Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту
Зав. кафедри
_____ І. Л. Лебединський
«____» _____2020 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Проектування системи електропостачання цеху по виготовленню макаронних виробів»

Спеціальність: 8.141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ.мз – 91с _____ С.В. Петрюченко

Керівник к.ф.-м.н., доцент _____ М.В. Петровський

Консультант
з економічної частини к.е.н, доцент _____ О.М. Маценко

Нормоконтроль ст.викл. _____ М.А. Никифоров

Суми-2020

РЕФЕРАТ

с. 108, табл. 14, рис. 8.

Бібліографічний опис: Петрюченко С.В. Проектування системи електропостачання цеху по виготовленню макаронних виробів [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / С.В. Петрюченко; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2020. – 108 с.

Ключові слова: електропостачання, трансформатор, напруга, силовий кабель, автоматичний вимикач;

электроснабжение, трансформатор, напряжение, силовой кабель, автоматический выключатель;

power supply, transformer, voltage, power cable, circuit breaker.

Короткий огляд. Проведено розрахунок силової та освітлювальної мереж електропостачання столярного цеху по виготовленню макаронних виробів. Здійснено розрахунок потужності та обрано трансформатор цехової трансформаторної підстанції. Також розраховано необхідну кількість світильників для забезпечення мінімальної освітленості робочої поверхні в цеху. Розраховані перерізи кабелів та проводів силової мережі живлення, мережі розподілу. Виконано розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання, в різних точках системи електропостачання цеху. Для захисту мереж живлення обрані автоматичні вимикачі. В розділі охорона праці розглянуті небезпечні фактори, що діють на обслуговуючий персонал цеху та проведений розрахунок контуру заземлення цехової трансформаторної підстанції. В економічній частині виконано порівняльний техніко - економічний аналіз при використанні двох типів світильників.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВ – автоматичний вимикач;

АВР – автоматичне включення резерву;

ВН – висока напруга;

ВОП – відділ охорони праці;

ВУ – вентиляційна;

ДЕС – дизельна електростанція;

ЕЕС – електроенергетична система;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

КСО – камери збірні одностороннього обслуговування;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

НН – низька напруга;

ППР – планово попереджувальні роботи;

РЗіА – релейний захист і автоматика;

РП – розподільний пункт;

РУ – розподільна установка;

ТО – технічний огляд;

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;

ТП – трансформаторна підстанція;

ТС – трансформатори струму;

ЧСХ – час-струмова характеристика;

ШР – шафа розподільна.

ЗМІСТ

Вступ 7
1. Загальні відомості про підприємство 8
1.1 Короткий опис технологічних процесів на підприємстві 8
1.2 Загальні відомості про навантаження підприємства 10
1.3 Загальні відомості про цехові навантаження 11
2. Розрахунок електричних навантажень цеху 13
2.1 Визначення розрахункового силового навантаження на першому рівні електропостачання 16
2.2 Визначення розрахункового силового навантаження на другому рівні електропостачання 20
2.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання 27
2.4 Попередній розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху 30
2.4.1 Світло-технічний розрахунок освітлення цеху 33
2.5 Визначення розрахункового навантаження цехової трансформаторної підстанції 38
2.6 Розрахунок пікових струмів 42
3 Вибір номінальної потужності трансформатора цехової підстанції 44
3.1 Вибір силового трансформатора цеху 45
3.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ 45
4 Вибір перерізу провідників 47
4.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 6 кВ 47
4.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом 47
4.1.2 Вибір перерізу кабелю за максимальним режимом 48

4.1.3 Перевірка кабелю на термічну стійкість 50
4.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ 53
4.3 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ 58
4.4 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ 62
5 Розрахунок струмів короткого замикання 63
5.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в електричних мережах цеху 64
5.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання 71
6 Вибір електричних апаратів 78
6.1 Вибір автомата живильної мережі цеху 82
7 Охорона праці 87
7.1 Характеристика цеху за умовами середовища виробничих приміщень, ступеня пожежної безпеки і вибухонебезпечності, небезпеки ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу 87
7.1.1 Мікроклімат 87
7.1.2. Ступінь пожежної безпеки і вибухонебезпечності 88
7.1.3 Небезпека ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу 89
7.2 Розрахунок заземлення цехової трансформаторної підстанції 89
8 Економічний аналіз варіантів освітлення цеху 95
Висновки 101
Список використаної літератури 102
Додаток А – Головний план підприємства 104
Додаток Б – Однолінійна схема розподільного пристрою «РУ 6 кВ» 105
Додаток В – Схема внутрішнього електропостачання 106
Додаток Г – План розміщення обладнання 107
Додаток Д – Схема внутрішнього електропостачання 108

ВСТУП

Система електропостачання (СЕС) – сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електроенергією. На сучасних підприємствах на функції систем енергопостачання покладена велика відповідальність, оскільки найменший збій в електропостачанні обладнання може спричинити порушення виробничих процесів. Тому необхідно мінімізувати ці ризики ще на стадії розробки проекту системи електропостачання. Помилки, допущені при проектуванні, важко, а іноді і неможливо виправити в процесі експлуатації без істотних капітальних вкладень. Вони можуть привести до нераціональної витрати сировини, матеріалів та енергоресурсів, значного економічного збитку, аварій, катастроф та інших негативних наслідків.

Не менш важливим є питання оптимізації системи електропостачання. Невпинний технічний розвиток, покращення якості життя обумовлюють зростання попиту на електричну енергію, підвищення вимог до її якості, підвищення надійності електропостачання. Збільшення кількості виробництва продукції, розширення асортименту, наприклад, часто призводить до підвищення критеріїв щодо якості електричної енергії, або до збільшення кількості технологічних установок, що, тягне за собою зростання електричного навантаження на систему електропостачання підприємства. В міру розвитку електроспоживання підприємства змінюються й нормативні документи, технологічне обладнання, електричні апарати, електроустановки та мережі і системи електропостачання.

Створення оптимальної системи електропостачання потребує спеціальних навиків, методики, (а часто і програмного забезпечення), яке дозволяє правильно розрахувати всі лінії електропередачі і їх захист від перевантажень, захист людей від ураження струмом а також дорогоцінного обладнання та устаткування. Правильно побудована електрична мережа дозволяє уникнути надмірних капітальних витрат, оскільки витрати на енергетичні ресурси, як правило, стають найбільш дорогим пунктом у кошторисі по утриманню підприємства.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів на підприємстві

Головною особливістю технології виробництва вермішелі швидкого приготування є повна автоматизація виробничого процесу. Цех виробництва вермішелі швидкого приготування обладнаний п'ятьма лініями для виготовлення продукції. Для обслуговування лінії з високою продуктивністю (5-8 тис. упаковок за годину) необхідно всього 8 чоловік. При цьому, особливі вимоги до рівня кваліфікації працівників можуть бути відсутні.

Технологія виробництва макаронних виробів швидкого приготування складається із наступних стадій:

- Замішування тіста;
- Формування макаронних виробів;
- Термічна обробка (парокамера);
- Обжарювання продукту;
- Просушування (охолодження);
- Фасування та упаковка готової продукції.

Вихідною сировиною є пшенична мука найвищого ґатунку з підвищеним вмістом білку. Її ретельно просіюють, додають певну кількість води та замішують в густе тісто рис. 1.1.

Готове тісто подається на вальці пресу, де його розкатують та пресують в декілька етапів вальцями з різним зазором, доки воно не набуде вигляду тонкого листа, що показаний на рис. 1.2.

Рисунок 1.1 – Бункер замішування первинної сировини в тісто

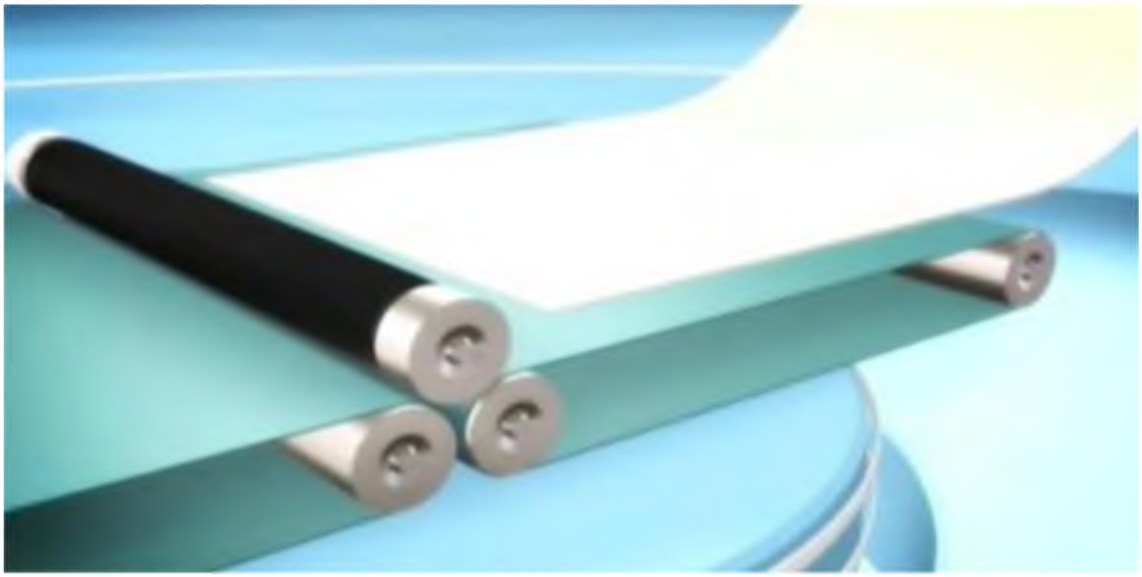

Рисунок 1.2 – Вальцювання тіста

Далі – листи тіста потрапляють на конвеєр ножів, котрий розрізає пласт тіста на сотні ниточок. Хвиляста форма забезпечується завдяки двом рухомим вальцям, шо знаходяться по обидві сторони ножа. Один з них рухається швидше іншого. Завдяки різниці швидкостей вермішель потрапляє в «пробку» та деформується, отримуючи хвилясту форму.

Після того, як вермішель розрізали на окремі ниточки, вона потрапляє на інший конвеєр ножів, який ріже пласт тіста хвилястої форми та формує окремі брикети, готові до термічної обробки (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 – Формування брикетів вермішелі швидкого приготування

Наступним етапом виробництва продукту є пропарювання та обсмаження вермішелі. Цей процес забезпечує майже повну готовність та швидке заварювання продукції. Використання пальмового масла для обсмаження макаронних виробів придає їм золотистого відтінку та збільшує термін зберігання.

Після проходження камери охолодження вермішелі (обдування) вона потрапляє на лінію упакування. Тут, автомат додає до вже готової для споживання продукції сашетки зі спеціями та олією та запаковує в індивідуальні упаковки. Вермішель, також, піддається обстеженню метало детектором на предмет наявності різних металевих предметів (гвинти, шурупи та інше).

1.2 Загальні відомості про навантаження підприємства

Цех з виробництва вермішелі швидкого приготування відноситься до приймачів ІІ-ї категорії надійності електропостачання. План підприємства наведений у додатку А.

Живлення електричною енергією цеху здійснюється від комунального підприємства «Харківські теплові мережі» – ТЕЦ-3 на напрузі 6 кВ (додаток Б). Електропостачання виконується двома кабельними лініями АСБ-6 2×(3×150 мм^2). Прийом електричної енергії та її розподілення між споживачами на території фабрики ТОВ «Техноком» виконується у розподільному пристрої «РУ 6 кВ». РП розподіляє змінний трифазний струм напругою 6 кВ між трьома

трансформаторними підстанціями – КТП №1, КПТ №2 та КТП №3, котрі понижують напругу з 6 кВ до 380 В. Кожна трансформаторна підстанція має по два силові трансформатори «ТМЗ-1000/6». Електрична енергія після трансформації до 380 В розподіляється між силовими приймачами та побутово-технічними приймачами, котрі необхідні для нормального функціонування та роботи фабрики, такими як адміністративно-побутовий комплекс, компресорне устаткування, котельне устаткування, цех приготування м'ясних виробів та ін. Живлення електричною енергією цеху з виробництва вермішелі швидкого приготування виконується від трансформаторних підстанцій «КТП 1» та «КТП 2». Генеральний план наведений у додатку А. Однолінійна електрична схема розподільного пристрою «РУ 6 кВ» наведена у додатку Б. Схема внутрішнього електропостачання підприємства ТОВ «Техноком» зображена у додатку В.

1.3 Загальні відомості про цехові навантаження

Цех працює в 3 зміни, тому перерва в електропостачанні є економічно недопустимою, так як наслідком цього будуть недовипуск продукції, псування сировини та масові простої робітників. Тому, для забезпечення найвищої надійності в електропостачанні, фабрика обладнана двома дизель-генераторними станціями «CATAPILLAR 450 kW» та «CATAPILLAR 700 kW".

Переважна більшість електроприймачів цеху це асинхронні двигуни: це є двигуни бункеру замішування тіста, двигуни вальців, двигуни охолоджуючих вентиляторів та ін. Тому майже все електрообладнання живиться від мережі 380 В змінного струму. Виключенням є деякі електронні пристрої (наприклад електронні ваги або персональні комп'ютери майстрів змін та начальників ліній виробництва) що живляться від напруги 220 В змінного струму. По режиму роботи можна виділити електроприймачі тривалого та повторно-короткочасного режиму. Перелік електроприймачів цеху виробництва вермішелі швидкого приготування наведена у таблиці 1.1. План розміщення обладнання зображено у додатку Г.

