

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет (навчально-науковий інститут) 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
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

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

Здобувач _____ Роман КОЛЕТВИНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Факультет (навчально-науковий інститут) 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))

Колетвінов Роман Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи

(назва освітньої програми)

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

керівник роботи Кирисов Ігор Геннадійович, PhD

(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: «01» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: найменування електроспоживачів напругою до 1 кВ, мінімальна та максимальна потужність цих споживачів, кількість споживачів, їх номінальна потужність, режим роботи електроспоживачів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

1.) Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкту.

2.) Електричні розрахунки.

3.) Охорона праці

5. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу споживачів, характеристика їх по безперебійності	25.02.26-10.03.26	
2	Електричні розрахунки	11.03.26-15.04.26	
3	Охорона праці	16.04.26-30.04.26	
4	Розробка роздаткового матеріалу	01.05.26-14.05.26	
5	Оформлення пояснювальної записки	15.05.26-01.06.26	

6. Дата видачі завдання: «16 » грудня 2025 року

Здобувач вищої освіти _____ Роман КОЛЕТВИНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Проектування системи електропостачання вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості» складається з 55 сторінок, містить 2 рисунків, 4 таблиць, ___ додатків та 32 найменувань використаних джерел.

Метою роботи є розроблення системи електропостачання вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху, яка забезпечує надійне та безпечне електропостачання технологічного обладнання відповідно до вимог чинних нормативних документів.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз технологічного процесу та складу електроспоживачів ковальсько-штампувального цеху. Визначено категорії надійності електроприймачів і проведено розрахунок електричних навантажень. На підставі отриманих результатів обґрунтовано вибір схеми електропостачання, вибрано силові трансформатори, кабельні лінії та розподільче обладнання.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання у характерних точках електричної мережі та здійснено вибір комутаційної і захисної апаратури. Виконано перевірку обладнання за умовами тривалого навантаження та дії аварійних струмів.

У роботі розроблено заходи щодо компенсації реактивної потужності, спрямовані на підвищення коефіцієнта потужності та зменшення втрат електричної енергії. Проведено оцінку техніко-економічної ефективності прийнятих проєктних рішень.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці та електробезпеки під час експлуатації електроустановок ковальсько-штампувального цеху. Розглянуто організаційні та технічні заходи щодо захисту персоналу від небезпечних виробничих факторів та ураження електричним струмом.

У результаті виконання роботи розроблено систему електропостачання, яка забезпечує надійне живлення технологічного обладнання, відповідає вимогам нормативної документації та сприяє підвищенню ефективності використання електричної енергії на підприємстві.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств металообробної промисловості.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОВАЛЬСЬКО-ШТАМПУВАЛЬНИЙ ЦЕХ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic "Design of the power supply system of the load node of the forging and stamping shop of the metalworking industry" consists of 55 pages, contains 2 figures, 4 tables, ___ appendices and 32 names of sources used.

The purpose of the work is to develop a power supply system of the load node of the forging and stamping shop, which provides reliable and safe power supply of technological equipment in accordance with the requirements of current regulatory documents.

The qualification work analyzes the technological process and the composition of electricity consumers of the forging and stamping shop. The reliability categories of electrical receivers are determined and the calculation of electrical loads is carried out. Based on the results obtained, the choice of the power supply scheme is justified, power transformers, cable lines and distribution equipment are selected.

The calculation of short-circuit currents at characteristic points of the electrical network is carried out and the selection of switching and protective equipment is carried out. The equipment was tested under conditions of long-term load and emergency currents.

The work developed measures to compensate for reactive power, aimed at increasing the power factor and reducing electrical energy losses. An assessment of the technical and economic efficiency of the adopted design solutions was carried out.

A separate section is devoted to issues of labor protection and electrical safety during the operation of electrical installations of the forging and stamping shop. Organizational and technical measures to protect personnel from hazardous production factors and electric shock were considered.

As a result of the work, a power supply system was developed that provides reliable power supply to technological equipment, meets the requirements of regulatory documentation and contributes to increasing the efficiency of using electrical energy at the enterprise.

The practical value of the work lies in the possibility of using the results obtained when designing new or modernizing existing power supply systems for metalworking industry enterprises.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM, FORGING AND STAMPING SHOP, ELECTRICAL LOAD, POWER TRANSFORMER, REACTIVE POWER COMPENSATION, SHORT-CIRCUIT CURRENTS, ELECTRICAL EQUIPMENT, ENERGY EFFICIENCY, ELECTRICAL SAFETY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ.....	8
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	14
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	14
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	20
2.2.1 Визначення потужності КП за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	20
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	23
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	24
2.4 Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ.....	25
2.5 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....	26
2.6 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	31
2.7 Розрахунок струмів к.з. у мережі напругою до 1 кВ.	32
2.8 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП	41
2.9 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	44
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ			
Змн	Арк	П.І.Б.	Підпис	Дата	Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Колетвінов						5	55
Перевір.	Кирисов					група ДЕА-Е22		
Н. контр								
Затверд.	Чернюк							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЕП	-	електроприймач
СЕП	-	система електропостачання
ТП	-	трансформаторна підстанція
НБК	-	низьковольтні батареї конденсаторів
КТП	-	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	-	підстанція
ГЗП	-	головна знижувальна підстанція
КРП	-	компенсація реактивній потужності
ЯЕЕ	-	якість електричної енергії
ДЖ	-	джерело живлення
ККУ	-	комплектна конденсаторна установка
ДРП	-	джерело реактивної потужності
РП	-	реактивна потужність
КУ	-	конденсаторна установка
КП	-	компенсуючі пристрої
АД	-	асинхронний двигун
СД	-	синхронний двигун
ДСП	-	дугосталеплавильная піч
ДДРП	-	додаткові джерела реактивної потужності

ВСТУП

Сучасна металообробна промисловість є однією з базових галузей економіки, що забезпечує виробництво широкого спектра продукції для машинобудування, будівництва, транспортної та інших галузей промисловості. Важливу роль у виробничому процесі відіграють ковальсько-штампувальні цехи, які характеризуються значними електричними навантаженнями, наявністю потужного технологічного обладнання та високими вимогами до надійності електропостачання.

Ефективне функціонування ковальсько-штампувального виробництва безпосередньо залежить від якості та безперебійності електропостачання. Зростання потужності споживачів електричної енергії, необхідність забезпечення нормативних показників якості електроенергії, а також вимоги щодо енергоефективності обумовлюють актуальність проектування сучасних систем електропостачання промислових підприємств. Особливого значення набуває правильний вибір схеми електропостачання, силового обладнання, засобів захисту та компенсації реактивної потужності.

Метою даної роботи є розроблення системи електропостачання вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробного підприємства, яка забезпечуватиме надійне, безпечне та економічно доцільне електропостачання технологічного обладнання відповідно до чинних нормативних вимог.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз технологічного процесу та складу електричних навантажень цеху;
- визначити розрахункові електричні навантаження вузла;
- обґрунтувати вибір схеми електропостачання;

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснити вибір трансформаторів, комутаційної апаратури та струмопровідних елементів;
- виконати розрахунок струмів короткого замикання;
- зробити вибір СВЧ і комутаційної та захисної апаратури на всіх ступенях електропостачання
- перевірити вибране обладнання за умовами нормального режиму роботи та короткого замикання;
- розробити заходи з компенсації реактивної потужності та підвищення енергоефективності;
- розглянути питання охорони праці та безпеки експлуатації електроустановок.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технічних рішень, які можуть бути використані під час проєктування або модернізації систем електропостачання промислових підприємств, зокрема ковальсько-штампувальних цехів металообробної галузі.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Електроенергія широко застосовується в промисловості для привода різних механізмів, для висвітлення, для різних електротехнологічних установок.

Електроустановки кожного споживача електроенергії мають свої характерні риси й показники, які визначають умови електропостачання споживача.

Метою характеристики технологічного процесу є визначення імовірнісного збитку від перерви електропостачання розглянутого об'єкта для того, щоб по величині імовірнісного збитку визначити категорію ЕП у цеху по ступені безперебійності електропостачання, а це у свою чергу дає можливість обґрунтувати число джерел живлення (ДЖ), схему живильних розподільних мереж, наявність (відсутність) елементів мережної автоматики.

З погляду забезпечення надійного й безперебійного живлення, приймачі електричної енергії діляться на три категорії (вимоги до надійності електропостачання регламентовані ПУЕ):

1-я категорія - приймачі, перерва в електропостачанні яких може викликати небезпека для життя людей або значний матеріальний збиток, пов'язаний з ушкодженням устаткування, масовим шлюбом продукції або тривалим розладом складного технологічного процесу виробництва.

2-я категорія, - приймачі, перерва в електропостачанні яких пов'язаний з істотним не випуском продукції, простоем людей, механізмів, промислового транспорту.

3-я категорія, - приймачі, що не підходять під визначення 1-й і 2-й категорій (наприклад, приймачі другорядних цехів, що не визначають технологічний процес основного виробництва).

