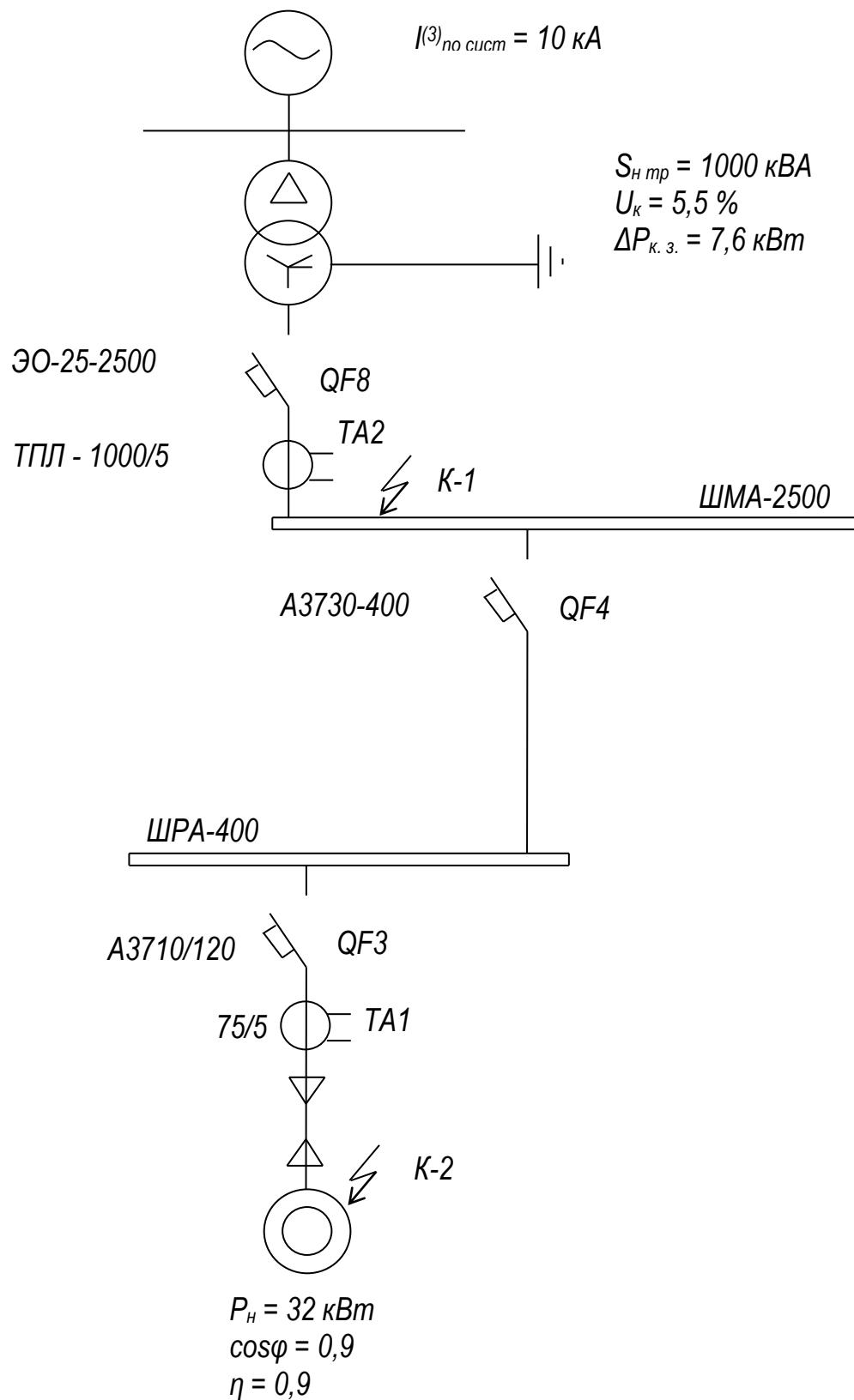


Рис. 2.5 – Розрахункова схема

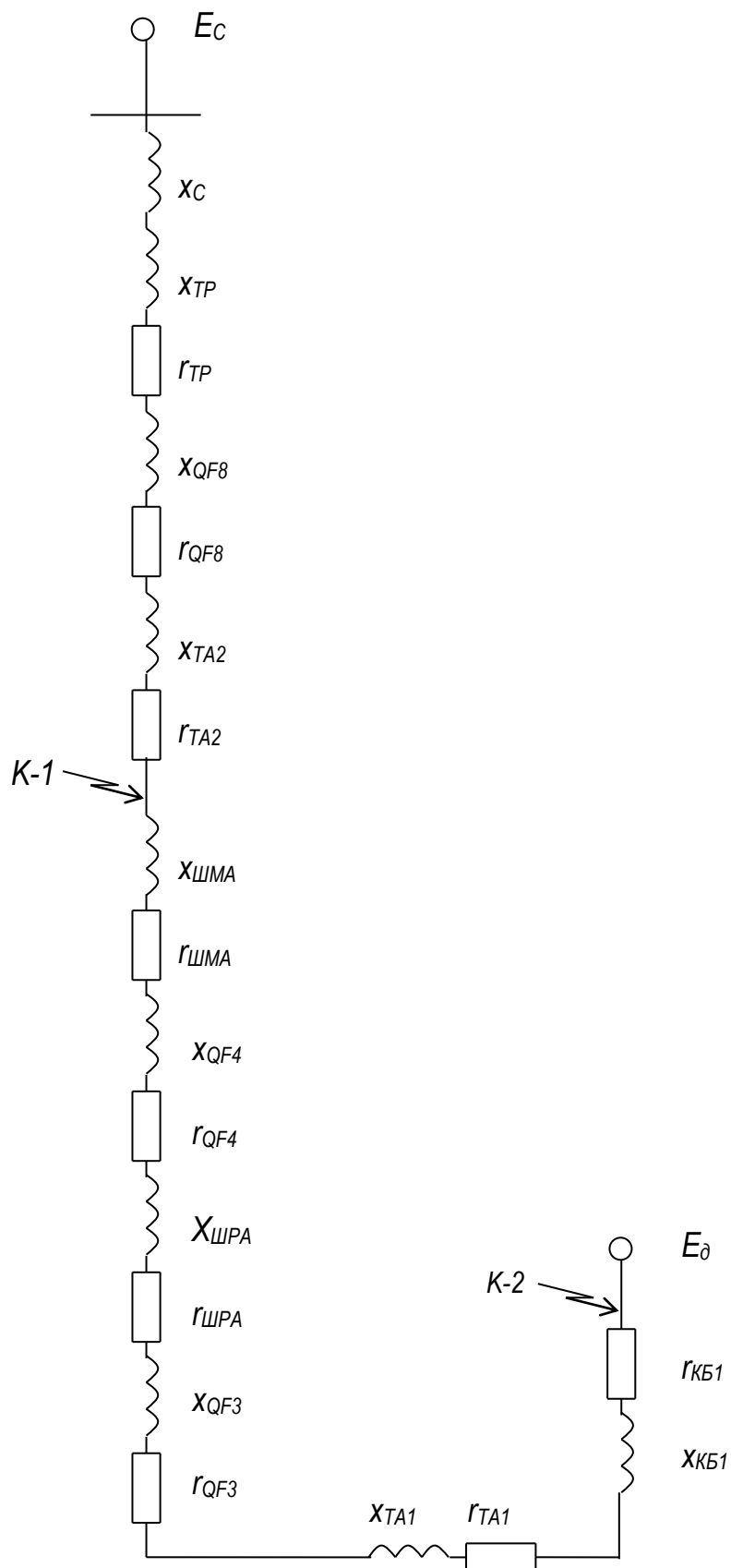


Рис.2.6 – Схема заміщення

Якщо електропостачання електроустановки напругою до 1 кВ здійснюється від енергосистеми через знижуючі трансформатори, то значення періодичної складової струму однофазного К.З. від системи ($I_{по}^{(1)}$) в кіло амперах розраховують по наступній формулі:

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{CP.HH}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}^1 + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma}^1 + x_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА}$$

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 124,28 + 61,58)^2 + (2 \cdot 35,63 + 24,15)^2}} = 2,13 \text{ кА.}$$

де $r_{1\Sigma}$ і $x_{1\Sigma}$ - визначається:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1KB}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1KB}$$

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 20 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 1,28 = 36,7 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 20 \cdot 0,17 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,06 = 24,79 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-H.III1} + r_{\phi-H.III2} + r_{1KB}) = 36,7 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 124,28 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-H.III1} + x_{\phi-H.III2} + x_{1KB}) = 24,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 20 \cdot 0,15) = 35,63 \text{ мОм};$$

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} = \\ = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 61,58 \text{ мОм};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0KB} = \\ = 13,7 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 24,15 \text{ мОм.}$$

Перевірка автоматів по граничному струму відключення:

$$I_{пред.відкл.} \geq I_{п.о.}^{(3)},$$

де $I_{п.о.}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання.

$$75 \geq 10,3 \text{ кА}$$

Умова виконується, граничний струм відключення автомата АЗ710 -

$$I_{пред.откл} = 75 \text{ кА}$$

Перевірка автоматів на чуттєвість захисту: $I_{п.о.}^{(1)} \geq K \cdot I_v$,

де $I_{п.о.}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. в електрично віддаленій ділянці мережі, що захищається,

$$2,13 \geq 1,25 \cdot 1,$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чуттєвість захисту.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

Нормально допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги складає $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах НН і ВН (напруга до 20 кВ) $\pm 10\%$.

$$S_{нтр} = 1000 \text{ кВА}; U_{кз} = 5,5\%; \Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт.}$$

Навантаження трансформатора розраховується за формулою:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{\min}}$$
$$S_p = \frac{\sqrt{2104,7^2 + 237^2}}{3} = 697,1 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначається, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск}}{P_{p\Sigma}}$$
$$\operatorname{tg} \phi = \frac{237}{2104,7} = 0,11.$$

Слід $\cos \varphi = 0,99$, $\sin \varphi = 0,11$.

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ кВ}$.

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_n = 0$)

Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його відгалуження $+2,5\%$ ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 2,5\%$).

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_m = \frac{697,1}{1000} \cdot \left(\frac{7,6}{1000} \cdot 0,99 + 0,055 \cdot 0,11 \right) = 0,009 = 0,9\%$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з врахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 0,9 = 4,1 \text{ \%}.$$

Отримане значення знаходиться в межах норми.

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Етапи проектування внутрішньоцехових СЕП були викладені в ході виконання дипломного проекту.

Результатом проектування є однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання (рис.2.7) і розгорнута схема силової мережі ділянки цеху заводу – (рис.2.8)