Таблиця 1.1 – Перелік ЕП цеху виробництва вермішелі

Найменування ЕП	Кількість приймачів, n	Номінальна потужість $p_{ном}$, кВт	$cos\ \varphi$	К-нт використ. $Кв$
1	2	3	4	5
Дільниця змішування тіста				
Змішувач 1	1	11	0,8	0,8
Змішувач 2	1	11	0,8	0,8
Луго-рідінний насос	1	0,75	0,85	0,7
Насос лужного резервуару	1	1,5	0,85	0,7
Насос лужного резервуару	1	1,5	0,85	0,7
Дільниця конвеєрів автоматичної заправки тіста				
Ролики вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	7	0,55	0,8	0,8
Дільниця вальців				
Вальці безперервного стискання тіста	5	0,75	0,8	0,8
Машина комбінування листів тіста	1	18,5	0,85	0,7
Ролики з'єднання	1	0,75	0,75	0,55
Дільниця парової обробки виробу				
Різальна машина	1	5,5	0,8	0,8
Насос пательного обладнання	1	3,7	0,85	0,7
Вентилятор парової обробки	1	0,2	0,8	0,8
Вентилятор охолодження	1	0,4	0,8	0,8
Насос подачі приправ	1	0,4	0,85	0,7
Роторна машина змішування	1	0,75	0,8	0,8
Апарат для обробки гострим паром	1	0,4	0,75	0,55
Теплообмінний апарат	1	21	0,85	0,7
Елеватор охолодження	1	7	0,75	0,55
Циркуляційний насос масла	1	22	0,85	0,7
Маслофільтр грубої очистки	1	0,2	0,85	0,7
Система паралельного підйому	1	3,7	0,75	0,55
Охолоджуючий конвеєр	1	3,7	0,75	0,55
Вентилятор охолодження	5	0,37	0,8	0,8
Вентилятор охолодження	5	0,37	0,8	0,8
Вентилятор охолодження	4	0,37	0,8	0,8
Вентилятор охолодження	4	0,37	0,8	0,8
Конвеєр збирання	2	0,37	0,75	0,55
Пакувальна машина				
Головний привід	1	2,5	0,75	0,55

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

Розрахункове навантаження споживача або елемента мережі приймається рівним математичному очікуванню максимального навантаження за інтервал часу 30 хв. Розрахункове навантаження (активне P_P, реактивне Q_P, повне S_P, струм I_P) необхідне: для вибору перерізу струмопровідних частин (кабелів, шинопроводів, проводів, тролеїв), номінального струму електричних апаратів, потужності силових трансформаторів, пристроїв компенсації реактивної потужності і перетворювачів, для визначення втрат і відхилень напруги, втрат потужності та електроенергії.

Середні за максимально завантажену зміну активне P_{CM}, реактивне Q_{CM}, повне S_{CM}, навантаження являють собою можливий нижній рівень групового навантаження, обумовлений неоднаковим завантаженням у даний момент часу окремих ЕП.

Фактичне значення розрахункового навантаження залежно від кількості ЕП у групі та їх режиму роботи перевищує середнє, якщо розглядаються лише ЕП, або буде нижчим від середнього, якщо враховується ймовірність одночасної роботи всього технологічного устаткування, тобто залежить від рівня в СЕП, на якому визначається навантаження. Тому величину середнього навантаження за максимально завантажену зміну використовують для визначення розрахункового навантаження.

Піковий струм – це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд. Піковим струмом для одного ЕП є пусковий струм ($I_{ПУСК}$), який виникає при вмиканні одного ЕД або зварювального трансформатора, при експлуатаційному КЗ при зварюванні на одній установці, плавці сталі у дуговій печі та ін. Для групи ЕП піковий струм ($I_{ПІК}$) визначається з урахуванням ЕД з найбільшим пусковим струмом.

Пусковий та піковий струми необхідні для вибору уставок розчеплювачів автоматів та плавких вставок запобіжників, визначення розмаху зміни

напруги для оцінки допустимості коливань напруги та перевірки можливості самозапуску ЕД.

Кожен ЕП характеризується номінальними параметрами, які забезпечують йому найбільший коефіцієнт корисної дії (ККД) та гарантують безвідмовну його роботу протягом гарантованого строку. Основною характеристикою кожного ЕП є його номінальна потужність (указана в паспорті), на яку він розрахований при тривалому режимі роботи і за інших номінальних параметрів, як-то: напруга, частота струму, коефіцієнт потужності.

Отже, вихідні дані для розрахунку навантажень такі:

- установлена (номінальна) потужність ЕП (для ЕД – його активна потужність, для трансформаторів дугового і машин контактного зварювання — повна потужність);
- номінальна напруга ЕП;
- коефіцієнт потужності ЕП;
- режим роботи ЕП (тривалий, ТВ для ЕП повторно-короткотривалого режиму, короткочасний);
- коефіцієнт використання активної потужності;
- фазність ЕП (трифазний або однофазний);
- спосіб приєднання однофазного ЕП (на фазну або лінійну напругу).

Установлена (номінальна) потужність ЕП приймається рівною:

- для ЕД тривалого режиму роботи та всіх видів нагрівальних ЕП – паспортній потужності:

$$p_н = p_{пасп}, \tag{2.1}$$

де $p_{пасп}$ – номінальна потужність на валу ЕД, кВт;

- для ЕД повторно-короткочасного режиму роботи – паспортній потужності (кВт), приведеній до відносної ТВ = 1,

$$p_н = p_{пасп} \cdot \sqrt{ТВ_п}, \tag{2.2}$$

де TB_n – паспортна тривалість вмикання, в.о;

- для зварювальних трансформаторів:

$$s_н = s_{пасп} \cdot \sqrt{TB_n}\,, \tag{2.3}$$

$$p_н = s_{пасп} \cdot \sqrt{TB_n} \cdot \cos\varphi_{пасп}\,, \tag{2.4}$$

де $\cos\varphi_{пасп}$ – паспортне значення коефіцієнта потужності;

- для кранів номінальна активна та реактивна потужності визначаються як для одного ЕП з сумарною номінальною потужністю:

$$P_н = \sum_{i=1}^{n} p_{н.і.}\,, \tag{2.5}$$

$$Q_н = \sum_{i=1}^{n} q_{н.і.} = \sum_{i=1}^{n} p_{н.і.} \cdot tg\varphi_i\,, \tag{2.6}$$

де n – кількість ЕД крана;

$p_{н.і.}$ – номінальна активна потужність і-го ЕП;

$tg\varphi_i$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_i$ і-го ЕП;

У проектованій внутрішньоцехової СЕП при розрахунку навантажень виділяють три рівні за характером формування навантажень: перший, другий та третій.

Рівні визначення розрахункових навантажень наведені на рисунку 2.1.

Перший рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують окремі ЕП до ПРЕ (шинопроводу, СРШ, СРП або силової збірки).

Другий рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують СРШ, силові пункти та збірки, ШРА до збірних шин НН ЦТП або до ШМА.

Третій рівень – це збірні шини НН цехових ТП та ШМА.

Обчислення розрахункових навантажень цеху (ділянки цеху) на другому та третьому рівнях електропостачання здійснюється методом розрахункових

коефіцієнтів [15]. Цей метод належить до основних методів розрахунку електричних навантажень. Він є найбільш точним і рекомендується при визначенні розрахункових навантажень для груп ЕП, коли відомі дані кожного ЕП [2].

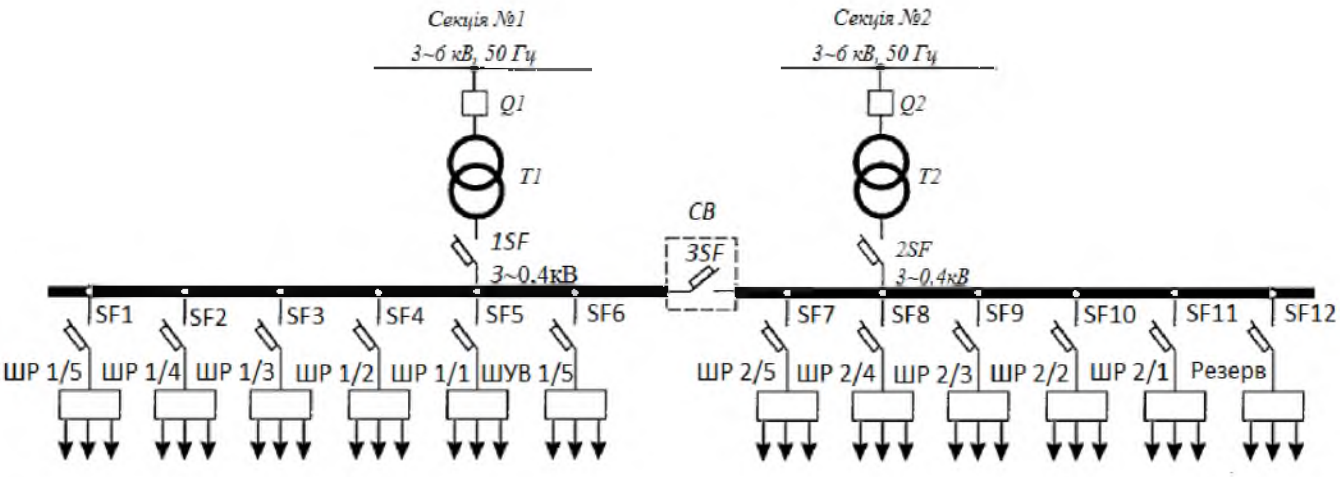

Рисунок 2.1 – Рівні визначення розрахункових навантажень в системі внутрішньоцехового електропостачання

2.1 Визначення розрахункового силового навантаження на першому рівні електропостачання

На першому рівні електропостачання навантаження на лінію (провід, кабель) створюється одним ЕП, тому для всіх таких приєднань при відомому фактичному коефіцієнті завантаження k_3 ЕП розрахункові активні та реактивні навантаження першого рівня електропостачання визначаються за формулами:

$$p_{р.1} = k_з \cdot p_{ном}, \tag{2.7}$$

$$q_{р.1} = q_{ном} \cdot tg\varphi, \tag{2.8}$$

$$s_{р.1} = \sqrt{p_{р.1}^2 + q_{р.1}^2}, \tag{2.9}$$

$$I_{р.1} = \frac{s_{р.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \tag{2.10}$$

де $tg\varphi$ – відповідає паспортному значенню коефіцієнта потужності $cos\varphi$, яке характерне для даного ЕП;

$U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ;

Якщо фактичний коефіцієнт завантаження $k_З$ ЕП невідомий, то при проектуванні приймається $k_З = 1$. Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність ЕП при $ТВ = 1$.

Номінальний струм ЕД визначається як:

$$I_{ном.д} = \frac{p_{ном.д}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi_{ном.д} \cdot \eta_{ном.д}}, \quad (2.11)$$

де $p_{ном.д}$ – номінальна активна потужність ЕД;

$\cos\varphi_{ном.д}$ – номінальний коефіцієнт потужності ЕД;

$\eta_{ном.д}$ – номінальний коефіцієнт корисної дії (ККД) ЕД.

Величини $\cos\varphi_{ном.д}$ та $\eta_{ном.д}$ приймаються з каталогів заводів-виробників і довідників [16, 17].

Доцільно для кожного ЕП обчислити його пусковий струм:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП}, \quad (2.12)$$

де $k_{пуск}$ – коефіцієнт пуску;

$I_{ном.ЕП}$ – номінальний струм ЕП.

Для конкретних ЕП коефіцієнти пуску приймають за паспортними даними. Якщо вони відсутні, то щодо номінального струму ЕП величина пускового струму приймається:

- 5-кратною для асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором та синхронних двигунів (СД);
- 2,5-кратною для двигунів постійного струму та АД з фазним ротором;
- 3-кратною для зварювальних і пічних трансформаторів, машин контактного зварювання при максимальній вторинній напрузі [2].

Визначення розрахункових навантажень на першому рівні електропостачання змішувача №1 дільниці замішування тіста

Для асинхронного двигуна бункеру замішування тіста №1 за формулою (2.7) при прийнятому k_3 = 1 розрахункове активне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$p_{р.1} = p_{ном.д} = 1 \cdot 11 = 11 \, кВт.$$

Для АД змішувача приймається коефіцієнт активної потужності $\cos\varphi$ = 0,8, за формулою (2.8) при прийнятому коефіцієнті реактивної потужності $tg\varphi$ = 0,75, який відповідає заданому коефіцієнту активної потужності $\cos\varphi$ = 0,8, розрахункове реактивне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$q_{р.1} = q_{ном.д} = 11 \cdot 0,75 = 8,25 \, квар.$$

За формулою (2.9) розрахункове повне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$s_{р.1} = \sqrt{p_{р.1}^2 + q_{р.1}^2} = \sqrt{11^2 + 8,25^2} = 13,75 \, кВА.$$

Потім за формулою (2.10) визначається розрахунковий струм першого рівня електропостачання:

$$I_{р.1} = \frac{s_{р.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{13,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 20,891 \, А.$$

За неповними вихідними даними, які при проектуванні беруться із завдань технологів (наводиться найменування устаткування та його встановлена потужність), для АД змішувача приймається коефіцієнт пуску $k_{пуск}$ = 5.