Питання про надійність електропостачання споживачів пов'язаний із числом джерел живлення, схемою електропостачання й категорією споживачів.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймачі 1-й категорії повинні мати не менш двох незалежних джерел живлення й перерва в їхньому електропостачанні може бути допущений тільки на час дії пристрою АВР. Приймачі 2-й категорії можуть мати один - два джерела живлення (вирішується конкретно залежно від значення, що має дане промислове підприємство в народному господарстві країни, і місцевих умов) і перерва в їхньому електропостачанні допускається на час, необхідне для включення резервного живлення черговим персоналом. Приймачі 3-й категорії, як правило, можуть мати одне джерело живлення, але якщо по місцевих умовах можна забезпечити живлення без істотних витрат і від другого джерела, то застосовується резервування живлення й для цієї категорії приймачів. Приймачі 3-й категорії допускають перерва в електропостачанні для виконання ремонтних робіт або заміни ушкодженого елемента мережі на строк не більше 1 доби.

До електроустаткування ковальсько-штампувальних цехів відносяться машини, призначені для кування й штампування металів у гарячому й холодному виді.

Для виробництва дрібних деталей широко застосовуються електромагнітні преси 0,5 - 2 с, у них рух повзуну виробляється за допомогою електромагніта постійного струму, що переборює дію пружини, що нормально підтримує повзун у піднятому положенні. Живлення електромагніта виробляється через напівпровідниковий випрямляч.

Кривошипні преси холодного штампування із зусиллям тиску 16 - 40000 тс мають потужність приводів 2 - 180 кВт, горячештамповочні - на 630 - 8000 тс - 28 - 500 кВт.

Режим роботи електроустаткування кувально-штампувальних цехів характеризується чергуванням холостих ходів з короткочасними поштовхами ударного навантаження, внаслідок чого часто застосовуються маховики й двигуни з підвищеним ковзанням. У деяких випадках кувальні машини забезпечуються установок для електричного індукційного нагрівання або підігріву оброблюваного металу потужністю до 400 - 500 кВА.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

По ступені безперебійності ковальсько-штампувальні машини й преси ставляться до 2-й категорії.

На кожному підприємстві електроприймачами 1-й категорії є протипожежні насоси й аварійне висвітлення.

Технологічний процес кування й штампування стійкий, важке встаткування має постійне розташування.

До загальнопромислових установок ставляться підйомно-транспортні машини, поточно-транспортні системи, компресори, насоси й вентилятори, освітлювальні електроустановки, зварювальні установки.

Двигуни компресорів, вентиляторів і насосів працюють приблизно в однаковому режимі й залежно від потужності забезпечуються електричною енергією на напрузі від 0,22 до 10 кВ. Потужність таких установок змінюється в дуже широкому діапазоні від часток одиниці до тисяч кіловатів. Живлення двигунів виробляється струмом промислової частоти 50 Гц. Характер навантаження, як правило, рівний, особливо для потужних установок. Перерва в електропостачанні найчастіше неприпустимий і може викликати небезпека для життя людей, серйозне порушення технологічного процесу або ушкодження встаткування. Наприклад, припинення подачі стисненого повітря на машинобудівному заводі, де різальний інструмент кріпиться за допомогою пневматичних пристроїв, може викликати поранення обслуговуючого персоналу. Наслідку відключення насосних установок під час пожежі не мають потреби в поясненнях. У ряді цехів припинення живлення двигунів вентиляторів може викликати масові отруєння працюючого персоналу. Таких прикладів можна привести велика кількість. У зазначених випадках установки варто відносити до споживачів 1-й категорії.

Споживачі розглянутої групи створюють навантаження рівномірну й симетричну по всім трьох фазах. Поштовхи навантаження мають місце тільки при пуску. Коефіцієнт потужності досить стабільний і звичайно має значення 0,8-0,85.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для електропривода великих насосів, компресорів і вентиляторів найчастіше застосовують синхронні двигуни, що працюють із випереджальним коефіцієнтом потужності.

Підйомно-транспортні пристрої працюють у повторно-короткочасному режимі. Для цих пристроїв характерні часті поштовхи навантаження. у зв'язку з різкими змінами навантаження коефіцієнт потужності також змінюється в значних межах, у середньому від 0,3 до 0,8. По безперебійності живлення ці пристрої повинні бути віднесені (залежно від місця роботи й установки) до споживачів 1-й і 2-й категорій. У підйомно-транспортних пристроях застосовується як змінний (50 Гц), так і постійний струм. У більшості випадків навантаження від підйомно-транспортних пристроїв на стороні змінного струму варто вважати симетричної по всім трьох фазах.

Електричне освітлення являє собою однофазне навантаження, однак завдяки незначній потужності приймача (звичайно не більше 2 кВт) в електричній мережі при правильному групуванні освітлювальних приладів можна досягти досить рівномірного навантаження по фазах (з несиметрією не більше 5-10%).

Характер навантаження рівномірний, без поштовхів, але її значення змінюється залежно від часу доби, року й географічного положення. Частота струму загальнопромислового, рівна 50 Гц. Коефіцієнт потужності для ламп накаливання дорівнює 1, для газорозрядних ламп 0,6. Варто мати на увазі, що в проводах, особливо нульових, при застосуванні газорозрядних ламп з'являються вищі гармоніки струму.

Короткочасні (кілька секунд) аварійні перерви в живленні освітлювальних установок припустимі. Тривалі перерви (хвилини й годинники) у живленні для деяких видів виробництва неприпустимі. У таких випадках застосовується резервування живлення від другого джерела струму (у деяких випадках навіть від незалежного джерела постійного струму). У тих виробництвах, де відключення освітлення загрожує безпеці людей, застосовуються спеціальні

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

системи аварійного висвітлення. Для освітлювальних установок промислових підприємств застосовуються напруги від 6 до 220 В.

Електрозварювальні установки діляться на установки, що працюють на змінному й постійному струмі. Технологічно зварювання ділиться на дугову й контактну, по способі провадження робіт - на ручну й автоматичну.

Електрозварювальні агрегати постійного струму складаються із двигуна змінного струму й зварювального генератора постійного струму. При такій системі зварювальне навантаження розподіляється по трьох фазах у живильній мережі змінного струму рівномірно, але графік її залишається змінним. Коефіцієнт потужності таких установок при номінальному режимі роботи становить 0,7 - 0,8; при холостому ході коефіцієнт потужності знижується до 0,4. Серед зварювальних агрегатів постійного струму є й випрямні установки.

Електрозварювальні установки змінного струму працюють на промисловій частоті змінного струму 50 Гц і являють собою однофазне навантаження у вигляді зварювальних трансформаторів для дугового зварювання й зварювальних апаратів контактного зварювання. Зварювання на змінному струмі дають однофазне навантаження з повторно-короткочасним режимом роботи, нерівномірним навантаженням фаз і, як правило, низьким коефіцієнтом потужності (0,3 - 0,35 для дугової й 0,4 - 0,7 для контактного зварювання). Зварювальні установки харчуються від мереж напругою 380 - 220 В.

Наявність у цеху споживачів першої категорії вимагає особливих умов по надійності електропостачання споживачів.

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень у мережі напругою до 1 кВ

Електричні навантаження промислових підприємств визначають вибір всіх елементів системи електропостачання. Завищення електричних навантажень приводить до перевитрати провідникового матеріалу струмоведучих частин, збільшенню потужностей трансформаторів, що викликає заморожування капіталовкладень і подорожчання системи електропостачання. Заниження електричних навантажень приводить до перевантаження струмоведучих частин, трансформаторів, що веде до зниження пропускної здатності й швидкому зношуванню ізоляції.

Тому правильне визначення електричних навантажень є вирішальним чинником при проектуванні, реконструкції й експлуатації електричних мереж.

У практиці проектування й реконструкції систем електропостачання застосовують різні методи визначення електричних навантажень. Вибір методу визначення очікуваних електричних навантажень насамперед залежить від:

- представлених вихідних даних;
- місця розрахункового вузла в системі електропостачання;
- структури електроприймачів;
- особливостей технологічного процесу.

У даному дипломному проекті застосовується метод упорядкованих діаграм, що є в цей час основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

По цьому методі розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх щаблях живильних і розподільних мереж визначають по середній потужності й коефіцієнту максимуму з вираження

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{cm}$$

Тому ми вводимо розрахунковий коефіцієнт навантаження K_p , що визначаємо

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з таблиці П. 5. [1] :

$$K_p = f(n_E, K_{и гр. взв}).$$

По кожній групі електроприймачів визначаємо сумарну номінальну потужність, що дорівнює паспортним даним електричного встаткування.

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

По кожній групі електроприймачів визначаємо сумарну номінальну потужність, що дорівнює паспортним даним електричного встаткування.

Наводимо паспортні дані окремих груп ЕП, що працюють у ПКР (зварювальні машини шовного зварювання й транспортне-підйомно-транспортне встаткування), до номінальної потужності у кВт по вираженню:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \sqrt{P_B} = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150 \text{ кВт}$$

$$P_H = S_H \cdot \cos \phi \sqrt{P_B} = 950 \cdot 0,35 = 332 \text{ кВт}$$

Розрахунок електричного навантаження від силового електроустаткування розглянемо на прикладі розрахунку першої характерної групи електроприймачів.