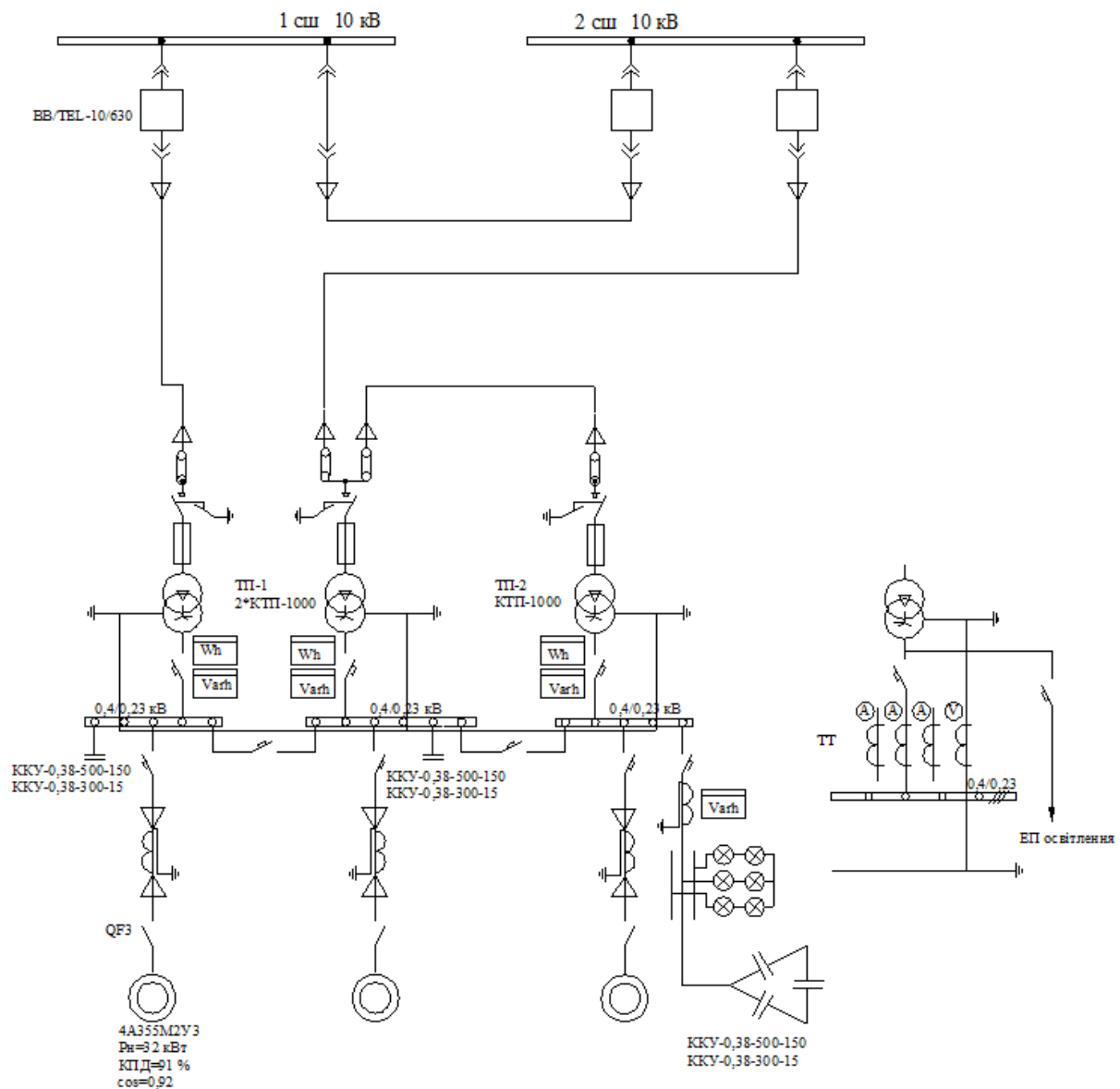


Рис.2.7. Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

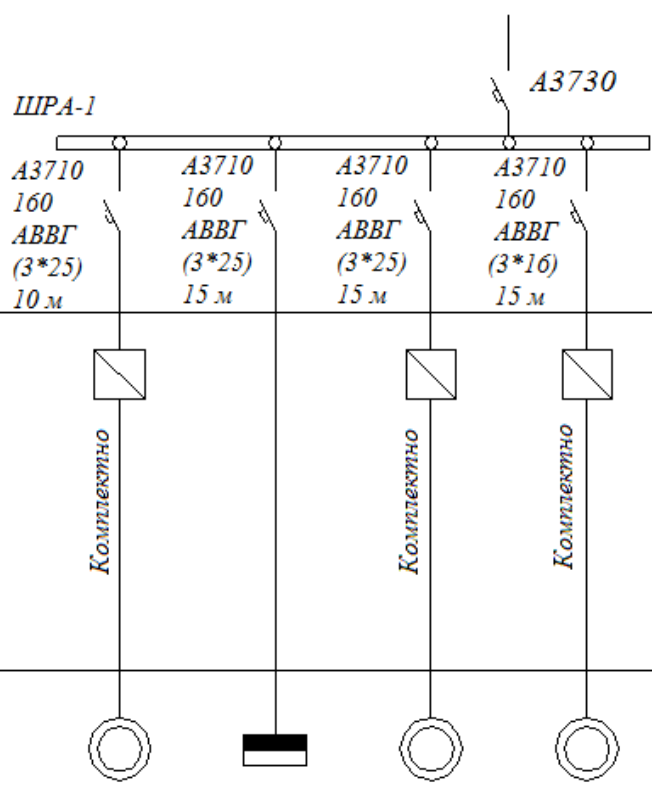
Дані живлячої мережі							
Шинорозподільчий тип, Іном, А	Автомат	Ввідний	Тип, номінальний струм, А				
			Номінальний струм розчеплювача Ід, А				
			Тип, номінальний струм, А				
			Номінальний струм розчеплювача Ід, А				
Марка і перетин СВЧ (провід, кабель)				A3710	A3710	A3710	A3710
Довжина ділянки мережі, м				160	160	160	160
Тип і номінальний струм пускового апарату, тип теплового захисту				АВВГ (3*25)	АВВГ (3*25)	АВВГ (3*25)	АВВГ (3*16)
Марка і перетин СВЧ (провід, кабель)				10 м	15 м	15 м	15 м
Довжина ділянки мережі, м				Комплектно	Комплектно	Комплектно	Комплектно
Електроприймач							
	Номер за планом			10	12	15	19
	Тип			4A355M2V3	РШ-1	4A28006V3	4A225M2V3
	Номінальна потужність			55	20	75	11
	Струм, А	Іном/Іпуск		99/594		70/420	56/336
Назва механізму (шафи, розподільчого щита)				Механізм електромагнітного пресу	РШ-1	Компресор	Вентилятор

Рис. 2.8 – Розгорнута схема силової мережі ділянки механічного цеху машинобудівного заводу

ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ «Охорона праці» складено відповідно до Закону України «Про охорону праці», Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), а також з урахуванням галузевих норм і стандартів. Проектована система електропостачання ковальсько-штампувального цеху належить до електроустановок напругою до та понад 1 кВ. Під час виконання робіт персонал може зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів: підвищеного значення напруги в електричному колі, підвищеної