Визначаємо пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП} = 5 \cdot 20,891 = 104,455 \, А.$$

Отримані за формулами (2.7) - (2.12) результати розрахунків для асинхронного двигуна бункеру замішування тіста №1, а також для інших ЕП цеху, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

Найменування ЕП	$p_{ном}$, кВт	cos φ	tg φ	$p_{р.1}$, кВт	$q_{р.1}$, квар	$S_{р.1}$, кВА	Ір.1, А	Іпуск, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дільниця змішування тіста								
Змішувач 1	11	0,8	0,75	11	8,250	13,750	20,891	104,455
Змішувач 2	11	0,8	0,75	11	8,250	13,750	20,891	104,455
Луго-рідінний насос	0,75	0,85	0,619	0,75	0,465	0,882	1,341	6,703
Насос лужного резервуару	1,5	0,85	0,619	1,5	0,930	1,765	2,681	13,406
Насос лужного резервуару	1,5	0,85	0,619	1,5	0,930	1,765	2,681	13,406
Дільниця конвеєрів автоматичної заправки тіста								
Ролики вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	0,55	0,8	0,75	0,55	0,413	0,688	1,045	5,223
Дільниця вальців								
Вальці безперервного стискання тіста	0,75	0,8	0,75	0,75	0,563	0,938	1,424	7,122
Машина комбінування листа тіста	18,5	0,85	0,619	18,5	11,465	21,765	33,068	165,340
Ролики з'єднання	0,75	0,75	0,881	0,75	0,661	1,000	1,519	7,597
Дільниця парової обробки виробу								
Різальна машина	5,5	0,8	0,75	5,5	4,125	6,875	10,445	52,227
Насос пательного обладнання	3,7	0,85	0,619	3,7	2,293	4,353	6,614	33,068
Вентилятор парової обробки	0,2	0,8	0,75	0,2	0,150	0,250	0,380	1,899
Вентилятор охолодження	0,4	0,8	0,75	0,4	0,300	0,500	0,760	3,798
Насос подачі приправ	0,4	0,85	0,619	0,4	0,248	0,471	0,715	3,575

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Роторна машина змішування	0,75	0,8	0,75	0,75	0,563	0,938	1,424	7,122
Апарат для обробки гострим паром	0,4	0,75	0,881	0,4	0,353	0,533	0,810	4,052
Теплообмінний апарат	21	0,85	0,619	21	13,015	24,706	37,537	187,684
Елеватор охолодження	7	0,75	0,881	7	6,173	9,333	14,181	70,903
Циркуляційний насос масла	22	0,85	0,619	22	13,634	25,882	39,324	196,621
Маслофільтр грубої очистки	0,2	0,85	0,619	0,2	0,124	0,235	0,357	1,787
Система паралельного підйому	3,7	0,75	0,881	3,7	3,263	4,933	7,495	37,477
Охолоджуючий конвеєр	3,7	0,75	0,881	3,7	3,263	4,933	7,495	37,477
Вентилятор охолодження	0,37	0,8	0,75	0,37	0,278	0,463	0,703	3,513
Вентилятор охолодження	0,37	0,8	0,75	0,37	0,278	0,463	0,703	3,513
Вентилятор охолодження	0,37	0,8	0,75	0,37	0,278	0,463	0,703	3,513
Вентилятор охолодження	0,37	0,8	0,75	0,37	0,278	0,463	0,703	3,513
Конвеєр збирання	0,37	0,75	0,881	0,37	0,326	0,493	0,750	3,748
Пакувальна машина								
Головний привід	2,5	0,75	0,881	2,5	2,205	3,333	5,064	25,322

2.2 Визначення розрахункового силового навантаження на другому рівні електропостачання

На другому рівні електропостачання навантаження на живильну лінію створюється групою ЕП, які приєднані до ПРЕ. Оскільки одночасно з максимальним навантаженням усі ЕП не працюють, то результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде більшим від середнього навантаження за максимально завантажену зміну (за малої кількості ЕП) або дорівнювати йому (за значної кількості ЕП), що характеризується

коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $K_{ра}$ і розрахункових реактивних навантажень $K_{рр}$.

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K_{р;а}$ залежить від ефективного числа ЕП $n_е$, середньовиваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{в,св}$ та сталої часу нагрівання мережі T_0, яка на другому рівні електропостачання приймається T_0 = 10 хв (розрахунковий інтервал часу нагрівання $3T_0$ = 30 хв).

Ефективне число ЕП $n_е$ – це така умовна кількість однорідних за режимом роботи ЕП однакової потужності, яка обумовлює те саме значення розрахункового навантаження, як і група ЕП різних за режимом роботи та потужністю. Величина ефективного числа ЕП $n_е$ визначається так:

$$n_е = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} p_{ном.і}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} p_{ном.і}^2}, \qquad (2.13)$$

де n – кількість працюючих ЕП в групі;

$p_{ном.і}$ – активна потужність і-го ЕП при $ТВ$ = 1.

Знайдені за формулою (2.13) значення $n_е$ округляються до найближчого меншого цілого числа.

Число ефективних ЕП $n_е$ приймається рівним дійсному числу ЕП n, якщо відношення потужностей найбільшого до найменшого ЕП групи не перевищує 3 ($p_{ном.макс} / p_{ном.мін} \le 3$).

Для груп різних ЕП різної потужності та різного режиму роботи середньовиважений коефіцієнт використання активної потужності:

$$K_{в.св} = \frac{\sum_{i=1}^{k} P_{см.і}}{\sum_{i=1}^{k} P_{ном.і}}, \qquad (2.14)$$

де k – кількість характерних груп ЕП;

$P_{см.і}$ – групова середня активна потужність за максимально навантажену зміну;

$P_{ном.і}$ – групова номінальна активна потужність і-ї групи ЕП, яка визначається за формулою (2.5).

Групове середнє активне навантаження за максимально завантажену зміну і-ї групи ЕП визначається за формулою:

$$P_{см.і} = \sum_{i=1}^{n} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} , \qquad (2.15)$$

де n – кількість ЕП в групі;

$k_{в.і}$ – коефіцієнт використання активної потужності і-го ЕП;

$p_{ном.і}$ – номінальна активна потужність і-го ЕП при ТВ =1.

Коефіцієнти використання активної потужності k_B наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [4, 8]. Якщо в довідкових матеріалах наведені інтервальні значення K_B, то для розрахунку приймають його найбільше значення.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень $K_{ра}$ на другому рівні електропостачання наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [15].

На другому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження $P_{р.2}$ і розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{р.2}$ для n ЕП в групі визначаються за формулами:

$$P_{р.2} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{n} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{n} p_{см.і} , \qquad (2.16)$$

$$Q_{р.2} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^{n} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} \cdot tg\varphi_{ном.і} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^{n} q_{см.і} , \qquad (2.17)$$

де $p_{см.і}, q_{см.і}$ – середні активна та реактивна потужності за максимально завантажену зміну і-го ЕП відповідно;

$tg\varphi_{ном.і}$ – відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{ном.і}$,яке характерне для даного виду ЕП.

У формулі (2.17) коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K_{рр}$ при числі ефективних ЕП $n_e < 10$ приймається $K_{рр} = 1{,}1$, а при $n_e > 10$ приймається $K_{рр} = 1$.

У випадках, коли розрахункове активне навантаження групи ЕП $P_{р.2}$ менше за номінальну потужність найбільш потужного ЕП групи, слід приймати $P_{р.2} = p_{ном.макс}$.

Якщо до вузла приєднано до трьох ЕП включно, то розрахункове навантаження приймається рівним сумі їх номінальних потужностей:

$$P_{р.2} = \sum_{і=1}^{n} p_{ном.і}\,, \tag{2.18}$$

$$Q_{р.2} = \sum_{і=1}^{n} q_{ном.і}\,, \tag{2.19}$$

де $n = 1 – 3$.

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається так:

$$S_{р.2} = \sqrt{P_{р.2}^2 + Q_{р.2}^2}\,, \tag{2.20}$$

Розрахунковий струм визначається так:

$$I_{р.2} = \frac{S_{р.2}}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}}. \tag{2.21}$$

Визначення розрахункового силового навантаження для ШР 1/5 – силової розподільної шафи №1 лінії №5 ШР 1/5, для прикладу розрахунку:

Від ШР1/5 живляться: дільниця замішування тіста дільниця конвеєрів автоматичної заправки тіста та частина дільниці вальців лінії. Перелік приймачів, що приєднані до ШР1/5 приведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Перелік ЕП, що приєднані до ШР1/5

№ ЕП	Найменування ЕП	Кількість приймачів, n	Номінальна потужність $p_{ном}$, кВт	$cos\ \varphi$	$tg\ \varphi$	Коефіцієнт використання $Кв$
Дільниця змішування тіста						
1	Змішувач 1	1	11	0,8	0,75	0,8
2	Змішувач 2	1	11	0,8	0,75	0,8
3	Луго-рідінний насос	1	0,75	0,85	0,619	0,7
4	Насос лужного резервуару	1	1,5	0,85	0,619	0,7
5	Насос лужного резервуару	1	1,5	0,85	0,619	0,7
Дільниця автоматичної заправки тіста конвеєрів						
6-12	Ролики вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	7	0,55	0,8	0,75	0,8
Дільниця вальців						
13	Машина комбінування листа тіста	1	18,5	0,85	0,619	0,7

Сумарна активна номінальна потужність дільниці замішування тіста визначається за формулою (2.5):

$$P_{ном.1-5} = \sum_{i=1}^{n} p_{н.і.} = 11 + 11 + 0,75 + 1,5 + 1,5 = 25,75\ кВт.$$

Сумарна активна номінальна потужність дільниці автоматичної заправки тіста конвеєрів лінії 5 становить:

$$P_{ном.6-12} = \sum_{i=1}^{n} p_{н.і.} = 0,55 \cdot 7 = 3,85\ кВт.$$

Сумарна активна номінальна потужність дільниці вальців лінії 5 становить:

$$P_{ном.13} = \sum_{i=1}^{n} p_{н.і.} = 18,5 \cdot 1 = 18,5\ кВт.$$

Сумарна активна потужність для всіх ЕП ШР1/5:

$$P_{ном.ШР1/5} = \sum_{i=1}^{n} P_{ном.ЕП} = P_{ном.1-5} + P_{ном.6-12} + P_{ном.13} = 25,75 + 3,85 + 18,5 = 48,1\ кВт.$$

Для асинхронних двигунів змішувачів з тривалим режимом роботи приймається середнє значення коефіцієнта використання активної потужності $К_в$ = 0,8. Для асинхронних двигунів насосів приймається середнє значення коефіцієнта використання активної потужності $К_в$ = 0,7. Середнє значення коефіцієнта використання буде становити $К_в$ = 0,75. Сумарне середньозмінне активне навантаження для всіх ЕП ШР 1/5 визначається за формулою (2.15) та дорівнює:

$$P_{см.ШР1/5} = \sum_{i=1}^{n} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} = 0,75 \cdot 48,1 = 36,075\ кВт.$$

Для АД при прийнятому *cos* φ = 0,8, якому відповідає *tg* φ = 0,75, середньозмінне реактивне навантаження:

$$Q_{см.АД} = \sum_{i=1}^{n} p_{ном.і} \cdot tg\varphi_i = ((0,75 \cdot 11) \cdot 2) + ((0,75 \cdot 0,55) \cdot 7) = 19,39\ квар.$$

Для АД насосів при прийнятому *cos* φ = 0,85, якому відповідає *tg* φ = 0,619, середньозмінне реактивне навантаження:

$$Q_{см.насос} = \sum_{i=1}^{n} p_{ном.і} \cdot tg\varphi_i = (0,619 \cdot 0,75) + ((0,619 \cdot 1,5) \cdot 2) + (0,619 \cdot 18,5) = 13,773\ квар.$$

Сумарне середньозмінне реактивне навантаження для всіх ЕП ШР 1/5 дорівнює:

$$Q_{см.ШР1/5} = Q_{см.АД} + Q_{см.насос} = 19,39 + 13,773 = 33,163\ квар.$$

Величина ефективного числа ЕП ШР1/5 визначається за формулою (2.13):

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} p_{ном.і}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} p_{ном.і}^2} = \frac{48,1^2}{2 \cdot 11^2 + 0,75^2 + 2 \cdot 1,5^2 + 7 \cdot 0,55^2 + 18,5^2} = 4,49 = 4$$

Величина ефективного числа ЕП ШР1/5 обирається рівною 4 шт.

Середньовиважений коефіцієнт використання активної потужності для ЕП ШР 1/5 визначається за формулою (2.14):

$$K_{в.св} = \frac{\sum_{i=1}^{k} P_{см.і}}{\sum_{i=1}^{k} P_{ном.і}} = \frac{36,08}{48,1} = 0,75$$

З таблиці джерела [2] n_e – 4 штуки та $K_{в.св}$ = 0,75 коефіцієнт розрахункового активного навантаження $K_{р.а}$ = 1,04. При $n_e \leq 10$ коефіцієнт розрахункового реактивного навантаження $K_{р.р}$ = 1,1.

Розрахункове силове активне навантаження ЕП ШР 1/5 знаходимо за формулою (2.16):

$$P_{р.2} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{см.і} = K_{р.а} \cdot P_{см.ШР1/5} = 1,04 \cdot 36,075 = 37,52 \text{ кВт.}$$

Розрахункове силове реактивне навантаження ЕП ШР 1/5 знаходимо за формулою (2.17):

$$Q_{р.2} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^{n} q_{см.і} = K_{р.р} \cdot Q_{р.2} = 1,1 \cdot 33,163 = 36,48 \text{ квар.}$$

Розрахункове силове повне навантаження ЕП ШР 1/5 знаходимо за формулою (2.20):

$$S_{р.2} = \sqrt{P_{р.2}^2 + Q_{р.2}^2} = \sqrt{37,518^2 + 36,479^2} = 52,33 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм ЕП ШР 1/5 знаходимо за формулою (2.21):

$$I_{р.2} = \frac{S_{р.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{52,329}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 79,51\ А.$$

Навантаження на всі інші ШР знаходимо аналогічно до вище приведеного розрахунку. Результати заносимо до таблиці 2.3.

2.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання

На третьому рівні електропостачання кількість ЕП ще більша, ніж на другому рівні електропостачання. Результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде або більше (у разі малої кількості ЕП), або менше (у разі значної кількості ЕП) середнього навантаження за максимально завантажену зміну, що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $К'_{р.а}$ і розрахункових реактивних навантажень $К'_{р.р}$ [15].

На цьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень $К'_{р.а}$ також залежить від ефективного числа ЕП $n_е$, середньовиваженого коефіцієнта використання активної потужності $К_{в.ср}$ та сталої часу нагрівання мережі T_0, яка приймається T_0 = 2,5 год.

На третьому рівні електропостачання через значну кількість ЕП допускається величину ефективного числа ЕП $n_е$ визначати за спрощеною формулою:

$$n_е = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^{m} p_{ном.і}}{p_{ном.макс}} \qquad (2.26)$$

де m – усі ЕП (без резервних), які живляться від шин НН КТП або ШМА;

$p_{ном.макс}$ – номінальна активна потужність найбільш потужного ЕП усієї групи.

Якщо знайдене за формулою (2.26) значення $n_е > n$, то приймається $n_е = n_е$. Значення $n_е$ округляється до найближчого меншого цілого числа.

Середньовиважений коефіцієнт використання активної потужності визначається за формулою (2.14), але для всіх працюючих ЕП кількістю m.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень $K'_{р.а}$ наводяться у відповідній довідковій технічній літературі [15].

На третьому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження $P_{р.3}$ визначається за формулою:

$$P_{р.3} = K'_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{m} k_{b.i} \cdot p_{ном.i} = K'_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{m} p_{зм.i}\,, \qquad (2.27)$$

На третьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K'_{р.а}$ та коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K'_{р.р}$ приймаються рівними ($K'_{р.а} = K'_{р.р}$), тому розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{р.3}$ визначається як:

$$Q_{р.3} = K'_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^{m} k_{b.i} \cdot p_{ном.i} \cdot tg\varphi_{ном.i} = P_{р.3} \cdot tg\varphi_{св}\,, \qquad (2.28)$$

де $tg\varphi_{св}$ відповідає середньовиваженому значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{св}$.