На першому етапі визначаємо сумарну номінальну потужність вузла навантаження:

$$\sum P_{Hi} = 5298 \text{ кВт.}$$

Потім розрахуємо електричні навантаження по цеху. Розрахунок ведеться за найбільш завантажену зміну для кожної характерної групи електроприймачів по наступних формулах:

$$P_{cmi} = P_{Hi} \cdot K_{Hi},$$

де P_{Hi} - номінальна потужність і-тої групи електроприймачів;

K_{Hi} - коефіцієнт використання для і-тої групи електроприймачів;

$$P_{cm1} = P_{H1} \cdot K_{H1} = 950 \cdot 0,35 = 332 \text{ кВт};$$

$$Q_{cmi} = P_{cmi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i;$$

$$Q_{cm1} = P_{cm1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 332 \cdot 1,17 = 388 \text{ квар.}$$

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальший розрахунок для інших характерних груп аналогічний цьому й зводиться в таблицю 2.1.

$$\sum P_{cmi} = 2435 \text{ кВт}; \sum Q_{cmi} = 2736 \text{ квар.}$$

На наступному етапі визначаємо середньозважене (групове) значення коефіцієнта використання по вузлі з достатнім для практичних розрахунків наближенням по формулі:

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cmi}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}},$$

де n - число підгруп електроприймачів з різними режимами роботи, що входять у дану групу;

P_{cmi} - середня потужність підгрупи за найбільш завантажену зміну;

P_{ni} - номінальна потужність підгрупи електроприймачів.

$$K_{в. гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{змi}}{\sum_{i=1}^m P_{Hi}} = \frac{2435}{5398} = 0,49$$

Результат зводимо в таблицю 2.1.

Після цього визначаємо ефективне число електроприймачів.

$$N_{эф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}$$

Для розрахунку $n_{эф}$ можна використати спрощену формулу:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{Hmax}},$$

.

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень

№ п/п	Вихідні дані					Довідкові дані			Серед. змінне навант.		Ефек. число ЕП п Еф	Коеф. розрах. навант.	Розрах. макс. навантаження			Розр. струм I p, А
	Найменування характерних груп ЕП	В шт. п	Номінальна (встан.) потужність, кВт			Коеф. викор.	cosφ	tgφ	P _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВар			P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА	
			Одного ЕП P _{нmin} \P _{нmax}	Загальна P _н	Потужність при ПВ=1											
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Електромагнітні преси	50	3\80	950,00	950,00	0,35	0,65	1,17	332,50	388,74						
2	Кривошипні преси	90	1\15	580,00	580,00	0,35	0,65	1,17	203,00	237,33						
3	Вентилятори	70	5\20	500,00	500,00	0,75	0,80	0,75	375,00	281,25						
4	Насоси, компресори	45	5\40	400,00	400,00	0,75	0,80	0,75	300,00	225,00						
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	30	5\40	300,00	150,00	0,18	0,45	1,98	27,00	53,58						
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	80	5\40	1480,00	936,03	0,18	0,45	1,98	168,49	334,36						
7	Свар. маш. шовного зварювання, S _н , кВА	70	10\40	950,00	332,50	0,30	0,35	2,68	99,75	266,97						
8	Елеватори. Конвейнери зблоковані	95	10\40	1550,00	1550,00	0,60	0,70	1,02	930,00	948,79						
9	Разом силові ЕП:	530	200,00	6710,00	5398,53	0,5			2435,74	2736,03	134	0,75	1826,8	2052,0	2747,	3965,47
10	Освітлювальні ЕП:				171		0,95	0,33					0,95	179,32	58,94	188,76
11	Усього по цеху:				5570,13								2006,1	2110,9	2912,1	4203,34

Таблиця 2.2. Розрахунок пристроїв, що компенсують, і вибір цехових трансформаторів

Кат	P _p +P _{po}	Q _p +Q _{po}	S _p	J=S _p /F	S _{нтр}	В	N _{min}	N _{опт}	Q _t	Q _{нк1}	Q _{нк1'}	Q _{нк1} спр	Q _{неск}	j	Q _{нк2}	Q _{нк} *N _{опт}	Вф
	2006,12	2110,96	2912,16	0,26	1600,00	0,70	1,79	2,00	996,53	1114,43	557,22	750,00	610,96	0,44	-797,04	1500,00	

де $P_{H \max}$ - потужність одного найбільшого електроприймача групи.

Цю формулу використовують, якщо виконується умова:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}} > 3 \text{ і } K_{i \text{ гр}} > 0,2$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{H1}}{P_{H \max}} = \frac{2 \cdot 5398}{200} = 134$$

По відомому ефективному числу електроприймачів і коефіцієнту використання знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження K_p із довідкової літератури:

$$K_p = f(n_{\text{Еф}}, K_{i \text{ гр. вЗВ.}}).$$

У моєму випадку, при $n_{\text{Еф}}=134$ і $K_{i \text{ гр вЗВ}} = 0,5$

$$K_p = 0,75$$

Після того, як ми визначили коефіцієнт розрахункового навантаження визначаємо розрахункові значення активного й реактивного навантаження:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{cmi}}, \text{ кВт}$$

$$P_p = 0,75 \cdot 2435 = 1826 \text{ кВт}$$

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n Q_{\text{cmi}}, \text{ квар}$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 2736 = 2052 \text{ квар}$$

Вважаємо повне навантаження від силових електроприймачів:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1826^2 + 2052^2} = 2247, \text{ кВА}$$

І останній етап знаходження розрахункового струму по відомому повному навантаженню:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2247}{1,73 \times 0,4} = 3965 \text{ А.}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Установлену потужність $P_{вст}$ освітлювальних ЕП визначимо по питомій щільності освітлювального навантаження для даного технологічного процесу.

$$P_{вст} = P_{н.о.} \cdot F \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$$

$$P_{н.о.} = 15,6 \text{ Вт/м}^2$$

Розрахункове активне навантаження від освітлювальних ЕП визначаємо за допомогою $K_{с.о.}$.

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} \cdot K_{ПРА} = 171,6 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 179,32, \text{ кВт}$$

$$Q_{р.о.} = P_{р.о.} \cdot \tan \phi = 179,32 \cdot 0,33 = 58,94 \text{ квар}$$

$$S_{р.о.} = \sqrt{P_{р.о.}^2 + Q_{р.о.}^2} = \sqrt{179,32^2 + 58,94^2} = 188, \text{ кВА}$$

де $K_{с.о.}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{с.о.} = 0,95$ для виробничих приміщень, які складаються з окремих крупних прольотів;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп;

$K_{ПРА} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцеві лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металогалогенні).

З огляду на особливість освітлювальних приладів, які в основному становлять люмінесцентні лампи, що працюють із пускорегулюючими пристроями, що мають у своєму складі індуктивність і ємність, вираження для знаходження розрахункової реактивної потужності від освітлювальних електроприймачів можна записати в такий спосіб:

Розрахункові активні й реактивні навантаження силових і освітлювальних ЕП підсумуються й вносяться у відповідні графи таблиці 2.1.

$$P_{р. \Sigma} = 2006 \text{ кВт}$$

$$Q_{р. \Sigma} = 2110 \text{ квар}$$

$$S_{р. \Sigma} = 2912 \text{ кВА.}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ

Сумарну розрахункову потужність конденсаторних батарей низької напруги (НБК), встановлюваних у цеховій мережі, визначають розрахунками по мінімуму наведених витрат у два етапи:

- 1) вибирають економічно оптимальне число цехових трансформаторів;
- 2) визначають додаткову потужність НБК із метою оптимального зниження витрат у трансформаторах і в мережі напругою 6 - 10 кВ підприємства.

Сумарна розрахункова потужність $Q_{\text{нк}}$ НБК складе

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

де $Q_{\text{нк1}}$ і $Q_{\text{нк2}}$ – сумарні потужності НБК, певні на двох зазначених етапах розрахунку.

2.2.1. Визначення потужності пристроїв, що компенсують, за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Правильне визначення числа й потужності цехових трансформаторів можливо тільки шляхом техніко-економічних розрахунків з урахуванням наступних факторів: категорії надійності електропостачання споживачів; компенсації реактивних навантажень на напругу до 1 кВ; перевантажувальної здатності трансформаторів у нормальному й аварійному режимах; кроку стандартних потужностей; економічних режимів роботи трансформаторів залежно від графіка навантаження.

Недоцільно встановлювати велика кількість трансформаторів на кожній підстанції незалежно від того, чи є вона цеховою або головною підстанцією всього заводу. Це завжди викликає додаткові капіталовкладення, підвищує річні витрати й, зокрема, втрати енергії, тому що ККД малих трансформаторів нижче, ніж великих. Збільшується витрата активних матеріалів у трансформаторах і апаратах, а також число самих апаратів, ускладнюється схема комутації й, отже, ускладнюється експлуатація таких підстанцій.

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При виборі числа й потужності трансформаторів підстанцій рекомендується:

1) трансформатори потужністю більше 1000 кВА застосовувати при наявності групи електроприймачів великої потужності (наприклад, електропечей) або значного числа однофазних електроприймачів, а також при наявності електроприймачів із частими піками навантаженнями (наприклад, електрозварювальних установок) і в цехах з високою питомою щільністю навантаження;

2) прагнути до можливо більшої однотипності трансформаторів цехових підстанцій;

3) при двохтрансформаторних підстанціях, а також при однострансформаторних підстанціях з магістральною схемою електропостачання, потужність кожного трансформатора вибирати з таким розрахунком, щоб при виході з ладу одного трансформатора, що залишився в роботі трансформатор міг нести все навантаження споживачів 1-й і 2-й категорій (з обліком припустимих нормальних і аварійних навантажень); при цьому споживачі 3-їй категорії можуть тимчасово відключатися. Для цього номінальна потужність трансформаторів двохтрансформаторної підстанції приймається рівної 70% від загального розрахункового навантаження цеху. Тоді при виході з коштує одного із трансформаторів другий на час ліквідації аварії виявляється завантаженим не більше ніж на 140%, що припустимо в аварійних умовах.