температури поверхонь обладнання, підвищеного рівня шуму й вібрації від ковальсько-пресового устаткування, недостатньої освітленості, а також наявності рухомих частин механізмів. Організація робіт повинна забезпечувати безпеку персоналу та безаварійну експлуатацію обладнання.

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

- Фізичні: підвищена напруга електричного струму, шум, вібрація, підвищена температура повітря робочої зони, недостатнє освітлення.
- Хімічні: аерозолі мастил, окалина, продукти згоряння (за наявності нагрівальних печей) – необхідне застосування припливно-витяжної вентиляції.
- Психофізіологічні: монотонність праці, нервово-емоційне напруження під час керування пресами.

Електробезпека

Усі електроустановки спроектовано відповідно до ПУЕ. Для захисту від ураження електричним струмом передбачено:

- захисне заземлення (занулення) металевих неструмовідних частин;
- застосування автоматичних вимикачів із комбінованими розчіплювачами, що забезпечують швидке вимкнення пошкодженої ділянки;

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

- використання трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток Δ/Y_0-11 , яка підвищує чутливість захисту при однофазних замиканнях;
- розташування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) у мертвій зоні мостових кранів для унеможливлення випадкового дотику до струмовідних частин;
- вибір обладнання зі ступенем захисту, що відповідає умовам середовища (пил, підвищена температура).

Перерізи провідників перевірено на термічну стійкість до струмів короткого замикання, що підтверджує їхню безпечну експлуатацію.