Розрахункове силове повне навантаження цеху на третьому рівні електропостачання можна визначити так:

$$S_{р.3} = \sqrt{P_{р.3}^2 + Q_{р.3}^2}\,, \qquad (2.29)$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{р.3} = \frac{S_{р.3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \qquad (2.30)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Величина ефективного числа ЕП n_e визначається за спрощеною формулою (2.26)

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^{m} p_{ном.і}}{p_{ном.макс}} = \frac{2 \cdot (48,1 + 43,85 + 37)}{22} = 12,772 \; шт.$$

Приймається найближче менше ціле число n_e. = 12 шт.

Середньовиважений коефіцієнт використання активної потужності для всіх ЕП цеху розраховується за формулою (2.14):

$$K_{в.св} = \frac{\sum_{i=1}^{k} P_{см.і}}{\sum_{i=1}^{k} P_{ном.і}} = \frac{P_{см.ШР1/5} + P_{см.ШР2/5} + P_{см.ШУВ1/5}}{P_{ном.Лінії\ №5}} = \frac{36,08 + 30,5325,35}{128,95} = 0,71.$$

Коефіцієнт розрахункового активного навантаження для обчислених вище ЕП становить n_e = 12 шт. і $K_{в.св}$ = 0,71 з таблиці приймається $K'_{р,а}$ = 0,89. За формулою (2.27) розрахункове силове активне навантаження на третьому рівні електропостачання дорівнює:

$$P_{р.3} = 0,89 \cdot 91,953 = 81,84 \; кВт.$$

Розрахункове реактивне навантаження визначається за формулою (2.27) з урахуванням, що $K'_{р,р}$ = 1,1

$$Q_{р.3} = K_{р.3} \cdot (Q_{см.ШР1/5} + Q_{см.ШР2/5} + Q_{см.ШУВ1/5}) = 1,1 \cdot (33,16 + 21,2 + 17,58) = 79,13 \; квар.$$

Розрахункове силове повне навантаження на третьому рівні електропостачання визначається за формулою (2.29):

$$S_{р.3} = \sqrt{P_{р.3}^2 + Q_{р.3}^2} = \sqrt{81,84^2 + 79,13^2} = 113,84 \; кВА.$$

Розрахунковий струм на третьому рівні електропостачання визначається за формулою (2.30):

$$I_{р.3} = \frac{S_{р.3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{113,84}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 172,96 \; А.$$

Усі розрахункові величини та розрахункові навантаження силових ЕП на третьому рівні електропостачання наводяться в таблиці 2.3.

2.4 Попередній розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним освітленням і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі. Тому електричне освітлення можна розглядати як трифазне навантаження.

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху визначається методом коефіцієнта попиту [1, 12, 18], але для цього слід розрахувати встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху $P_{уст,0}$, яке більш точно визначається світлотехнічним розрахунком (методом коефіцієнта використання світлового потоку). У попередніх розрахунках встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху можна визначити за формулою:

$$P_{уст.0} = k \cdot p_{П.0} \cdot F \cdot 10^{-3}, \qquad (2.31)$$

де k – коефіцієнт, який враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла (для ламп розжарювання приймається k = 1,0; для ламп типу ДРЛ k = 1,1; для ЛЛ низького тиску стартерних k = 1,2, без стартерних – k = 1,35);

$p_{П.0}$ – питома установлена потужність загального освітлення цеху, Вт/м

F – площа цеху (або ділянки цеху), яка підлягає освітленню, м^2 (розміри беруться з плану).

При виборі джерела світла для загального внутрішнього освітлення слід використовувати переважно газорозрядні лампи з найбільшою світловою віддачею.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається як:

$$P_{р.О} = K_{П.О} \cdot P_{уст.О} \ , \qquad (2.32)$$

де $K_{П.О}$ – коефіцієнт попиту загального освітлення;

Для виробничих будівель, що складаються з окремих приміщень, приймається коефіцієнт попиту загального освітлення $K_{П.О}$ = 0,85, для окремих великих прогонів – $K_{П.О}$ = 0,95, для невеликих виробничих будівель – $K_{П.О}$ = 1.

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається так:

$$Q_{р.О} = P_{р.О} \cdot tg\varphi_О \ , \qquad (2.33)$$

де $tg\varphi_О$ відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos\varphi_О$ залежно від типу (виду) джерела світла.

При цьому коефіцієнт активної потужності для ламп розжарювання приймається рівним $\cos\varphi_О$=1,0, для ЛЛ низького тиску $\cos\varphi_О$= 0,95, для ЛЛ високого тиску типу ДРЛ $\cos\varphi_О$ = 0,5.

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою:

$$S_{р.О} = \sqrt{P^2_{р.О} + Q^2_{р.О}} \qquad (2.34)$$

При цьому струм визначається як:

$$I_{р.О} = \frac{S_{р.О}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \qquad (2.35)$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення цеху виробництва вермішелі

Розміри цеху становлять: 145 м × 55 м. За джерело світла приймаються лампи типу ДРИ.

Для ламп типу ДРИ, які використовуються в цеху виробництва вермішелі швидкого приготування , приймається питома установлена потужність загального освітлення $p_{Р.О}$ =11 Вт/м^2 , коефіцієнт k = 1,1.

Установлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.31)

$$P_{уст.0} = k \cdot p_{П.0} \cdot F \cdot 10^{-3} = 1{,}1 \cdot 11 \cdot 145 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 96{,}498\ кВт.$$

Коефіцієнт попиту загального освітлення приймається для окремих великих прогонів $К_{П.О}$ = 0,95. Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.32)

$$P_{р.О} = K_{П.О} \cdot P_{уст.О} = 0{,}95 \cdot 96{,}498 = 91{,}67\ кВт.$$

Для ламп типу ДРЛ приймається коефіцієнт потужності $\cos\varphi_О$ = 0,5, якому відповідає коефіцієнт реактивної потужності $tg\varphi_О$=1,73. Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху виробництва вермішелі визначається за формулою (2.33)

$$Q_{р.О} = P_{р.О} \cdot tg\varphi_О = 91{,}673 \cdot 1{,}73 = 158{,}59\ квар.$$

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.34):

$$S_{р.О} = \sqrt{P_{р.О}^2 + Q_{р.О}^2} = \sqrt{91{,}67^2 + 158{,}59^2} = 183{,}18\ кВА.$$

Розрахунковий струм загального освітлення цеху виробництва вермішелі визначається за формулою (2.35):

$$I_{р.О} = \frac{S_{р.О}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{183,18}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 278,31\ А.$$

Результати розрахунку приведені у таблиці 2.3.

2.4.1 Світло-технічний розрахунок освітлення цеху

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним освітленням і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі.

Розраховуємо електроосвітлення для приміщення, розміри якого наведені вище. У приміщенні цеху передбачаємо робоче технологічне освітлення, за допомогою якого забезпечується нормована освітленість на робочих місцях. Враховуючи світлотехнічні характеристики та економічність існуючих джерел світла та згідно рекомендацій діючий нормативних актів у галузі будівництва, використовуємо дугові ртутні люмінесцентні лампи.

Для освітлення приміщення цеху приймаємо систему загально-рівномірного освітлення.

Величину нормованої освітленості для майстерні залежно від призначення виробничого приміщення та типу прийнятого джерела світла вибираємо за ДБН В.2.5-28-2006. Нормоване значення освітлення для виробничого приміщення при загальному освітленні та використанні газорозрядних ламп складає 500 лк.

При проектування електроосвітлювальних установок враховуємо, що число, розміщення і спосіб установки світильників повинні забезпечувати нормальні умови освітлення при найменших приведених затратах, лінії електроосвітлення повинні мати найменшу довжину і бути зручними у монтажі мережі індустріальним методом.

Згідно ПУЕ мінімальна висота підвісу світильника становить $h_{під.мін}$,, = 2,5 м, приймаємо висоту підвісу $h_{під}$ = 5 м.

Визначаємо відстань між світильниками

$$L = h_{під} \cdot \lambda, \tag{2.36}$$

де λ – коефіцієнт, що визначає найвигіднішу відстань між світильниками, приймаємо λ = 1,6.

$$L = h_{під} \cdot \lambda = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ м}.$$

Визначаємо кількість світильників в ряду

$$n_A = \frac{A}{L}, \tag{2.37}$$

де А – довжина приміщення, м

$$n_A = \frac{A}{L} = \frac{145}{6} = 24,2 \approx 25$$

Приймаємо n_A = 25 шт.

Визначаємо кількість рядів:

$$n_B = \frac{B}{L}, \tag{2.38}$$

де А – довжина приміщення, м

$$n_B = \frac{B}{L} = \frac{55}{6} = 9,2 \approx 10,$$

Приймаємо n_B = 10 рядів.

Загальна кількість світильників становить:

$$n = n_A \cdot n_B, \tag{2.39}$$

$$n = n_A \cdot n_B = 25 \cdot 10 = 250 \text{ шт}.$$

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{під} \cdot (A + B)}, \tag{2.40}$$

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{під} \cdot (A + B)} = \frac{145 \cdot 55}{5 \cdot (145 + 55)} = 7,98.$$

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку. Орієнтовне Значення коефіцієнтів відбиття поверхонь $\rho_{стелі}$= 50% , $\rho_{стін}$ = 30% , $\rho_{підлоги}$ = 10%. Загальний коефіцієнт використання світлового потоку становить $\eta_в$ = 79%.

Визначаємо необхідний світловий потік світильника:

$$\Phi_c = \frac{E_{норм} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta_в \cdot n}, \qquad (2.41)$$

де Φ_c – розрахунковий світловий потік лампи, лм;

$E_{норм}$ – нормована освітленість робочої поверхні приміщення, лк;

S – площа приміщення, м^2;

k – коефіцієнт запасу, (k = 1,5-2);

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для ДРЛ z = 1,15;

$\eta_в$ – коефіцієнт використання світлового потоку;

n – кількість світильників.

$$\Phi_c = \frac{E_{норм} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta_в \cdot n} = \frac{500 \cdot (145 \cdot 55) \cdot 1,5 \cdot 1,15}{0,79 \cdot 250} = 34828 \text{ лм.}$$

Для створення необхідного рівня освітленості в приміщенні використовуємо світильники з дуговими металогалогенними лампами типу ДРИ-400 потужністю 400 Вт, світловий потік яких складає $\Phi_л$ = 35000 лм.

Визначаємо фактичну освітленість:

$$E_ф = \frac{\Phi_л \cdot \eta_в \cdot n}{S \cdot k \cdot z}, \qquad (2.42)$$

$$E_ф = \frac{\Phi_л \cdot \eta_в \cdot n}{S \cdot k \cdot z} = \frac{35000 \cdot 0,79 \cdot 250}{(145 \cdot 55) \cdot 1,5 \cdot 1,15} = 502 \text{ лк.}$$

Знаходимо відхилення фактичної освітленості від нормованого значення:

$$\Delta E_{ф} = \frac{E_{ф} - E_{н}}{E_{н}} \cdot 100\%, \qquad (2.43)$$

$$\Delta E_{ф} = \frac{E_{ф} - E_{н}}{E_{н}} \cdot 100\% = \frac{502 - 500}{500} \cdot 100\% = +0,4\%$$

Порівнюючи нормативне значення освітленості з фактичним, можна зробити висновок про те, що використання ламп ДРИ-400 забезпечує необхідну освітленість робочої поверхні (відхилення освітленості перевищує допустимі норми -10%...+20%).

Також розглянемо можливість використання світильників з світлодіодними лампи для можливої економії електроенергії.

Розрахуємо освітленість на прикладі купольних LED світильників фірми HOROZ ELECTRIC типу GORDION-100 потужністю 100 Вт, світловий потік яких складає $Ф_{л}$ = 10000 лм. Приймаємо висоту підвісу $h_{під}$ = 5 м.

Визначаємо відстань між світильниками

$$L = h_{під} \cdot \lambda = 5 \cdot 1,4 = 7 \text{ м}.$$

Визначаємо кількість світильників в ряду

$$n_{A} = \frac{A}{L} = \frac{145}{7} = 20,7 = 21.$$

Приймаємо n_{A} = 21 шт.

Визначаємо кількість рядів:

$$n_{B} = \frac{B}{L} = \frac{55}{7} = 7,86 = 8.$$

Приймаємо n_{B} = 8 рядів.

Загальна кількість світильників становить:

$$n = n_A \cdot n_B = 21 \cdot 8 = 168 \text{ шт.}$$

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{під} \cdot (A + B)} = \frac{145 \cdot 55}{5 \cdot (145 + 55)} = 7,98.$$

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку. Орієнтовне Значення коефіцієнтів відбиття поверхонь $\rho_{стелі}$= 50% , $\rho_{стін}$ = 30% , $\rho_{підлоги}$ = 10%. Загальний коефіцієнт використання світлового потоку становить $\eta_в$ = 79%.

Визначаємо необхідну кількість світильників:

$$n = \frac{E_{норм} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta_в \cdot \Phi_c} = \frac{500 \cdot (145 \cdot 55) \cdot 1,5 \cdot 1,15}{0,79 \cdot 10000} = 870,7 \text{ шт.}$$

Враховуючи можливість розміщення цілої кількості світильників вздовж ширини та довжини цеху з розмірами АхВ = 55х145 м^2 приймаємо кількість рядів світильників N_A = 18 та кількість світильників у ряді N_B = 46 шт.

Визначаємо фактичну освітленість:

$$E_ф = \frac{\Phi_л \cdot \eta_в \cdot n}{S \cdot k \cdot z} = \frac{10000 \cdot 0,79 \cdot 828}{(145 \cdot 55) \cdot 1,5 \cdot 1,15} = 476 лк.$$

Знаходимо відхилення фактичної освітленості від нормованого значення:

$$\Delta E_ф = \frac{E_ф - E_н}{E_н} \cdot 100\% = \frac{476 - 500}{500} \cdot 100\% = -4,8\%$$

Порівнюючи нормативне значення освітленості з фактичним, можна зробити висновок про те, що використання світильників даного типу забезпечує необхідну освітленість робочої поверхні, при цьому відхилення освітленості не перевищує допустимих норм (+20%.. .-10%).