Мінімальне число цехових трансформаторів $N_{\min}$ однакової потужності $S_{\text{ном.тр}}$, призначених для живлення технологічно зв'язаних навантажень, визначається по формулі

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{р.усл}} + P_{\text{р.о.}}}{\beta \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N$$

де β - коефіцієнт завантаження трансформаторів залежно від категорійності електроприймачів, які живляться цими трансформаторами, і від числа трансформаторів у КТП. Для першої категорії електроприймачів $\beta = 0,65 - 0,7$.

ΔN - добавка до найближчого цілого числа.

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{т. мин} = \frac{P_{р. с.} + P_{р. о.}}{\beta \cdot S_{н. тр.}} + \Delta N = \frac{2006}{0,7 \cdot 1600} = 1,99 + 0,01 = 2$$

Економічно оптимальне число трансформаторів $N_{опт}$ визначається питомими витратами на передачу реактивної потужності й відрізняється від N_{min} на величину m [2]:

$$N_{опт} = N_{min} + m$$

де m - додатково встановлені трансформатори.

При $N_{min}=2$ і $K_3 = 0,8$, $m=0$, [2]:

$$N_{опт} = 2 + 0 = 2$$

По обраному числу трансформаторів визначаємо найбільшу реактивну потужність, що доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ по виразу:

$$Q_T = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 2006^2} = 996 \text{ квар}$$

Визначаємо сумарну потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ для даної групи трансформаторів:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 2110 - 996 = 1114 \text{ квар}$$

$Q_{нк1}$ забезпечує оптимальне число трансформаторів.

На наступному етапі визначаємо потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт}} = \frac{1114}{2} = 557,22 \text{ квар}$$

Вибираємо комплектну конденсаторну установку по найближчій стандартній потужності:

Вибираємо КК - 0,38 - 750УКЛ (10*75) [1]

$$Q'_{нк1дов.} = 750 \text{ квар.}$$

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{НК1.СПР}} = 2110 - 2 \cdot 750 = 610 \text{ квар}$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ із метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП

Визначаємо потужність НБК для зниження втрат потужності в трансформаторах. Додаткова потужність $Q_{\text{НК2}}$ НБК для даної групи трансформаторів визначаємо:

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{онт}} \cdot S_{\text{н.тр}}$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що залежить від розрахункових параметрів k_{p1} і k_{p2} і схеми живлення цехової трансформаторної підстанції. k_{p1} залежить від питомих наведених витрат на НБК і високовольтну батарею конденсаторів і втрат активної потужності.

$$k_{p1}=12 \text{ і } k_{p2}=2$$

По кривих [2] визначаємо значення $\gamma = 0,44$.

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЭ}} \cdot S_{\text{НТ}} = 610 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -797, \text{ квар}$$

Через негативне значення нескомпенсованої реактивної потужності, що компенсують пристрої для зниження втрат потужності в трансформаторах не передбачається.

$$Q_{\text{НК}} = Q_{\text{НК1}} = 750 \cdot 2 = 1500 \text{ квар.}$$

Установка НБК на стороні 0,4 кВ дозволить знизити переструми реактивної потужності через трансформатор 10/0,4 кВ, що знизить втрати активної потужності.

Проведений розрахунок показав доцільність установки двох трансформаторів потужністю $S_{\text{НОМ}} = 1600$ кВА й установці в мережі 0,4 кВ пристроїв, що компенсують, сумарною потужністю 1500 квар.

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Місце розташування цехових трансформаторів визначається щільністю електричних навантажень цеху, розташуванням технологічного встаткування в цеху (з обліком можливого внутріцехового розміщення пристроїв, що компенсують), а також умовами мікроклімату в цеху, обумовленого особливостями технологічного процесу.

Досвід проектування, монтажу й експлуатації цехових трансформаторних підстанцій (ТП), а також дані теоретичних досліджень дають досить конкретні вказівки на вибір місця розташування ТП. Насамперед рекомендується застосування КТП, що забезпечують не залежний від будівельної частини індустріальний монтаж, наближення КТП по можливості до центра навантаження, що забезпечує максимальну економію кольорового металу й зниження втрат електроенергії в цехових мережах. Принцип глибокого уведення припускає дроблення підстанцій, що дає можливість уже на стадії проектування вирішити питання енергозбереження.

Місце розташування КТП, потужність і число трансформаторів повинні покривати розрахункові навантаження, урахувати умови навколишнього середовища, необхідний ступінь безперебійності електропостачання.

Для живлення споживачів електроенергією вважаємо за доцільне застосувати убудовану КТП, тому що немає ніяких протипоказань (умови мікроклімату в цеху, особливості технологічного процесу) для установки даного виду КТП.

Дана КТП забезпечує глибоке уведення напруги вище 1 кВ до місць споживання електроенергії, що забезпечує скорочення довжини мереж низької напруги, дає певну економію коштів на внутріцехові мережі й знижує втрати в них.

Для резервування частини навантаження при відключенні трансформатора використовуються резервні перемички в мережах нижчої напруги, виконуваних на 70% потужності трансформатора. У цеховий ТП цехи застосовуються трифазні

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформатори з первинною напругою 10 кВ, з масляним охолодженням. Для даної КТП застосовуються трансформатори закритого типу (ТМЗ).

2.4. Вибір схеми внутріцехової мережі напругою до 1 кВ

Цехові мережі розподілу електроенергії повинні:

- забезпечувати необхідну надійність електропостачання приймачів електроенергії залежно від їхньої категорії;
- бути зручними й безпечними в експлуатації;
- мати оптимальні техніко-економічні показники (мінімум наведених витрат);
- мати конструктивне виконання, що забезпечує застосування індустріальних методів монтажу.

Схеми цехових мереж ділять на магістральні й радіальні.

Магістральні схеми доцільно застосовувати при живленні електроприймачів, розташованих відносно рівномірно по площі цеху, а також для живлення груп електроприймачів, що належать однієї технологічної лінії, якими і є дані електроприймачі.

Для всіх магістральних схем характерні наступні риси:

1. Схема магістрального живлення забезпечує трохи знижену в порівнянні з радіальними схемами надійність електропостачання, тому що при ушкодженні магістралі всі її споживачі втрачають живлення. Тому для підвищення надійності, передбачені резервні перемички в мережі 0,4 кВ.

2. Вартість виконання магістральних мереж звичайно нижче вартості виконання радіальних за рахунок виконання радіальних за рахунок використання меншої кількості встановлюваної апаратури й меншої вартості монтажу живильної лінії.

3. Магістральні схеми дозволяють застосовувати новітні системи токопроводов, які забезпечують швидкісний монтаж.

4. У магістральних мережах у порівнянні з радіальними більше струми

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

короткого замикання, але зате, як правило, менше втрати напруги й потужності.

При радіальній схемі живлення ЕП НН одержують живлення окремими лініями, що відходять від РПНН ТП. Радіальні схеми застосовують при зосереджених навантаженнях з їхнім нерівномірним розподілом по площі цеху

Достоїнствами радіальних схем - є їхня висока надійність, тому що аварія на одній з ліній не впливає на роботу інших ЕП. Недоліки радіальних схем - значні капітальні вкладення в струмоведучі частини, комутаційно-захисну апаратуру, обмеження можливості застосування індустріальних методів монтажу.

Останнім часом при розташуванні ТП у центрах електричних навантажень у мережі до 1 кВ одержала поширення схема БТМ - блок трансформатор - магістраль

Виконана за схемою БТМ внутріцехова мережа спрощується, тому що КТП може бути виконана без розподільного пристрою низької напруги (РПНН). У цьому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровод (ШМА), призначений для передачі електроенергії декільком розподільним шинопроводам (ШРА) або декільком ЕП.

Схема електропостачання ЕП цеху представлена на плакаті графічної частини роботи.

2.5. Вибір типу й параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутріцехових мережах

В експлуатації електричної мережі можливі порушення нормального режиму роботи: перевантаження, короткі замикання, при яких струм у провідниках різко зростає. Тому цехові електричні мережі повинні бути надійно захищені від аварійних режимів. Для цього передбачені захисні апарати, що відключають ушкоджений елемент мережі з найменшим часом дії.

Для захисту внутріцехових мереж застосовують плавкі запобіжники, автоматичні повітряні вимикачі (АПВ), теплові реле магнітних пускатів.

Автомати вибирають із дотриманням наступних умов:

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{a.ном} > U_{ном.с},$$

де $U_{a.ном}$, $U_{ном.с}$ - відповідно номінальні напруги автомата й ділянки мережі, що захищається

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.},$$

де $I_{расц.ном}$, $I_{расч.}$ - номінальний струм розчеплювача й відповідно розрахунковий струм ділянки ланцюга, що захищається, номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, убудованого в шафу, варто враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85.

$$\frac{I_{нав}}{0,85} \leq I_{ном расц}$$

Вибір вступного автомата.