Пожежна безпека

У цеху наявні нагріте масло, горючі мастильно-охолоджувальні рідини, що зумовлює підвищену пожежну небезпеку. Проектом передбачено:

- застосування герметичних масляних трансформаторів (тип ТМЗ) або сухих трансформаторів, які знижують ризик займання;
- встановлення автоматичних вимикачів із належними захисними характеристиками, що запобігають перевантаженням і КЗ;
- використання кабелів з негорючою ізоляцією;
- компонування КТП з урахуванням протипожежних розривів та доступу для гасіння;
- первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, ящики з піском) поблизу електрощитових і трансформаторних підстанцій.

Захист від шуму та вібрації

Основними джерелами шуму є ковальські молоти, преси, вентиляційні установки. Для зниження рівня шуму передбачено:

- звукоізолюючі кожухи на особливо гучне обладнання;
- розміщення вентиляторів у звукоізованих камерах;
- застосування індивідуальних засобів захисту (беруші, навушники).

Зменшення вібрації досягається правильним монтажем устаткування на віброізолюючі опори й фундаменти.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Мікроклімат і вентиляція

Ковальсько-штампувальне виробництво супроводжується значними тепло-виділеннями. Проектом передбачено загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію з механічним спонуканням, а також місцеві витяжки над нагрівальними печами. Мікроклімат у робочій зоні повинен відповідати санітарним нормам (температура, вологість, швидкість руху повітря). Для захисту від теплового випромінювання біля печей встановлюють теплові екрани.

Освітлення

Для забезпечення нормованої освітленості (згідно з ДБН) передбачено комбіноване освітлення: загальне рівномірне світильниками з газорозрядними лампами та місцеве освітлення безпосередньо на робочих місцях біля пресів. Рівень освітленості контролюється з урахуванням чутливості освітлювальних установок до відхилень напруги (зниження напруги на 5 % зменшує світловий потік ламп розжарювання на 20 %).

Організаційні заходи

До обслуговування електроустановок допускається електротехнічний персонал, який пройшов медичний огляд, навчання, інструктажі та перевірку знань. Роботи виконуються за нарядами-допусками або розпорядженнями. На підприємстві повинна бути розроблена система оперативного перемикавання з оформленням відповідної документації. Передбачено щорічне проведення протиаварійних тренувань і повторних інструктажів з охорони праці.

Прийняті в дипломному проєкті технічні рішення – використання КТП із глибоким введенням напруги, швидкодійних захисних апаратів, раціональне розміщення трансформаторів та застосування конденсаторних установок — не лише сприяють енергозбереженню, а й підвищують рівень безпеки. За дотримання передбачених організаційно-технічних заходів система електропостачання цеху відповідатиме сучасним вимогам охорони праці, що забезпечить захист персоналу від небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Метою проектування внутрішньоцехової системи електропостачання було забезпечення електроприймачів необхідною кількістю електроенергії належної якості із впровадженням енергоощадних заходів, а саме:

- застосування принципу глибокого введення та розукрупнення підстанцій;
- раціонального розміщення трансформаторів по площі цеху;
- використання конденсаторних установок у мережі до 1 кВ, що дало змогу скоротити втрати активної потужності в елементах системи електропостачання;
- застосування швидкодіючих захисних апаратів, які суттєво підвищують надійність внутрішньоцехового електропостачання.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Діючі галузеві нормативні документи у галузі будівництва для використання на об'єктах електроенергетичної галузі. Показчик. Режим доступу: https://ua.energy/uchasnikam_rinku/dokumenty
2. СОУ-Н ЕЕ 20.178-2008 «Схеми принципів електричних розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова». Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненергосполучення України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
4. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання / Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ» 2012 – 250 с.
5. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
6. ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2015. 31 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 20 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 3582:2013 Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. [Чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ, 2014. 17 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ, 2005. 55с.

				ЕТ та ЕЕ 4815.034.000 ПЗ	Лист
Н.					
Затверд.	№докум.	Підпис	Дата		