2.5 Визначення розрахункового навантаження цехової трансформаторної підстанції

Розрахункове навантаження на шинах НН КТП (третій рівень електропостачання) необхідне для вибору номінальної потужності трансформаторів і розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача.

До розрахункових активного $P_{р.з}$ і реактивного $Q_{р.з}$ навантажень силових ЕП слід додати розрахункові активне $P_{р.О}$ і реактивне $Q_{р.О}$ навантаження загального робочого освітлення та аварійного освітлення ($P_{р.а.О}$, $Q_{р.а.О}$).

При обчисленні загального розрахункового навантаження КТП з урахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення цеху приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_о$=1,0.

Необхідні розрахункові дані беруться з підрозділів 2.3 і 2.4.

Загальне розрахункове активне навантаження КТП визначається за формулою:

$$P_{р.КТП} = P_{р.З} + P_{р.о} + P_{р.а.о} \ , \tag{2.44}$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження КТП можна визначити як:

$$Q_{р.КТП} = Q_{р.З} + Q_{р.о} + Q_{р.а.о}, \tag{2.45}$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантаження КТП визначити так:

$$S_{р.КТП} = \sqrt{P^2_{р.КПТ} + Q^2_{р.КТП}} \ , \tag{2.46}$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{р.КТП} = \frac{S_{р.КТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \tag{2.47}$$

де $U_{ном}$ –номінальна напруга мережі до або понад 1 кВ.

Визначення розрахункового навантаження на стороні НН КТП Розрахункове навантаження аварійного освітлення приймається 10 % від робочого.

Розрахунок

Загальне розрахункове активне навантаження ЦТП визначається за формулою (2.44)

$$P_{р.КТП} = P_{р.з} + P_{р.о} + P_{р.а.о} = 81,84 + 91,67 + 9,17 = 182,68\ кВт.$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження КТП визначається за формулою (2.45)

$$Q_{р.КТП} = Q_{р.з} + Q_{р.о} + Q_{р.а.о} = 79,13 + 158,59 + 15,86 = 253,58\ квар.$$

Загальне розрахункове повне навантаження КТП визначається за формулою (2.46)

$$S_{р.КТП} = \sqrt{P^2_{р.КПТ} + Q^2_{р.КТП}} = \sqrt{182,68^2 + 253,58^2} = 312,53\ кВА.$$

Розрахунковий струм з боку НН КТП знаходимо за формулою (2.47)

$$I_{р.КТП} = \frac{S_{р.КТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{312,53}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 474,84\ А.$$

Розрахунок було проведено для 1 лінії виробництва. Оскільки на фабриці працює 5 ліній виробництва вермішелі, значення *Рр.3* та $Q_{р.з}$, а відповідно і $S_{р.з}$ помножуються на п’ять (так як обладнання, встановлене на лініях аналогічне)

Результати заносяться до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків електричних навантажень

Номер ЕП	Найменування ЕП	Кількість ЕП, n	Номінальна потужність, кВТ		Коеф. Використання Кв
			одного ЕП, рн	Загальна Рн	
1	2	3	4	5	6
1-2	Змішувач 1-2	2	11	22	0,8
3	Луго-рідінний насос	1	0,75	0,75	0,7
4-5	Насос лужного резервуару	2	1,5	3	0,7
6-12	Р.вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	7	0,55	3,85	0,8
13	Машина комбінування листа тіста	1	18,5	18,5	0,7
Всього по ШР 1		13		48,1	0,75
1-7	Вальці безперервного стискання тіста	5	0,75	3,75	0,8
8	Ролики з'єднання	1	0,75	0,75	0,55
9	Різальна машина	1	5,5	5,5	0,8
10	Насос пательного обладнання	1	3,7	3,7	0,7
11	Вентилятор парової обробки	1	0,2	0,2	0,8
12	Вентилятор охолодження	1	0,4	0,4	0,8
13	Насос подачі приправ	1	0,4	0,4	0,7
14	Роторна машина змішування	1	0,75	0,75	0,8
15	Апарат для обробки гострим паром	1	0,4	0,4	0,55
16	Теплообмінний апарат	1	21	21	0,7
17	Елеватор охолодження	1	7	7	0,55
Всього по ШР 2		15		43,85	0,70
1	Циркуляційний насос масла	1	22	22	0,7
2	Маслофільтр грубої очистки	1	0,2	0,2	0,7
3	Система паралеьного підйому	1	3,7	3,7	0,55
4	Охолоджуючий конвеєр	1	3,7	3,7	0,55
5-9	Вентилятор охолодження	5	0,37	1,85	0,8
10-14	Вентилятор охолодження	5	0,37	1,85	0,8
15-19	Вентилятор охолодження	4	0,37	1,48	0,8
20-23	Вентилятор охолодження	4	0,37	1,48	0,8
24-25	Конвеєр збирання	2	0,37	0,74	0,55
Всього по ШУВ 1		24		37	0,69
ВСЬОГО ПО ЛІНІЇ		52		128,95	0,81
Навантаження від освітлення					
Навантаження від аварійного освітлення					
ЗАГАЛЬНЕ НАВ. НА КТП					

Продовження таблиці 2.3

Коефіцієнти потужності		Кв·рн	Кв·рн·tg φ	Ефективна кількість ЕС, nе	Коеф. розрах. навантаження Кр	Розрахункова потужність			Розрахунковий мтрум, А
cos φ	tg φ					активна, кВт	реактивна, кВАр	повна, кВА	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,8	0,75	17,60	13,200						
0,85	0,62	0,53	0,325						
0,85	0,62	2,10	1,301						
0,8	0,75	3,08	2,310						
0,85	0,62	12,95	8,026						
0,74	0,92	36,08	33,16	4	1,04	37,52	36,48	52,33	79,51
0,8	0,75	3,00	2,250						
0,75	0,88	0,41	0,364						
0,8	0,75	4,40	3,300						
0,85	0,62	2,59	1,605						
0,8	0,75	0,16	0,120						
0,8	0,75	0,32	0,240						
0,85	0,62	0,28	0,174						
0,8	0,75	0,60	0,450						
0,75	0,88	0,22	0,194						
0,85	0,62	14,70	9,110						
0,75	0,88	3,85	3,395						
0,82	0,69	30,53	21,20	4	1,08	32,98	23,32	40,39	61,37
0,85	0,62	15,40	9,544						
0,85	0,62	0,14	0,087						
0,75	0,88	2,04	1,795						
0,75	0,88	2,04	1,795						
0,8	0,75	1,48	1,110						
0,8	0,75	1,48	1,110						
0,8	0,75	1,18	0,888						
0,8	0,75	1,18	0,888						
0,75	0,88	0,41	0,359						
0,82	0,69	25,35	17,58	3	1,15	29,15	19,33	34,98	53,14
0,79	0,78	91,95	71,94	12	0,89	81,84	79,13	113,84	172,96
						91,67	158,59	183,18	278,31
						9,17	15,86	18,32	27,83
						510,03	570,12	764,96	1162,3

2.6 Розрахунок пікових струмів

Піковий струм ЕП (двох – п’яти ЕД) напругою до 1 кВ визначається як [8]:

$$I_{пік} = I_{пуск.макс} + \sum_{1}^{n-1} I_{ном}^{\cdot} \qquad (2.48)$$

де $I_{пуск.макс}$ – найбільший з пускових струмів одного ЕД у групі за паспортними даними;

$\sum_{1}^{n-1} I_{ном}^{\cdot}$ – сумарний номінальний струм групи ЕП без урахування номінального струму найбільшого за потужністю ЕД;

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП напругою до 1 кВ при активно-індуктивному навантаженні з достатньою точністю можна визначити як арифметичну суму найбільшого з пускових струмів ЕД у групі та розрахункового струму всіх ЕП групи без номінального струму ЕД з найбільшим пусковим струмом при ТВ =1 [3]

$$I_{пік} = I_{пуск.макс} + (I_{р.2} - k_{в} \cdot I_{ном.макс}), \qquad (2.49)$$

де $I_{р.2}$ – розрахунковий струм усіх ЕП (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

$k_{в}$ – коефіцієнт використання ЕД з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$ – номінальний струм ЕД з найбільшим пусковим струмом при $ТВ = 1$.

Найбільші пускові струми ЕД $I_{пуск.макс}$ для даної групи вибираються з таблиці 2.1.

Піковий струм групи ЕД, які вмикаються одночасно, дорівнює сумі пускових струмів цих ЕД. Пікова (пускова) потужність визначається так:

$$S_{пік(пук)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{пік(пуск)}, \qquad (2.50)$$

де $I_{пік}$ – піковий струм, який визначається за формулами (2.48) та (2.49), а пусковий струм $I_{пуск}$ за формулою (2.12);

Як приклад, розрахуємо пікові струми від ЕП радіальної лінії до ШУВ 1/5. Перелік приймачів, які живляться від ШУВ 1/5 наведено у таблиці 2.3. Найпотужніший ЕП цієї групи – циркуляційний насос масла, номінальною потужністю $P_{номд}$ = 22 кВт. Коефіцієнт потужності дорівнює $\cos\varphi$= 0,85, а коефіцієнт використання $k_в$ = 0,7.

Номінальний струм ЕД з найбільшим пусковим струмом при $ТВ$ = 1 і за відсутності паспортних даних ЕД для цієї групи приймачів визначається за формулою (2.11)

$$I_{ном.макс} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,7} = 56,177 \ A.$$

Його пусковий струм знаходимо за формулою (2.12):

$$I_{пуск.макс} = 5 \cdot 56,177 = 280,886 \ A.$$

З підрозділу 2.2 розрахунковий струм другого рівня електропостачання для ЕП ШУВ 1/5 $I_{р.2}$= 53,14 А.

Піковий струм від груп більше п’яти ЕП визначається за формулою (2.49):

$$I_{пік} = 280,886 + (53,14 - 0,7 \cdot 56,177) = 294,702 \ A$$

Аналогічно розраховуються пікові струми інших ЕП. Отримані результати заносимо до табл. 2.4. Вони використовується для вибору уставок розчеплювачів автоматів та плавких вставок запобіжників.

Таблиця 2.4 – Розрахунок пікових навантажень

Назва ШР	Дані найпотужнішого ЕП		Розрахунковий струм, $I_{р.2}$, A	Коефіцієнт використання, в.о.	Піковий струм, $I_{пік}$, A
	Ном. Струм, $I_{ном.макс}$, A	Пуск.Струм, $I_{пуск.макс}$, A			
ШР 1	47,24	236,2	79,51	0,7	282,64
ШР 2	53,62	268,1	61,37	0,7	291,95
ШУВ 1	56,18	280,9	53,14	0,7	294,70

3 ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

При виборі потужності трансформаторів КТП слід враховувати їх навантажувальну здатність.

Потужність трансформаторів КТП вибирають за розрахунковим навантаженням. Оскільки навантаження на шинах 0,38 кВ належить до 3-го рівня електропостачання і визначається за середньозмінним навантаженням за найбільш завантажену зміну, то ця умова виконується, тому що потроєна постійна часу трансформатора ($3T_0 = 3 \cdot 2{,}5 = 7{,}5$ год) порівняна з тривалістю зміни.

Потужність трансформатора вибирають з урахуванням необхідного резервування всіх ЕП 1-ї категорії надійності та основних ЕП 2-ї категорії в результаті роботи автоматичного вмикання резерву (АВР) на секційному автоматі (контакторі) або вмиканні резервної перемички від сусідньої ПС.

Мінімальна потужність трансформатора буде в тому випадку, коли через нього реактивна потужність не передається, а повністю компенсуються на стороні до 1 кВ. Це базовий варіант, при якому розрахункове реактивне навантаження КТП $Q_р$ КТП дорівнює встановленню всієї потужності низьковольтних конденсаторів (НК) $Q_{н.к}$.

При трьох і менше трансформаторах їх номінальну потужність вибирають за розрахунковим активним навантаженням з урахуванням прийнятого коефіцієнта завантаження трансформатора P_m за емпіричною формулою [5,18]

$$S_{ном} \geq S_{номТ.р} = \frac{P_{р.КТП}}{N \cdot \beta}, кВА \qquad (3.1)$$

де $S_{номТ.р}$ – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

$P_{р.КТП}$ – сумарне розрахункове активне навантаження КТП з підрозділу 2.6;

N – кількість трансформаторів ТП.

Обирається найближча більша стандартна номінальна потужність ТР [2].

3.1 Вибір силового трансформатора цеху

Первинна напруга трансформатора 6 кВ.

Через те що ЕП належать до 2-ї категорії надійності, приймається двотрансформаторна КТП і коефіцієнт завантаження трансформатора β_T = 0,7. За формулою (3.1)

$$S_{ном} \geq S_{номТ.р} = \frac{510,03}{2 \cdot 0,7} = 364,307, кВА$$

Вибираємо трансформатор з номінальною потужністю $S_{ном}$ = 630 кВА типу ТМЗ – 630/6/0,4.

3.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ

Оскільки в більшості випадків $S_{ном.Т} > S_{ном.Т.р}$, то через вибрані трансформатори 6/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 6 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження рт. Ця реактивна потужність визначається як [8]

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot \beta_T \cdot S_{ном.Т})^2 - P^2_{р.КТП}}, квар \quad (3.2)$$

Якщо під коренем величина зі знаком мінус, то приймають Q_T = 0. Потужність НК з номінальною напругою 0,4 кВ визначається так:

$$Q_{Н.К} = Q_{р.КТП} - Q_T, квар \quad (3.3)$$

де $Q_{р.КТП}$ – сумарне розрахункове реактивне навантаження КТП, наведено в підрозділі 2.6, квар.

Якщо $Q_{Н.К} < 0$, то встановлювати конденсатори (НК) з номінальною напругою 0.4 кВ не потрібно.