Вступні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з обліком їхнього можливого перевантаження в післяаварійному режимі.

$$I_{ном} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2153 \text{ А.}$$

По струму післяаварійного режиму з обліком поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата:

$$\frac{I_{нав}}{0,85} \leq I_{ном расц}$$

$$2500 \leq 2500$$

Вибираємо автомат ЕО25.

Секційний автомат вибираємо на щабель нижче вступного вимикача, тобто

Вибираємо автомат типу ЕО16, $I_n=1600 \text{ А}$.

Вибір автоматів для захисту двигунів:

- для одиночних двигунів:

$$I_{перегр} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном дв},$$

де $k_{пуск}$ – кратність пускового струму двигуна;

					ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- для режиму запуску двигунів, що самозапускаються, що не відключаються:

$$I_{перепр} = \sum_{i=1}^n I_{пуски} ,$$

де $\sum_{i=1}^n I_{пуски}$ - сума пускових струмів двигунів, що самозапускаються;

- для случаючи пуску найбільш потужного двигуна й режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до лінії, що захищається :

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_1^{n-1} I_{н.дв} + I_{пуск.мах} ,$$

де $\sum_1^{n-1} I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів двигунів, приєднаних до лінії, що захищається, без обліку найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск\ мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці мережі , що захищається, мережі, А;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Вибір параметрів автоматів на двигуни починаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що захищається автоматами, ($P_n = 5$ кВт):

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

$$I_{н.дв.} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,9} = 9,7 \text{ А};$$

Визначаємо пусковий струм двигунів, з урахуванням кратності пускового струму $k_n = 6$.

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 9,7 = 58,21 \text{ А};$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу ВА-2004/30.

Розрахуємо номінальний струм розчеплювача з урахуванням поправочного коефіцієнта, тому що автомати монтуються в шафах, тобто погіршується тепловіддача.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						28
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$I_{н.розч.} = \frac{9,7}{0,85} = 11,41 \text{ A}$$

Вибираємо $I_{н.розч.} = 15 \text{ A}$.

Установлюємо неможливість спрацьовування (відбудовуємо від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}$$

$$I_{сп.ел.} = 1,25 \cdot 58,25 = 72,76 \text{ A}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 300A.

Інші двигуни розраховуємо аналогічно. Результати розрахунку зведені в таблицю 2.3.

З огляду на, що навантаження рівномірно розподілене по площі цеху і рівномірно підключена до розподільних шінопроводів, за розрахункове навантаження ШРА приймаємо розрахункове навантаження ШМА розділену на кількість ШРА (на кожний ШМА підключене 4 ШРА).

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						29
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3. Вибір апаратів і струмоведучих частин

№ авт.	Призначення, місце у схемі	Розрахунков а навантажен ня Р, кВт	Розр. струм I, А	Кратність пускового струму, Кп	Пікови й струм Іпik, А	Ір/0,8 5	Ном.стру м розчепл Іном.р., А	Ном.стру м автомата Іном.а., А	Тип авт.	Іспрац. расц. кА	Ідл., А ТВЧ	Марка перетин ТВЧ, мм²	Втрати напруги. В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
QF1	ШРА1-АД1	5	9,702	6	58,2124	11,41	15	30	ВА-2004/30	0,3	16	АВВГ(4*2,5)	0,13210
QF2	ШРА1-АД2	12	23,28	6	139,71	27,39	30	30	ВА-2004/30	0,3	32	АВВГ(4*8)	0,31705
QF3	ШРА1-АД3	40	77,62	6	465,699	91,31	100	100	ВА-2004/100	1	100	АВВГ(4*35)	1,05683
QF4	ШРА1-АД4	80	155,2	6	931,398	182,6	200	250	ВА-2004/250	2,5	215	АВВГ(4*95)	2,11367
QF5	ШРА1-АД5	100	194	6	1164,25	228,3	250	250	ВА-2004/250	2,5	250	АВВГ(4*120)	2,64208
QF6	ШРА1-АД6	25	48,51	6	291,062	57,07	75	100	ВА-2004/100	1	85	АВВГ(4*250	0,66052
QF7	ШРА1-АД7	10	19,4	6	116,425	22,83	30	30	ВА-2004/30	3	32	АВВГ(4*8)	0,26420
QF8	ШМА-ШРА1		378			444,7	630	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF9	ШМА-ШРА2		378			444,7	630	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF10	ШМА-ШРА3		378			444,7	630	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF11	ШМА-ШРА4		378			444,7	630	800	ВА-2004/800	4	630	ШРА-73	
QF12	Вступної	1000	2153			2502	2500	2500	ЕО25	25	1500	ШМА68-НУ3	
QF13	Секційний						1600	1600	ЕО16	16			

2.6. Вибір марки й перетинів струмоведучих частин

У внутріцехових мережах напругою до 1 кВ, у невибухонебезпечних приміщеннях перетин проводів вибирають за умовою нагрівання довгостроково припустимим струмом:

$$I_{p \max} \leq I_{\text{дл доп}},$$

де $I_{p \max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{\text{дл доп}}$ – довгостроково припустимий струм стандартних перетинів, А.

При розрахунку мережі по нагріванню спочатку вибирають марку провідника залежно від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху й способу прокладки мережі.

До вибору перетинів проводів і кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, тому що обране за умовою нагрівання перетин струмоведучих частин необхідно перевірити на відповідність захистів за умовою:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_3 \cdot I_3,$$

де I_3 - номінальний струм розчеплювача, А;

k_3 - коефіцієнт захисту.

Для існуючих умов, при яких експлуатується встаткування (мікроклімат, технологічний процес) коефіцієнт захисту для кабелів приймається рівним 1 [3].

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{\text{дійсн.}} < 0,05 U_n$$

$$\Delta U_{\text{дійсн.}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi),$$

де I_p – розрахунковий струм;

l - довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний і індуктивний опори кабелю.

$$\cos \varphi = 0,6; \sin \varphi = 0,8$$

Приведемо приклад розрахунку кабельної лінії для двигуна потужністю 5 кВт. Приймаємо до установки чотирьохжильний кабель із алюмінієвими жилами

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

марки АВВГ перетином 2,5 мм², для якого довгостроково припустимий струм дорівнює 16 А. Підставляючи числові значення в співвідношення:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_3 \cdot I_3$$

$$16 \geq I \geq 15 \text{ А}$$

знаходимо, що необхідні умови виконуються. Тому приймаємо до установки кабель типу АВВГ перетином 4*2,5 мм², $I_{\text{дл доп}} = 16 \text{ А}$.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.2.

Аналогічно вибираємо перетин проводів до інших двигунів.

Далі вибираємо перетин магістрального й розподільного шінопровода типу ШМА68-НУЗ, $I_{\text{ном}} = 1500 \text{ А}$ и ШРА – 73, $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$, по тимі ж умовам, що й кабель.

Перевіряємо обрані кабелі по втраті напруги:

Всі розрахунки зведені в таблицю 2.3.

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів к.з. у мережах до 1 кВ є перевірка обраних автоматів і шінопроводів на стійкість дії струмів к.з., автоматів - по граничному струмі відключення й на чутливість захистів.

Для перевірки захисних апаратів по граничному струмі к.з. визначають максимальне значення струму трифазного к.з., а для перевірки чутливості захистів визначаємо мінімальне значення струму однофазного к.з. В електрично віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Особливістю розрахунків струмів кз. у мережах до 1 кВ є, то, що

- розрахунок проводиться в іменованих одиницях;
- при розрахунку струмів к.з. необхідно враховувати активні й індуктивні опори всіх елементів короткозамкненого ланцюга, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, дуги, контактів і контактних з'єднань.

При розрахунках струмів к.з. допускається не враховувати вплив

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

асинхронних двигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10% початкового значення періодичної складової струму в місці к.з., розрахованого без обліку двигунів:

$$0,1 \cdot I_{no} > \sum_{i=1}^n I_{н.дв.ю.}$$

- складається розрахункова схема на яку наносяться струми к.з.;
- за розрахунковою схемою складається схема заміщення, у якій всі елементи розрахункової схеми замінюються активними й індуктивними опорами;
- розраховуються опори елементів мережі (опору прямої послідовності, опору нульової послідовності, опору ланцюга фаза-нуль);
- визначають величини трифазного й однофазного к.з. у намічених точках мережі.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