Якщо цехова живильна мережа виконується тільки кабелями, то комплектні конденсаторні установки (ККУ) рекомендується приєднувати до шин розподільного пристрою НН цехової ПС [4]. Для застосування приймається найближча стандартна величина потужності ККУ $Q_{н.к.ст}$, яка вибирається зі спеціальної технічної літератури (каталогів заводів-виготовлювачів) та з таблиці Л. додатка [2]. При двох трансформаторах на ПС кількість ККУ має бути парною.

Якщо при встановленні низьковольтних конденсаторних установок (НКУ) залишається некомпенсована реактивна потужність, то її компенсують за допомогою додаткових високовольтних конденсаторних установок (ВКУ) напругою 6,3 або 10,5 кВ, які встановлені на шинах РП, ЦРП, ПГВ, ГПП. Величина цієї некомпенсованої реактивної потужності для кожної ЦТП незначна, що обумовлене достатньо близьким кроком стандартних величин потужності ККУ, але в разі наявності на підприємстві великої кількості цехових ПС частка її зростає.

Некомпенсовану реактивну потужність визначають за формулою:

$$Q_{неск} = Q_{н.к} - Q_{н.к.ст}, \, квар \tag{3.4}$$

Вибираємо необхідну потужність ККУ, яка приєднана до шин НН однотрансформаторної КТП.

За формулою (3.2) через трансформатор з коефіцієнтом завантаження трансформатора β_T = 0,7 зі сторони 6 кВ у мережу напругою до 1 кВ передається така реактивна потужність:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 630)^2 - 510,03^2} = 719,578 \, квар$$

За формулою (3.3) потужність НК з конденсаторами номінальною напругою 0,4 кВ:

$$Q_{Н.К} = 570,12 - 719,578 = -149,458, \, квар$$

$Q_{Н.К} < 0$, то встановлювати конденсатори з номінальною напругою 0,4 кВ не потрібно.

4 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

У даному дипломному проекті вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельні лінії напругою 6 кВ, які з'єднують трансформатори цехових ПС з шинами РП;
- усієї силової живильної мережі до 1 кВ;
- розподільної мережі від СРШ до ЕП;

Вибір перерізу провідників, як і параметрів інших елементів силової мережі, має відповідати їх роботі в нормальному, форсованому (перевантаження) і аварійному (КЗ) режимах СЕП.

Вибір перерізу провідників у загальному випадку визначається за економічною густиною струму, нагріванням, втратами й відхиленнями напруги, електродинамічною стійкістю й механічною міцністю (ізоляція провідників має відповідати класу напруги) [8, 14].

4.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 6 кВ

Вибір перерізу кабельної лінії напругою 6 кВ здійснюється за нормальним режимом навантаження, а перевірка вибраного перерізу – за максимальним режимом навантаження і на стійкість за аварійним режимом. Перевірку за умовами корони, а також на механічну міцність жил кабелів проводити не потрібно, бо мінімальний переріз алюмінієвої жили для кабелів становить 2,5 мм^2 , а переріз мідної – 1,5 мм^2 , що відповідає мінімальному перерізу провідника.

4.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом

При виборі перерізу кабелю, який живить КТП з трансформатором (трансформаторами) 6/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{норм}$ при радіальній схемі незалежно від числа трансформаторів КТП (один або два) приймається

номінальний первинний струм трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора за формулою:

$$I_{норм} = I_{ном.Т.1} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.Т.1}}, A, \quad (4.1)$$

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

$U_{ном.Т.1}$ – номінальна первина напруга трансформатора, кВ.

Економічно вигідний переріз кабелів визначається як:

$$S_{ек} = \frac{I_{ном}}{J_{ек}}, мм^2, \quad (4.2)$$

де $I_{ном}$ – струм номінального режиму,

$J_{ек}$ – нормоване значення економічно вигідної густини струму, А/мм^2. Розрахунковий економічно вигідний переріз $S_{ек}$ округляється до найближчого більшого або меншого стандартного перерізу $S_{СТ}$, мм^2.

4.1.2 Вибір перерізу кабелю за максимальним режимом

У режимі максимального навантаження кабелів допустимий для даного кабелю струм з урахуванням умови прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов $I_{доп}$ та коефіцієнтів допустимого перевантаження $K_{пер}$, які наводяться в таблицях 1.3.1 і 1.3.2 ПУЭ, порівнюють зі струмом його форсованого режиму $I_Ф$ з урахуванням коефіцієнта резервування $K_{рез}$:

$$K_{пер} \cdot I'_{доп} \geq I_ф = K_{рез} \cdot I_{норм}, A, \quad (4.3)$$

При проектуванні у вихідних даних не задається графік навантаження ЕП цеху, тому ми приймаємо коефіцієнт допустимого перевантаження $K_{пер}$ = 1. Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 6 кВ з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері визначається так:

$$I'_{доп} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot I_{доп}, A, \quad (4.4)$$

де $K_{сер}$ – поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної (таблиця 1.3.3 ПУЕ);

$K_{пр}$ – поправковий коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч у землі (таблиця 1.3.26 ПУЕ);

$I_{доп}$ – допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов (для окремої лінії; стандартних температур для землі та води +15 °С і 25 °С для повітря) залежно від матеріалу жил, їх ізоляції, способу прокладання, А (таблиці).

Поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна також обчислити за формулою:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (4.5)$$

де $T_{ж.н}$, $T_{сер.н}$ – нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно;

$T_{сер}$ – фактична температура навколишнього середовища (приймається залежно від реальних даних).

Таблиця 4.1 – Допустимі температури провідників у нормальному, форсованому та аварійному режимах

Вид провідника	Допустима температура жили $T_{ж.н}$, °С		
	тривала за нормами	короткотривала при перевантаженнях	гранична при коротких замиканнях
Кабелі з паперовою просоченою ізоляцією:			
- до 1 кВ	80	125	200
-6 кВ	65	100	200
-10 кВ	60	90	200
Кабелі і проводи з ізоляцією:			
- гумовою звичайною	55	100	150
- гумовою теплостійкою	65	110	150
- полівінілхлоридною	70	90	150
- поліетиленовою	70	80	120

Допустимі температури нагрівання провідників залежать від їх конструкції та режиму (таблиця 4.1).

Струм форсованого режиму $I_Ф$ для двотрансформаторних ПС з резервуванням між сусідніми ПС за допомогою кабельних перемичок при напрузі до 1 кВ приймається $K_{рез}$ =1,3, при резервуванні за допомогою шинних перемичок НН – $K_{рез}$ =1,4, без резервування – $K_{рез}$ = 1,0 за відсутності даних.

У разі невиконання умови за формулою (4.3) необхідно прийняти нове значення найближчого більшого стандартного перерізу кабелю, щоб вона виконувалась.

4.1.3 Перевірка кабелю на термічну стійкість

При напрузі понад 1 кВ кабелі, які захищаються запобіжниками, на термічну стійкість при КЗ не перевіряються. Термічна здатність може бути оцінена найменшим перерізом кабелю (мм^2), термостійким до струмів КЗ, як:

$$S_{мін} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{I_K^2 t}}{C} = \frac{I_K \sqrt{t}}{C}, \, мм^2, \tag{4.6}$$

де B_K – тепловий імпульс струму, А^{2}с;

C – температурний коефіцієнт, який враховує обмеження допустимої температури кабелю, Ас$^{1/2}$/мм^2;

$I_K = I_{П.0}$ – початкове значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання, А;

t – дійсний час вимикання КЗ, с.

Величина дійсного часу вимикання КЗ t складається з часу дії основного релейного захисту (РЗ) $t_{зах}$. Часу вимикання вимикача $t_{вимик.в}$ (можна прийняти значеннння $t_{вимик.в}$ = 0,05 с) і сталої часу аперіодичної складової струму короткого замикання (T_a = 0,05 с)

$$t = t_{зах} + t_{вимик.в} + T_a, \, с. \tag{4.7}$$

На лініях до КТП, які відходять від шин РП , застосовується двоступеневий струмовий РЗ, який складається зі струмової відсічки (СВ) і максимального струмового захисту (МСЗ).

Основним захистом для радіальних схем живлення КТП без ЕА на вводі до трансформатора (глухий ввід) при коротких лініях, що характерно для промислових підприємств, є СВ. У цьому випадку дійсний час вимикання КЗ можна прийняти t = 0,2с.

Основним захистом для магістральних схем живлення КТП є МСЗ.

Для одноступеневої схеми при магістральному живленні КТП від шин ДЖ дійсний час вимикання КЗ можна прийняти t = 0,6с.

Якщо після розрахунку за формулою (4.6) виконується умова $S_{СТ} > S_{мін}$, то залишається стандартний переріз кабелю. Якщо після розрахунку $S_{СТ} < S_{мін}$, то необхідно прийняти нове найближче більше значення стандартного перерізу кабелю $S_{СТ} > S_{мін}$. Кабель марки ААШв застосовують досить часто. Він має алюмінієві жили, паперову просочену масло-каніфольну та нестікаючою масами ізоляцію, алюмінієву оболонку, шланг поверхневий полівінілхлоридний.

Вибір перерізу кабелю напругою 6 кВ до КТП

Номінальна потужність трансформатора $S_{ном.Т}$=630 кВА. Резервування на стороні передбачене. РП є вбудованим у будівлю фабрики. Від КТП живляться ЕП 2-ї категорії. Тому приймається кількість годин використання максимуму навантаження за рік $T_{макс}$ = 5000 год/рік, коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю $K_{пер}$ = 1, марка кабелю ААШв, температура навколишнього середовища (землі) $T_{сер}$ –20 °С, початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ у максимальному режимі на шинах РП $I_{П.0}$ = 6 кА.

Розрахунок. За формулою (4.1) визначається номінальний первинний струм трансформатора:

$$I_{ном.Т.1} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,62, A.$$

Для кабелів із паперовою ізоляцією з алюмінієвими жилами при $T_{макс}$ = 5000 год/рік економічна густина струму $J_{ек}$ =1,2 А/мм^2. За формулою (4.2) економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи:

$$S_{ек} = \frac{60,62}{1,2} = 50,52, мм^2.$$

Вибирається найближчий більший стандартний переріз кабелю $S_{СТ}$ = 70 мм^2.

При нормованій тривало допустимій температурі кабелю марки ААШв напругою 6 кВ $T_{ж.н}$ = 65 °С, нормованій тривало допустимій температурі середовища $T_{сер.н}$ = 15 °С і фактичній температурі навколишнього середовища $T_{сер}$ =20°С поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища за формулою (4.5):

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{65-20}{65-15}} = 0,95.$$

З таблиці 1.3.3 ПУЕ поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ = 0,94.

Поправковий коефіцієнт на кількість кабелів при прокладці кабелю всередині приміщення цеху приймається $K_{пр}$ = 1.

При прокладці в землі для трижильних кабелів марки ААШв напругою 6кВ і перерізом жили 70 мм допустимий тривалий струм $I_{доп}$ = 190 А. За формулою (4.4)

$$I'_{доп} = 0,95 \cdot 1 \cdot 190 = 180,5\ А.$$

За вихідними даними резервування на стороні НН передбачене, тому приймається коефіцієнт допустимого резервування $K_{рез}$ = 1,4.

Умова перевірки перерізу кабелю в режимі максимального навантаження за формулою (4.3) виконується

$$1 \cdot 180,5 = 180,5\ А \geq 1,4 \cdot 60,62\ А.$$

$$180,5\ A \geq 84,87\ A.$$

Для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і паперовою ізоляцією при напрузі 6 кВ приймається температурний коефіцієнт С = 92 Ас$^{1/2}$/мм^2.

Для радіальної схеми живлення КТП без ЕА на вводі до трансформатора (глухий ввід) при коротких лініях дійсний час вимикання КЗ приймається t = 0,2 с.

Найменший переріз кабелю, який є термостійким до струмів КЗ, визначається за формулою (4.6)

$$S_{мін} = \frac{3 \cdot 10^3 \sqrt{0,2}}{92} = 14,58\ мм^2.$$

Таким чином, $S_{СТ}$ =70 мм^2 > $S_{мін}$=14,58 мм^2, тому вибирається кабель ААШв-6 (3х70).

4.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз живильних мереж в основному вибирають за умовами нагрівання або за економічною густиною струму лише в разі досить великої кількості годин використання максимуму навантаження (понад 4000-5000 год), яка в цехових електричних мережах буває досить рідко.

Основною умовою вибору перерізу провідників є величина нагрівання їх електричним струмом у нормальному, форсованому та аварійному режимах. Якщо температура нагрівання перевищить допустиму, то залежно від величини перевищення й тривалості часу елемент може бути пошкоджений, що спричинить порушення нормальної роботи системи, а в гіршому випадку (загорання ізоляції) може призвести до пожежі. Тому для всіх видів провідників та умов їх застосування головним у виборі перерізу є нагрівання, яке визначається двома ефектами теплового впливу: максимально допустимою температурою та тепловим зносом ізоляції для даного режиму й класу ізоляції.

Як критерій допустимості того чи іншого режиму за нагріванням використовують сумарний вплив на строк служби провідника максимальної температури й тривалості зносу ізоляції за розглянутий період. При різких піках навантаження більшу небезпеку становить можливість перевищення максимально допустимої температури, якщо графік навантаження рівномірний, більшу вагу має складова теплового зносу ізоляції. Гранично допустима температура нагрівання провідників наведена в таблиці 4.1.

Вибір перерізу кабелів

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового:

$$I'_{доп} \geq I_{р.2}, A, \tag{4.8}$$

де $I_{р.2}$ – розрахунковий струм другого рівня.

Допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта $К_{попр}$ так:

$$I'_{доп} = К_{сер} \cdot К_{пр} \cdot К_{попр} \cdot I_{доп}, A \tag{4.9}$$

де $К_{попр}$ = 0,92 (поправковий коефіцієнт $К_{попр}$ вводиться при визначенні $I_{доп}$ для чотирижильних кабелів з пластмасовою ізоляцією напругою до 1 кВ, якщо допустимі тривалі струми взяті з таблиці 1.3.7 ПУЕ як для трижильних кабелів.

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості поправковий коефіцієнт $К_{пр}$ =1, нормована температура середовища $Т_{сер}$= 25 °С.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до великих втрат активної потужності та значних втрат напруги. Для остаточного

вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата.

Форсований режим в електричних мережах напругою до 1 кВ буває досить рідко. Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{кб} = \frac{P_{р.2} \cdot R_{кб} + Q_{р.2} \cdot X_{кб}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \qquad (4.10)$$

де $P_{р.2}$ та $Q_{р.2}$ –максимальні розрахункові активне та реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт та квар;

$R_{кб}$ та $X_{кб}$ – активний та реактивний опори кабелю, Ом;

$U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі. кВ.

Активний і реактивний опір

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}, \qquad (4.11)$$

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб}, \qquad (4.12)$$

де r_n і x_n – активний і реактивний питомі опори кабелю, Ом/м (наведений в довідниковій літературі);

$l_{кб}$ –довжина кабелю, км.

Таким чином, остаточно за умовами нагрівання вибирається лише той переріз кабелю, для якого тривалий допустимий струм буде більший у формулі (4.9), а також виконуються умови допустимої втрати напруги й відповідності до захисного апарата.

При виборі перерізу кабелів іноді замість одного кабелю більшого перерізу доцільно вибрати два (навіть три) кабелі меншого перерізу, що полегшує умови прокладення. Крім того, допустимий струм кабелю більшого перерізу менше ніж у двох (трьох) кабелів такого самого сумарного перерізу [2].

Розрахунок перерізів кабелів живильної мережі цеху

Для кабелю марки АВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.1 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н}$ = 70 °С, та нормована температура середовища при прокладці в повітрі $T_{сер.н}$ = 25 °С. Тоді за формулою (4.5) поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{70-20}{70-25}} = 1,05.$$

З таблиці 1.3.3 ПУЭ поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища також $K_{сер}$ = 1,05.

При прокладці кабелю всередині приміщення цеху поправковий коефіцієнт $K_{пр}$ = 1.

З таблиці 2.2 розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить ШР 1/5, $I_{р.2}$ = 79,51 *А*.

З таблиці [2] для трижильного кабелю з алюмінієвими жилаим при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ}$ = 35 *мм*^{2} допустимий струм становить $I_{ДОП}$ = 90 А. Обираємо 3 кабелі. За формулою (4.9)

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 90 = 86,94 \ А.$$

Таким чином, $I'_{доп}$ = 86,94 *А* > $I_{р.2}$ = 79,51/3 *А*.

$I_{доп}$ = 86,94 *А* > $I_{р.2}$ = 26,503 *А*. Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання становить $P_{р.2}$ =37,52/3 = 12,506 кВт, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{р.2}$ = 36,48/3 = 12,16 квар.

З таблиці [2] для кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{CT} = 35\ мм^2$ приймаються такі питомі опори кабелю: активний – r_n = 0,894 мОм/м; реактивний – x_n = 0,088 мОм/м. Довжина кабелю 1к6= 250 м. Тоді за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб} = 0,894 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 0,196\ Ом.$$

$$X_{кб} = 0,088 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 0,019\ Ом.$$

За формулою (4.10):

$$\Delta U_{кб} = \frac{12,506 \cdot 0,196 + 12,16 \cdot 0,019}{10 \cdot 0,38^2} = 1,86\ \%.$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибирається чотирижильний кабель АВВГ (3×35+1×16).

Переріз кабелів живильної мережі до ПРЕ цеху (ШР 1/5, ШР 2/5, ШР 1/4, ШР 2/4, ШР 1/3, ШР 2/3, ШР 1/2, ШР 2/2, ШР 1/1, ШР 2/1), вибирається аналогічно, як і до ШР 1/5. Розрахунок втрат напруги також проводиться аналогічно. Результати розрахунків наводяться в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вибір перерізу кабелів живильної мережі дільниць

Кабель до ПРЕ	$S_{ст}$, мм2	$I_{доп}$, А	$I_{р.2}$, А	l, м	$dU_{кб}$, %	тип кабелю; переріз, мм^2
До ШР 1/5	35	86,94	79,51	220	1,866	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 2/5	35	86,94	61,37	150	1,273	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 1/4	35	86,94	79,51	220	1,866	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 2/4	35	86,94	61,37	150	1,273	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 1/3	35	86,94	79,51	250	2,121	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 2/3	35	86,94	61,37	180	1,527	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 1/2	35	86,94	79,51	250	2,121	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 2/2	35	86,94	61,37	180	1,527	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 1/1	35	86,94	79,51	250	2,121	АВВГ 3×35+1×16
До ШР 2/1	35	86,94	61,37	180	1,527	АВВГ 3×35+1×16

4.3 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою:

$$I'_{доп} \geq I_{р.1}, A, \tag{4.13}$$

де $I_{р.1}$ – розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм електроприймача).

Допустимий тривалий струм для проводів $I_{доп}$ з полівінілхлоридною ізоляцією з алюмінієвими жилами залежно від перерізу, способу прокладання, кількості проводів у трубі наводиться в таблиці 1.3.5 ПУЭ.

Для остаточного вибору перерізу проводу слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЭ: за механічною міцністю, допустимою втратою напруги. Переріз провідників приймається найбільшим за вище наведеними вимогами.

За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів – 2,5 мм^2 , мідних – 1,5 мм^2.

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{пр} = \frac{P_{р.1} \cdot R_{кб} + Q_{р.1} \cdot X_{кб}}{10 \cdot U^2_{ном}}, \% \tag{4.14}$$

де $p_{р.1}$та $q_{р.1}$– розрахункове активне і реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання ЕП, кВт та квар, відповідно;

$R_{кб}$ та $X_{кб}$– активний і реактивний опір проводу, Ом;

$U^2_{ном}$– номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний та реактивний опори проводів визначають за формулами (4.11) та (4.12).

Вибір проводів від СШР до ЩРО та ЕП

Приймаємо марку одножильного проводу ПВС, спосіб прокладення проводів у металевому кабель-каналі, фактичну температуру навколишнього середовища $T_{сер}$ 20 °С.

Для проводу марки ПВС з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.1 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н}$ = 70°С, нормована температура середовища при прокладенні в відкрито в повітрі $T_{сер.н}$ = 25°С. Тоді за формулою (4.5) поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$=0,95. З таблиці 1.3.3 ПУЕ поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$= 0,95.

При прокладенні проводу всередині приміщення цеху в металевих кабель-каналах поправковий коефіцієнт $K_{пр}$, = 1, бо в довідкових таблицях ураховуються умови прокладки залежно від кількості проводів у каналі.

Для бункеру замішування тіста з таблиці 2.1 $cos\varphi$ = 0,8, ККД приймається рівним $\eta_{номд}$ = 0,75. Номінальний струм ЕП № 1-2 визначається за формулою (2.11):

$$I_{ном.д} = \frac{p_{ном.д}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi_{ном.д} \cdot \eta_{ном.д}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,75} = 27,855\ A.$$

З таблиці [2] для проводів з полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами, які прокладені в каналі, для стандартного перерізу $S_{СТ}$= 5 мм^2 допустимий струм для стандартних умов $I_{доп}$= 31 А. Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища й умов прокладення визначається за формулою (4.4)

$$I'_{доп} = 0,95 \cdot 1 \cdot 31 = 29,45\ A.$$

За формулою (4.13) робимо перевірку:

$$I'_{доп} = 29,45\ A > I_{р.1} = I_{ном.д} = 27,855\ A.$$

Умова виконується.

Умова механічної міцності також виконується (5 мм2> 1,5 мм). З таблиці [2] для проводу зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ}$ = 5 мм^2 приймаються такі питомі опори: $r_п$ = 7,81 мОм/м; реактивний $-x_п$ = 0,102 мОм/м. Довжина проводу до найбільш віддаленого ЕП $l_{пр}$= 20 м. Тоді за формулами (4.11) і (4.12) знаходимо:

$$R_{кб} = 7,81 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,156\ Ом.$$

$$X_{кб} = 0,102 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,00204\ Ом.$$

Для бункерів при $tg\varphi$ = 0,75, який відповідає $cos\varphi$ = 0,85, за формулою (2.8) розрахункове навантаження першого рівня електропостачання:

$$q_{р.1} = 11 \cdot 0,75 = 8,25\ квар.$$

Вибраний переріз перевіряється на втрату напруги за формулою (4.14):

$$\Delta U_{пр} = \frac{11 \cdot 0,156 + 8,25 \cdot 0,00204}{10 \cdot 0,38_2} = 1,202\ \%.$$

Оскільки величина втрат напруги в проводі не перевищує допустимої (5 %), то переріз проводу вибраний правильно.

Переріз проводів розподільної мережі до інших ЕП вибирається аналогічно. Перевірка на втрати напруги, вибір діаметру сталевих труб також здійснюється аналогічно. Результати розрахунку занесені до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку перерізу розподільної мережі від СШР до ЕП

	Номер ЕП	Найменування ЕП	$S_{ст}$, $мм^2$	$I_{р.1}$, А	$I_{доп}$, А	L, м	$dU_{кб}$, %	тип кабелю; переіз, $мм^2$
ШР 1/5	1	2	3	4	5	7	8	9
	1-2	Змішувач 1-2	5	27,855	29,45	20	1,202	ПВС (3х5)
	3	Луго-рідінний насос	1,5	1,899	14,25	20	0,082	ПВС (3х1,5)
	4-5	Насос лужного резервуару	1,5	3,798	14,25	25	0,204	ПВС (3х1,5)
	6-12	Р.вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	1,5	1,393	14,25	15	0,045	ПВС (3х1,5)
	13	Машина комбінування листа тіста	10	46,846	47,5	15	1,513	ПВС (3х10)
ШР 2/5	1-7	Вальці безперервного стискання тіста	1,5	1,899	14,25	20	0,000	ПВС (3х1,5)
	8	Ролики з'єднання	1,5	1,899	14,25	20	0,082	ПВС (3х1,5)
	9	Різальна машина	1,5	13,927	14,25	15	0,062	ПВС (3х1,5)
	10	Насос пательного обладнання	1,5	9,369	14,25	5	0,150	ПВС (3х1,5)
	11	Вентилятор парової обробки	1,5	0,506	14,25	10	0,202	ПВС (3х1,5)
	12	Вентилятор охолодження	1,5	1,012	14,25	15	0,016	ПВС (3х1,5)
	13	Насос подачі приправ	1,5	1,012	14,25	20	0,044	ПВС (3х1,5)
	14	Роторна машина змішування	1,5	1,899	14,25	25	0,055	ПВС (3х1,5)
	15	Апарат для обробки гострим паром	1,5	1,012	14,25	25	0,102	ПВС (3х1,5)
	16	Теплообмінний апарат	16	53,176	66,5	30	0,066	ПВС (3х16)
	17	Елеватор охолодження	2	17,725	18,05	30	3,435	ПВС (3х2)
ШУВ 1/5	1	Циркуляційний насос масла	16	55,709	66,5	30	1,149	ПВС (3х16)
	2	Маслофільтр грубої очистки	1,5	0,506	14,25	30	0,000	ПВС (3х1,5)
	3	Система паралельного підйому	1,5	9,369	14,25	20	2,399	ПВС (3х1,5)
	4	Охолоджуючий конвеєр	1,5	9,369	14,25	20	0,022	ПВС (3х1,5)
	5-9	Вентилятор охолодження	1,5	0,936	14,25	10	0,202	ПВС (3х1,5)
	10-14	Вентилятор охолодження	1,5	0,936	14,25	10	0,202	ПВС (3х1,5)
	15-19	Вентилятор охолодження	1,5	0,936	14,25	10	0,020	ПВС (3х1,5)
	20-23	Вентилятор охолодження	1,5	0,936	14,25	10	0,020	ПВС (3х1,5)
	24-25	Конвеєр збирання	1,5	0,936	14,25	15	0,030	ПВС (3х1,5)

4.4 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ

Комплектні шинопроводи типу ШМА вибирають за струмом форсованого режиму силового трансформатора, до якого вони приєднані, за формулою:

$$I_{ном.ШМА} \geq I_{ф} = K_{рез} \cdot I_{ном.Т.2}, A \quad (4.15)$$

де $I_{ном.ШМА}$ – номінальний струм шинопроводу;

$I_{ф}$ –струм форсованого режиму;

$K_{рез}$ –коефіцієнт резервування, який враховує тривале перевантаження трансформатора, залежно від кількості трансформаторів на ПС і умов резервування на стороні НН;

$I_{ном.Т.2,}$ –номінальний вторинний струм трансформатора.

Номінальний вторинний струм трансформатора визначається як:

$$I_{ном.Т.2} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.Т.2}}, A \quad (4.16)$$

Вибрати переріз ШМА, який живить ЕП 2-ї категорії надійності цеху. ШМА є продовженням розподільного пристрою НН КТП з номінальною потужністю трансформатора $S_{ном.Т}$ = 630 кВА. Резервування на стороні низької нарпуги передбачене ($K_{рез}$ = 1,4).

Номінальний вторинний струм трансформатора КТП за формулою (4.16)

$$I_{ном.Т.2} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 380} = 957,19, A$$

З [11] або таблиці Ж.6 додатка Ж [2] вибирається шинопровід типу ШМА4-1600-44-1УЗ. За формулою (4.14) $I_{ном.ШМА}$ = 1250 A > $I_{ф}$ = 1,4 1340,06 A . Умова виконується.

5 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Елементи СЕП, які потрапили в короткозамкнутий ланцюг, зазнають термічного й електродинамічного впливу струмів. Якщо величина цього впливу перевищує допустиму, елемент пошкоджується і завдає СЕП збитків. Щоб запобігти цьому, треба:

a) визначити величину струмів КЗ;

b) перевірити допустимість цих струмів для вибраних ЕА і струмопровідних частин (якщо струми виявляться більші за допустимі, то потрібно вибрати елемент, що має більшу стійкість або обмежити струми шляхом збільшення індуктивного опору ланцюга);

c) розрахувати захист для селективного вимикання пошкодженої ділянки.

Відповідно до вимог ПУЕ щодо режиму КЗ на стійкість до впливу струмів КЗ в ЕУ до 1 кВ повинні перевірятися розподільні щити, струмопроводи та силові шафи.

Для вибору і перевірки стійкості ЕА і струмопровідних частин до струмів КЗ розрахунку підлягають:

– найбільше початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{n(0)}$;

– ударний струм іу трифазного КЗ.

При виборі й перевірці апаратури щодо її стійкості до струмів КЗ розрахунковим вважається максимальний режим, за якого струми КЗ мають максимальні значення.