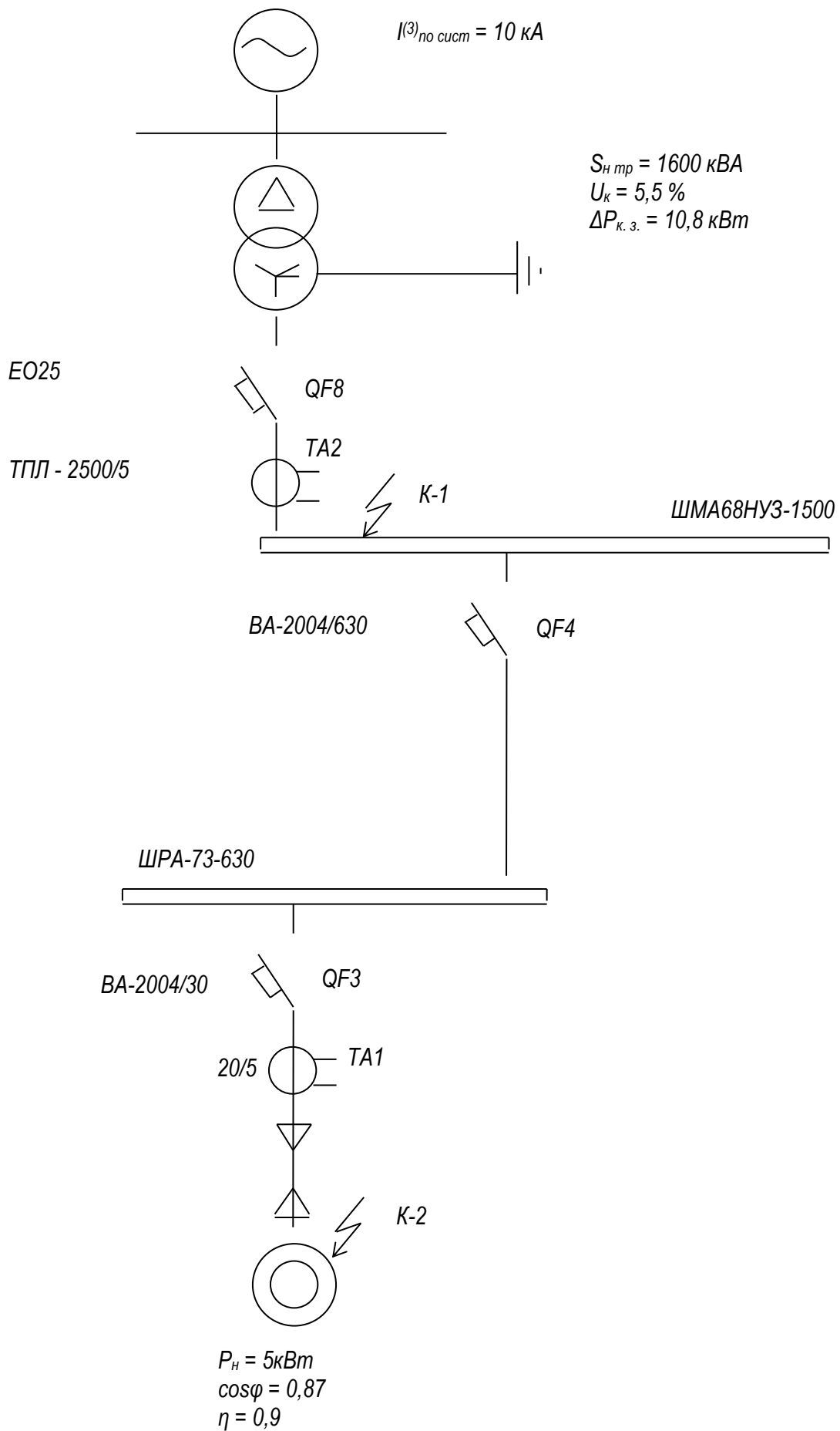


Рис. 2.1. Розрахункова схема

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ

Лист

34

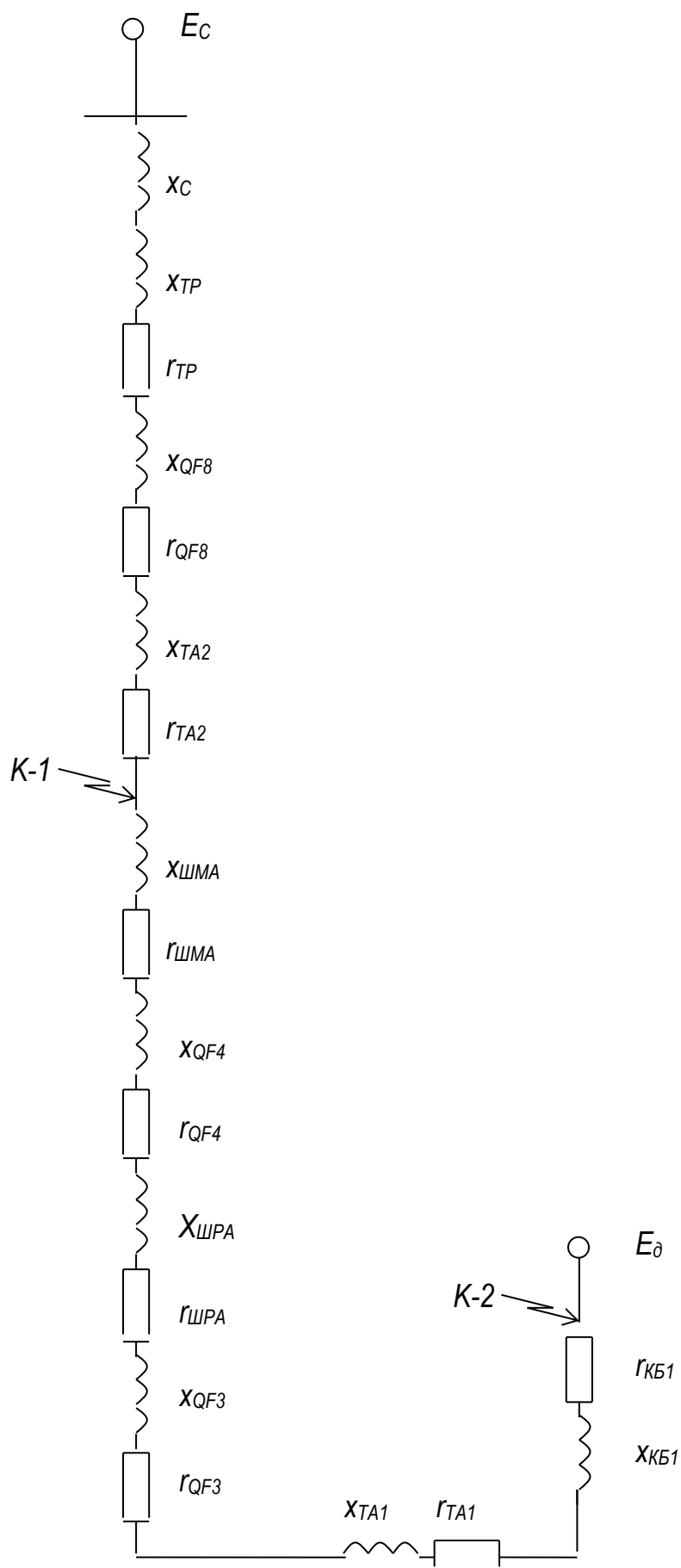


Рис.2.2. Схема заміщення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ і ЕЕ 4815.002.000 ПЗ

Лист

35

2.7. 1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через понижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного к. з.

$$I_{ПО}^{(3)} = \frac{U_{cp\,nn}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

де $U_{cp\,nn}$ - середня номінальна напруга мережі, у якій відбулося к. з., В.

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ - сумарні активні й індуктивні опори прямої послідовності ланцюга к.з., мОм.

Ці опори для точці к.з. К - 1 визначаються:

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{1A8} + r_{TA2}$$

$$x_{1\Sigma} = x + x_{1T} + x + x_{A8} + x_{TA2}$$

де x - еквівалентний індуктивний опір системи до понижувального трансформатора, наведене до сторони нижчої напруги:

$$x_C = \frac{U_{cp\,nn}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз\,вн} \cdot U_{cp\,вн}},$$

де $U_{cp\,вн}$ - середня номінальна напруга мережі, до якого підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$I_{кз\,вн}$ - діюче значення періодичної складової струму при трифазному к. з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА.

r_{1T} , r_{A8} , r_{TA2} , x_{1T} , x_{A8} , x_{TA2} - активні й індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму.

Опору (питомі) елементів мережі наведені в табл. 5 і в додаток табл. П.6. - 11.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4. Опір (питомих) елементів мережі

Опору послідовнос тей	Питомі опори мОм/м	ТВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1500 (Ш1) (60м)	ШРА 630 (Ш2) (80м)	Кабель АВВГ (4*2.5) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 20/5	ТА 2 2500/5	QF 3	QF 4	QF 8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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
Нульова	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					

Активні та індуктивні опори прямої послідовності понижувальних трансформаторів r_{1T} і x_{1T} визначаються по виразах:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нт}^2}; \quad x_{1T} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{нт}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{нн}^2}{S_{нт}},$$

де $\Delta P_{кз}$ - втрати к.з. у трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

$U_{кз}$ - напруга короткого замикання трансформатора, % (довідкові дані трансформатора);

$U_{нн}$ - номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

$S_{нт}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

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

Параметри трансформатора ТМЗ-1600-10/0,4; $U_k = 5,5\%$, $\Delta P_{кз} = 10,8$ кВт.

$$r_{1T} = \frac{10,8 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,74 \text{ мОм};$$

$$x_{1m} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1000}\right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1000} = 8,62 \text{ мОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 1,73 + 0,14 + 0,05 = 1,92 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 8,62 + 0,08 + 0,07 = 9,57 \text{ мОм}.$$

$$I_{по}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,92^2 + 9,57^2}} = 23,6 \text{ кА}.$$

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається зі співвідношення:

$$I_{н\text{ } \partial \epsilon \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)} \quad 378 \leq 0,1 \cdot 23600$$

Вивід: вплив двигунів у місці к.з. можна не враховувати.

2.7. 2.Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

Струм однофазного к. з. у точці К – 2 розраховується по формулі:

$$I_{nomin}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.нн}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}},$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.III1} + r_{\phi-o.III2} + r_{\phi-o.КБ})$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ}$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.III1} + x_{\phi-o.III2} + x_{\phi-o.КБ});$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{TA} + x_{1КБ};$$

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Опору нульової послідовності: активні й індуктивні опори нульової послідовності понижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за схемою $\Delta/\star$ при к. з. у мережі низької напруги варто приймати реальні опори прямої послідовності.

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

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

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 150,09 + 70,89)^2 + (2 \cdot 60,14 + 70,89)^2}} = 1,66 \text{ кА.}$$

де $r_{1\Sigma}$ та $x_{1\Sigma}$ - визначаються:

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

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

$$r_{1\Sigma} = 1,73 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 60 + 0,65 + 80 \cdot 0,15 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 1,28 = 45,11 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 8,62 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 60 + 0,17 + 80 \cdot 0,17 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,06 = 30,26 \text{ мОм}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\Phi-H.III1} + r_{\Phi-H.III2} + r_{1KB}) = 45,11 + (0,067 \cdot 60 + 0,262 \cdot 80 + 20 \cdot 4) = 150,09 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\Phi-H.III1} + x_{\Phi-H.III2} + x_{1KB}) = 30,26 + (0,056 \cdot 60 + 0,294 \cdot 80 + 20 \cdot 0,15) = 60,14 \text{ мОм};$$

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0KB} =$$

$$= 1,73 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 60 + 0,65 + 0,162 \cdot 80 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 70,89 \text{ мОм};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0m} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0KB} =$$

$$= 13,7 + 0,08 + 0,07 + 35 \cdot 0,042 + 0,17 + 20 \cdot 0,164 + 0,08 + 4,8 + 20 \cdot 0,075 = 70,89 \text{ мОм.}$$

Перевірка автоматів по граничному струмі відключення:

$$I_{пред.откл} \geq I_{П.О.}^{(3)},$$

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

$$25 \geq 23,5 \text{ кА}$$

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова виконується, граничний струм відключення автомата EO25 - $I_{пред.откл} = 25\text{кА}$

Перевірка автоматів на чутливість захистів:

$$I_{п.о.}^{(1)} \geq K \cdot I_y,$$

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

$$1,66 \geq 0,3 \cdot 1,$$

Автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Електроенергія, призначена для роботи електроприймачів, повинна мати певні якісні показники, які забезпечують надійність і економічність роботи електроприймачів. У ПУЕ вказується, що «вся мережа, від цехової підстанції до електроприймачів, повинна бути перевірена на припустимі відхилення напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центра живлення. У випадку, якщо відхилення напруги більше відповідної межі, необхідно передбачити в мережах відповідні технічні заходи щодо регулювання напруги».

Відхилення напруги – різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} і номінальним значенням напруги $U_{\text{н}}$ при повільно, що змінюється напрузі, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1% у секунду:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

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

Збиток від відхилення напруги має дві складові - електромагнітну й технологічну. Електромагнітна складова визначається додатковими втратами електроенергії в елементах мережі, а технологічна - зниженням продуктивності технологічного встаткування й продуктивністю праці.

Найбільш чутливі до відхилень напруги освітлювальні установки й конденсаторні батареї. Так, при зниженні напруги на 5% світловий потік ламп накаливання знижується на 20%, підвищення напруги на 10% знижує їхній термін служби в 4 рази.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{H1} - U_{01} - \Delta U_T,$$

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де $U_{011} - U_{H1} - U_{01} = E$ – добавка напруги при регулюванні;
 U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;
 U_{H1} – відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;
 U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;
 U_{011} – відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;
 ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_m = \beta \cdot (R_m \cdot \cos \varphi + X_m \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right)$$

$$\text{або } \Delta U_m = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{кз},$$

де $\Delta P_{кз}$ і $U_{кз}$ – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

У застосування до даних умов маємо:

$$S_{нтр} = 1600 \text{ кВА}; U_{кз} = 5,5\%; \Delta P_{кз} = 10,8 \text{ кВт.}$$

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}} = \frac{\sqrt{2006^2 + 610^2}}{2} = 1048 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск}}{P_{p\Sigma}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{598}{2173} = 0,27$$

Отже $\cos \varphi = 0,98$, $\sin \varphi = 0,19$.

Трансформатор має номінальна напруга виводів $10 \pm 2(2,5\%/0,4 \text{ кВ})$.

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

0)

Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відгалуженням +2,5% ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 2,5\%$).

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\begin{aligned}\Delta U_m &= \beta \cdot (R_m \cdot \cos \phi + X_m \cdot \sin \phi) = \frac{S_p}{S_{нmp}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нmp}} \cdot \cos \phi + U_{кз} \cdot \sin \phi \right) = \\ &= \frac{1048}{1600} \cdot \left(\frac{10,8}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,19 \right) = 0,011 = 1,1\%\end{aligned}$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,1 = 3,9 \%$$

Отримане значення перебуває в межах норми.

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

При проектуванні СЕП ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості передбачене впровадження сучасних технічних рішень і використання нового вітчизняного обладнання.

Етапи проектування внутріцехових СЕП були викладені в ході виконання роботи. Результатом проектування є однолінійна схема внутріцехового електропостачання, представлена в графічній частині дипломного проекту.

Аналіз технологічного процесу та особливостей виробництва показав, що в цілому ЕП даного виробництва ставляться до 2-й категорії по ступені безперебійності електропостачання. Частина ЕП ставиться до 1-й категорії, що вимагає особливих умов для живлення електроустаткування.

Для живлення ЕП вузла навантаження встановлена 2-х трансформаторна підстанція 2КТП-1600/10/0,4. Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі роботи становить 0,79.

Цехова підстанція живиться напругою 10 кВ, напруга внутріцехової розподільної мережі 0,4/0,23 кВ.

У мережі 0,4 кВ передбачена установка конденсаторних установок сумарною потужністю 1500 квар (2*КК - 0,38 - 750УКЛ (10*75).

Для живлення споживачів електроенергією вважаємо за доцільне застосувати убудовану КТП.

Для розподілу електроенергії по території цеху запропонована схема блок трансформатор-магістраль. До магістрального шінопроводу ШМА68-НУЗ-1500 підключені чотири розподільних шінопровода ШРА-73-630.

Для захисту встаткування від перевантаження й струмів короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі типу ЕО, ВА.

Відхилення напруги в проектованій мережі перебуває в припустимих межах.

Всі завдання поставлені в даному дипломному проекті - успішно вирішені.

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці

Охорона праці є важливою складовою під час проєктування систем електропостачання промислових підприємств. Особливо це стосується ковальсько-штампувальних цехів металообробної промисловості, де технологічний процес супроводжується високими температурами, значними механічними навантаженнями, шумом, вібрацією та експлуатацією потужного електрообладнання. При проєктуванні системи електропостачання вузла навантаження необхідно враховувати вимоги нормативних документів щодо безпечної експлуатації електроустановок, попередження виробничого травматизму, пожеж та аварійних ситуацій.

Основними нормативними документами, що регламентують питання охорони праці, є:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

Ковальсько-штампувальні цехи характеризуються наявністю потужних пресів, молотів, індукційних та термічних установок, вантажопідіймальних механізмів і великої кількості електроприводів. Робота такого обладнання супроводжується підвищеним рівнем небезпеки для персоналу. Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- ураження електричним струмом;
- підвищений рівень шуму та вібрації;

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока температура повітря та теплове випромінювання;
- небезпека механічного травмування;
- пожежна небезпека;
- запиленість виробничих приміщень.

Для забезпечення безпечних умов праці під час проектування системи електропостачання необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на захист працівників від небезпечних факторів.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Одним із найбільш небезпечних факторів у ковальсько-штампувальному цеху є електричний струм. Електрообладнання цеху працює під високою напругою та значними струмовими навантаженнями. Ураження електричним струмом можливе при пошкодженні ізоляції, дотику до струмовідних частин або виникненні напруги на металевих корпусах обладнання.

Підвищена температура та наявність металевого пилу створюють додаткову небезпеку для роботи електрообладнання. Металевий пил може осідати на ізоляції, погіршуючи її властивості та спричиняючи короткі замикання. Перегрів кабелів та електродвигунів також може стати причиною аварійних ситуацій.

Важливим шкідливим фактором є шум, який виникає під час роботи ковальських молотів, пресів, вентиляторів та іншого технологічного обладнання. Рівень шуму у таких цехах часто перевищує допустимі норми і може досягати 100–110 дБ. Тривалий вплив шуму негативно впливає на слух, нервову систему та працездатність працівників.

Значна вібрація обладнання також негативно впливає на організм людини та може спричиняти професійні захворювання. Особливо небезпечною є локальна вібрація, яка передається через ручний інструмент або елементи керування обладнанням.

У ковальсько-штампувальному виробництві значну небезпеку становить теплове випромінювання від нагрітих металевих заготовок та печей. Підвищена

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

температура повітря погіршує умови праці та може викликати перегрів організму працівників.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- забезпечити справний технічний стан електрообладнання;
- проводити періодичний контроль ізоляції;
- використовувати ефективну вентиляцію;
- застосовувати засоби колективного та індивідуального захисту;
- проводити регулярні інструктажі з охорони праці.

3.3 Заходи забезпечення електробезпеки

Під час проєктування системи електропостачання вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху необхідно забезпечити високий рівень електробезпеки. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є захисне заземлення, автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі та застосування захисних засобів.

Усі металеві неструмовідні частини електрообладнання повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечних значень та створює умови для швидкого спрацювання апаратів захисту.

Для даного об'єкта доцільно використовувати систему заземлення типу TN-S, у якій захисний та робочий нульові провідники розділені. Це підвищує надійність системи електропостачання та рівень безпеки персоналу.

Для захисту від струмів короткого замикання та перевантаження у схемі передбачено використання:

- автоматичних вимикачів;
- плавких запобіжників;
- релейного захисту;
- пристроїв захисного відключення.

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим заходом є правильний вибір кабелів та електрообладнання з урахуванням умов експлуатації. Кабельні лінії повинні мати достатню термічну та механічну стійкість, а ізоляція - відповідати умовам підвищеної температури та запиленості.

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- діелектричними рукавичками;
- діелектричним взуттям;
- захисними окулярами;
- ізолювальними штангами;
- показчиками напруги.

Під час виконання ремонтних робіт необхідно:

- відключати обладнання від мережі;
- перевіряти відсутність напруги;
- встановлювати переносні заземлення;
- вивішувати попереджувальні плакати;
- оформлювати наряд-допуск.

Допуск до роботи в електроустановках мають лише працівники, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж та перевірку знань з електробезпеки.

3.4 Пожежна безпека та захист від аварійних ситуацій

Ковальсько-штампувальні цехи належать до категорії виробництв із підвищеною пожежною небезпекою. Основними причинами виникнення пожеж є короткі замикання, перевантаження електричних мереж, іскріння контактів та перегрів електрообладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки в системі електропостачання передбачаються такі заходи:

- використання кабелів із негорючою ізоляцією;
- застосування автоматичних апаратів захисту;

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- контроль температури електрообладнання;
- забезпечення вільного доступу до засобів пожежогасіння;
- встановлення систем вентиляції та димовидалення.

У виробничих приміщеннях повинні бути встановлені порошкові та вуглекислотні вогнегасники, призначені для гасіння електроустановок під напругою. Забороняється використовувати воду для гасіння електрообладнання, яке перебуває під напругою.

Для попередження аварійних ситуацій необхідно регулярно проводити:

- огляд стану кабельних ліній;
- перевірку контактних з'єднань;
- контроль навантаження трансформаторів;
- перевірку справності автоматичного захисту.

У цеху повинні бути розроблені плани евакуації персоналу та інструкції щодо дій у разі пожежі або аварії. Працівники повинні проходити періодичні протипожежні інструктажі та тренування.

3.5 Санітарно-гігієнічні умови праці

Для забезпечення безпечних умов праці у ковальсько-штампувальному цеху необхідно підтримувати нормативні санітарно-гігієнічні умови. Особливу увагу слід приділяти мікроклімату, вентиляції, освітленню та зниженню рівня шуму.

Унаслідок роботи нагрівальних печей та гарячих металевих заготовок температура повітря у виробничих приміщеннях може значно перевищувати допустимі значення. Для нормалізації температурного режиму використовують припливно-витяжну вентиляцію та системи місцевого охолодження.

Вентиляційні установки повинні забезпечувати видалення пилу, продуктів згоряння та надлишкового тепла. Ефективна вентиляція покращує умови праці та зменшує негативний вплив шкідливих речовин на організм працівників.

Виробниче освітлення повинно відповідати вимогам нормативних документів. Для забезпечення безпечної роботи застосовується загальне, місцеве та

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

аварійне освітлення. Освітлювальні прилади повинні мати захисні плафони та бути стійкими до механічних пошкоджень.

Для зниження рівня шуму та вібрації застосовуються:

- звукоізоляційні кожухи;
- амортизуючі фундаменти;
- шумопоглинальні матеріали;
- дистанційне керування обладнанням.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- спецодягом;
- захисними рукавицями;
- касками;
- навушниками або берушами;
- захисними окулярами.

Важливим заходом є організація медичних оглядів працівників та проведення інструктажів з охорони праці. Працівники повинні знати правила безпечної експлуатації обладнання та порядок дій у разі аварійної ситуації.

У результаті аналізу умов праці у ковальсько-штампувальному цеху встановлено, що основними небезпечними факторами є електричний струм, шум, вібрація, теплове випромінювання, механічні небезпеки та пожежна небезпека.

Для забезпечення безпечної експлуатації системи електропостачання вузла навантаження у роботі передбачено комплекс заходів з охорони праці, зокрема:

- застосування захисного заземлення та автоматичного захисту;
- використання надійного електрообладнання;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення нормативних санітарно-гігієнічних умов;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- проведення навчання та інструктажів персоналу.

Запропоновані заходи дозволяють знизити ризик виробничого травматизму, підвищити рівень електробезпеки та забезпечити безпечні умови праці для персоналу ковальсько-штампувального цеху.

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєктування системи електропостачання вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості. Під час виконання роботи було проведено аналіз особливостей технологічного процесу та складу електроспоживачів цеху, що дало змогу визначити вимоги до надійності та якості електропостачання виробничого обладнання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень цеху із визначенням активної, реактивної та повної потужностей. Отримані результати стали основою для подальшого вибору елементів системи електропостачання та забезпечення їхньої ефективної роботи в нормальних і аварійних режимах.

У роботі обґрунтовано вибір схеми електропостачання вузла навантаження, яка відповідає вимогам надійності, безпеки та економічності експлуатації. Вибрано силові трансформатори необхідної потужності, виконано підбір кабельних ліній і струмопровідних елементів з урахуванням допустимих струмових навантажень, втрат напруги та умов експлуатації.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках системи електропостачання. За результатами розрахунків здійснено вибір комутаційної апаратури та засобів захисту, перевірено їхню відповідність умовам роботи та вимогам нормативних документів. Це дозволило забезпечити належний рівень електробезпеки та надійності функціонування системи.

Виконано розрахунок компенсації реактивної потужності, що дало можливість підвищити коефіцієнт потужності, зменшити навантаження на мережу, скоротити втрати електроенергії та покращити техніко-економічні показники роботи підприємства. Запропоновані заходи сприяють більш раціональному використанню електричної енергії та зниженню експлуатаційних витрат.

У розділі з охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації електроустановок ковальсько-

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

штампувального цеху. Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, захист персоналу від ураження електричним струмом та попередження аварійних ситуацій.

За результатами виконаної роботи можна зробити висновок, що поставлену мету досягнуто повною мірою. Розроблена система електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення технологічного обладнання ковальсько-штампувального цеху, відповідає вимогам чинних нормативних документів щодо якості електроенергії, електробезпеки та енергоефективності.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання отриманих результатів під час проєктування нових або модернізації існуючих систем електропостачання підприємств металообробної промисловості. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити надійність електропостачання, зменшити втрати електричної енергії та забезпечити ефективну роботу виробничого обладнання в умовах сучасного промислового виробництва.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування/ Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2013. 424 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. — 280 с.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Форт, 2017. — 760 с.
4. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. — 166 с.
5. ДСТУ EN 61936-1:2017. Силкові електроустановки змінного струму напругою понад 1 кВ. Загальні вимоги.
6. ДСТУ EN 50522:2016. Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ змінного струму.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — Київ : Міністерство енергетики України, 2023.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). — Київ, 2018.
9. Кузнєцов В.Г., Захарченко В.М. Електропостачання промислових підприємств : підручник. — Київ : Каравела, 2018. — 312 с.
10. Жежеленко І.В., Саєнко Ю.Л. Електропостачання промислових підприємств. — Київ : Вища школа, 2017. — 280 с.
11. Федоров А.А., Каменєва В.В. Основи електропостачання промислових підприємств : навчальний посібник. — Київ : Центр навчальної літератури, 2019. — 336 с.
12. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектування систем електропостачання промислових підприємств. — Львів : Новий Світ-2000, 2020. — 384 с.

					<i>ET i EE 4815.002.000 ПЗ</i>	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 13.Болюх В.Ф., Бурлака В.В. Електрична частина станцій та підстанцій : навчальний посібник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 286 с.
- 14.Сегеда М.С. Електричні мережі та системи : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 540 с.
- 15.Кравченко В.П. Електропостачання промислових підприємств та цивільних споруд : навчальний посібник. – Київ : Кондор, 2020. – 408 с.
- 16.Болюх В.Ф., Щербак Я.В. Розрахунок струмів короткого замикання в електричних мережах : навчальний посібник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 176 с.
- 17.Биков В.Г., Назаренко Л.А. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. – Харків: Основа, 2018. 215 с.
- 18.ДСТУ EN 60909-0:2016. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму.
- 19.ДСТУ ІЕС 60076-1:2019. Трансформатори силові. Частина 1. Загальні положення.
- 20.ДСТУ EN 60269-1:2019. Запобіжники низьковольтні. Загальні вимоги.
- 21.ДСТУ EN 60898-1:2017. Вимикачі автоматичні для захисту від надструмів у побутових і аналогічних установках.
- 22.Кодекс систем розподілу : затверджений постановою НКРЕКП № 310 від 14.03.2018 р.
- 23.Кодекс систем передачі : затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р.
- 24.ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання.
- 25.Березюк М.Д. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 400 с.
- 26.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
- 27.Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 р. № 2019-VIII.

					ET i EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 28.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 29.ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.
- 30.Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
- 31.Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
32. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007. 25с.

					ET і EE 4815.002.000 ПЗ	Лист
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		