При розв'язанні завдань захисту розрахункові умови залежать від цілей розрахунку, яких існує дві: вибір параметрів спрацьовування захистів; перевірка чутливості.

Для перевірки чутливості розрахункові умови відповідають найменшим значенням струмів КЗ у місці установлення захисту (мінімальний режим роботи живильної енергосистеми, найбільша кількість послідовно ввімкнених елементів між джерелами генерації і точкою КЗ).

Унаслідок цього для цілей вибору параметрів спрацьовування захисту визначають найбільші $I_{к.макс}$ і для перевірки чутливості найменші $I_{к.мін}$ значення періодичної складової струму в місці КЗ в елементах мережі, для якої проектується захист. Розрахунок здійснюється для початкового моменту часу.

Таким чином, розрахунковим видом КЗ є:

– при виборі електричних апаратів і провідників за їх стійкістю до дії струмів КЗ – трифазне КЗ;

– при виборі захисту – трьох – і однофазні КЗ [2].

5.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в електричних мережах цеху

Значення струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ впливають на вибір перерізу проводів і жил кабелів, конструкцію струмопроводів, характеристики комутаційних і захисних апаратів. Тому для забезпечення раціонального проектування внутрішньоцехового електропостачання слід виконати достовірний розрахунок струмів КЗ.

Для вибору апаратури і захистів, перевірки селективності їх дії визначають максимальний струм трифазного металевого КЗ, у цьому випадку перехідні опори дуги не враховують. Для перевірки чутливості захистів знаходять мінімальний струм КЗ; при цьому враховують усі перехідні опори контактів (рубильників, автоматів, уставних контактів, болтових з'єднань) і опір дуги в місці пошкодження шляхом введення в схему заміщення активного опору.

При розрахунках струмів КЗ в ЕУ змінного струму напругою до 1 кВ допускається:

1) застосовувати спрощені методи розрахунків, якщо їх погрішність не перевищує 10 %;

2) максимально спрощувати та еквівалентувати всю зовнішню мережу щодо місця КЗ, індивідуально враховувати лише автономні джерела та ЕД, які безпосередньо приєднані до місця КЗ;

3) не враховувати струми намагнічування трансформаторів;

4) не враховувати насичення магнітних систем електричних машин;

До особливостей розрахунку струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ можна віднести таке:

– розрахунки доцільно проводити в іменованих одиницях;

– початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ можна вважати незмінним $I_{П(0)} = I_K^{(3)}$;

– активні опори елементів ланцюга КЗ мають суттєве значення і можуть навіть перевершувати реактивні.

Методика розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ залежить від способу електропостачання – від енергосистеми чи від автономного ДЖ.

Розрахунок струмів КЗ починається зі складання розрахункової схеми, схеми заміщення й вибору точок КЗ. При складанні еквівалентних схем заміщення параметри елементів вихідної розрахункової схеми слід приводити до ступеня напруги мережі, на якому знаходиться точка КЗ [2].

Так як відсутні достовірні дані щодо контактів і їх перехідних опорах, то при обчисленні струмів КЗ ураховуємо їх умовний сумарний опір у мережах, які живляться від трансформаторів потужністю до 1600 кВА включно, згідно з такими рекомендаціями [4]:

а) на розподільних пристроях НН трансформаторів ПС – R_{K1} = 15 мОм;

b) на первинних цехових розподільних пунктах (СРШ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від розподільних пристроїв НН ПС або головних магістралей (ШМА) – R_{K2} = 20 мОм;

c) на вторинних цехових розподільних пунктах і затискачах ЕА, які живляться від первинних розподільних пунктів – R_{K3} = 25 мОм;

d) на затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів – R_{K4} = 30 мОм [2].

Алгоритм визначення струмів трифазного короткого замикання

Визначаємо струм трифазного КЗ у початковий момент часу в електричній мережі напругою цеху в точках К1, К1', К2, К2' і КЗ для схеми на рисунку 5.1.

Вихідні дані взяті з попередніх результатів розрахунків і наведені нижче.

Система: $I_{п(0)}$= 6 кА, $U_{ном.вн}$ = 6 кВ.

Трансформатор типу ТМЗ – 630/6:

$S_{ном.Т}$ = 630 кВА; $U_{ном.ВН}$ = 6 кВ; $U_{ном.НН}$ = 0,4 кВ.

Автомати:

QF1 – ВА55-41: $I_{ном.а}$ = 1000 А;

QF2 – ВА57-35: $I_{ном.а}$ = 80 А;

QF3 – ВА51-25: $I_{ном.а}$ = 25 А.

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 1000/5;

Кабельні лінії:

ААШв-6 (3х70); $l_{кб1}$ = 350 м;

Кб2: АВВГ(3х35+1х16); $l_{кб2}$ = 250 м;

Провід до ЕП: ПВС 3×1,5; $l_{пр}$ = 30м.

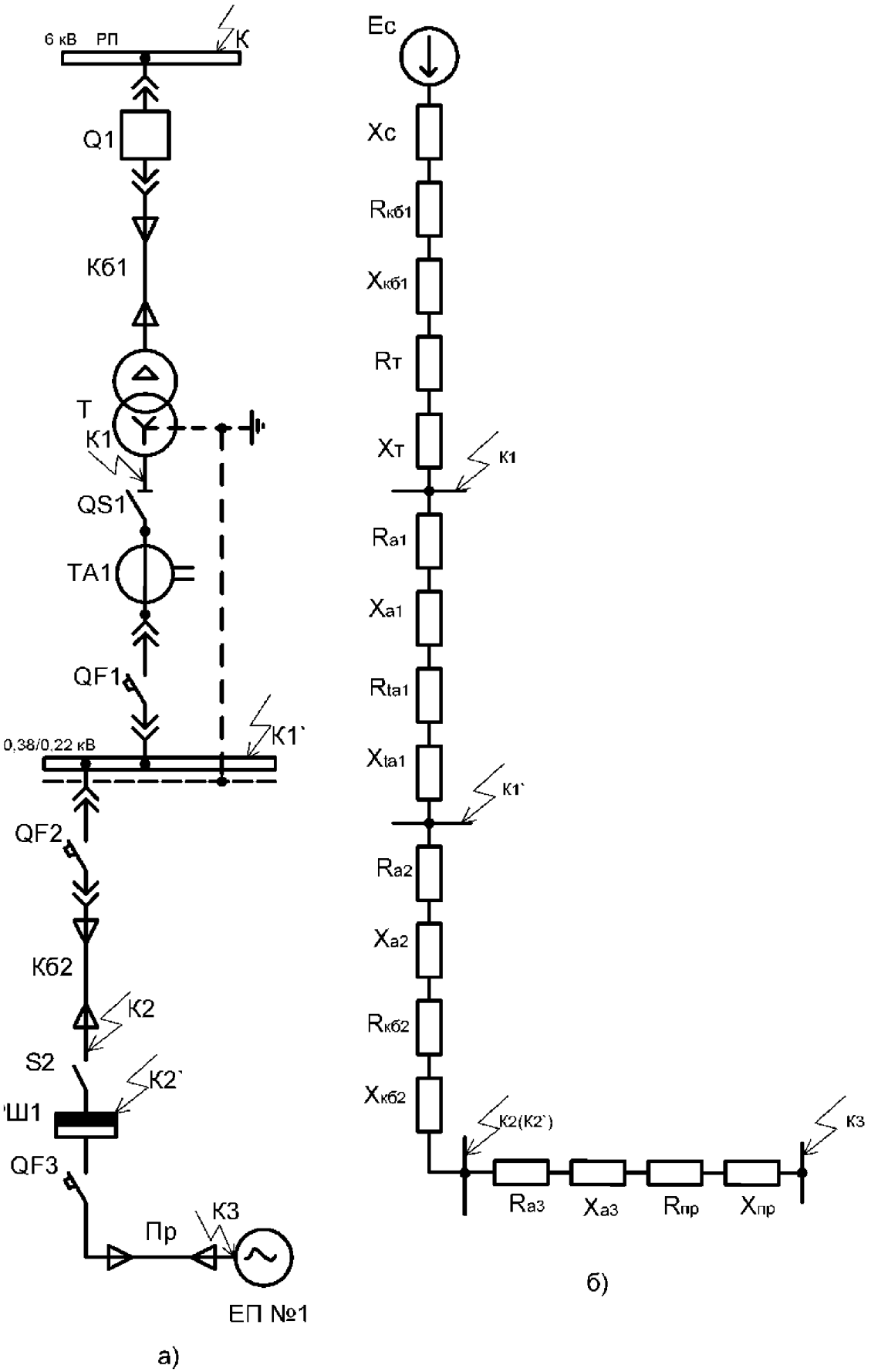

Рисунок 5.1 – Розрахункова схема (а) і схема заміщення (б) для розрахунку струмів трифазного короткого замикання

Розрахунок

Базисна напруга ступеня в електричній мережі напругою до 1 кВ

$$U_б = 1,05 \cdot U_{ном.НН} = 1,05 \cdot 380 = 400\ В$$

1 етап: Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

1) Індуктивний опір системи, який приведений до ступеня НН, визначається за формулою:

$$Xc = \frac{U^2_{ном.сер.НН}}{\sqrt{3} \cdot I_{к.ВН} \cdot U_{ном.сер.ВН}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 6300} = 2,44\ мОм.$$

2) У таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою 6 кВ (Кб1) питомі опори такі: $r_п$= 0,447 мОм/м; $x_п$ = 0,082 мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{кб.1} = r_п \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.сер.НН}}{U_{ном.сер.ВН}} = 0,447 \cdot 350 \frac{400}{6300} = 10,6\ мОм,$$

$$X_{кб.1} = x_п \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.сер.НН}}{U_{ном.сер.ВН}} = 0,082 \cdot 350 \cdot \frac{400}{6300} = 1,822\ мОм.$$

3) З таблиці Л.1 додатка Л [2] приймаються втрати КЗ $P_{к.ном}$ = 7,6 кВт, напруга КЗ $u_к$ = 5,5 %. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами

$$R_Т = \frac{P_{к.ном} \cdot U^2_{ном.НН}}{S^2_{ном.Т}} \cdot 10^6 = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,06\ мОм;$$

$$X_Т = \sqrt{u_к^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{ном.Т}}\right)^2} \cdot \frac{U^2_{ном.НН}}{S_{ном.Т}} \cdot 10^4 = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,63\ мОм.$$

4) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF1 (ВА54-41) приймається $R_{а.1}$ = 0,25 *мОм*; $X_{а.1}$ = 0,1 *мОм*.

5) З таблиці Н.2 додатка Н [2] для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 1000/5 для класу точності 1 приймається $R_{ta1} = 0{,}05$ *мОм*; $X_{ta1} = 0{,}07$ *мОм*.

6) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF2 (ВА57-35) приймається $R_{a.2} = 3{,}5$ *мОм*; $X_{ta2} = 2$ *мОм*.

7) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (Кб2) з однаковим перерізом питомі опори такі: r_n = 0,894 мОм/м; x_n = 0,088 мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії Кб2 визначаються за формулами (4.11)і(4.12)

$$R_{кб.2} = r_n \cdot l_{кб.2} = 0{,}894 \cdot 250 = 223{,}5 \text{ мОм};$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0{,}088 \cdot 250 = 22 \text{ мОм}.$$

8) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF3 (ВА51-25) приймається $R_{a.3}$ = 7 мОм; $X_{a.3}$ = 4,5 мОм.

9) У таблиці М.11 додатка М [2] для проводу до ЕП № 1 питомі опори такі: r_n = 7,81 мОм/м; x_n = 0,102 мОм/м. За формулами (4.29) і (4.30) визначаються активний та індуктивний опори:

$$R_{пр} = r_n \cdot l_{пр} = 7{,}81 \cdot 30 = 234{,}3 \text{ мОм};$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0{,}102 \cdot 30 = 3{,}06 \text{ мОм}.$$

2 етап: Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового надперехідного струму) у різних точках схеми.

1) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1. Сумарні опори щодо точки К1 визначаються так:

$$R_{\sum K1} = R_{кб1} + R_T = 10{,}6 + 3{,}06 = 13{,}66 \text{ мОм};$$

$$X_{\sum K1} = X_c + X_{кб1} + X_T = 2{,}44 + 1{,}822 + 13{,}63 = 17{,}892 \text{ мОм};$$

$$Z_{\sum K1} = \sqrt{R^2_{\sum K1} + X^2_{\sum K1}} = \sqrt{13{,}66^2 + 17{,}892^2} = 22{,}51 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\sum K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,51} = 10,529 \text{ кА}.$$

2) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1'. Сумарні опори щодо точки К1' визначаються так:

$$R_{\sum K1'} = R_{\sum K1} + R_{a1} + R_{та1} + R_{к1} = 13,66 + 0,25 + 0,05 + 15 = 28,96 \text{ мОм};$$

$$X_{\sum K1'} = X_{\sum K1} + X_{a1} + X_{та1} = 17,892 + 0,1 + 0,07 = 18,062 \text{ мОм};$$

$$Z_{\sum K1'} = \sqrt{R^2_{\sum K1'} + X^2_{\sum K1'}} = \sqrt{28,96^2 + 18,062^2} = 34,13 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\sum K1'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 34,13} = 6,766 \text{ кА}.$$

3) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2. Сумарні опори щодо точки К2 визначаються так:

$$R_{\sum K2} = R_{\sum K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к2} = 13,66 + 3,5 + 223,5 + 20 = 260,66 \text{ мОм};$$

$$X_{\sum K2} = X_{\sum K1'} + X_{a2} + X_{кб2} = 18,062 + 2 + 22 = 42,062 \text{ мОм};$$

$$Z_{\sum K2} = \sqrt{R^2_{\sum K2} + X^2_{\sum K2}} = \sqrt{260,66^2 + 42,062^2} = 264,031 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\sum K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 264,031} = 0,875 \text{ кА}.$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2'. Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\sum K2'} = R_{\sum K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к3} = 13,66 + 3,5 + 223,5 + 25 = 265,66 \text{ мОм};$$

$$X_{\sum K2'} = X_{\sum K2} = 42,062 \text{ мОм};$$

$$Z_{\sum K2'} = \sqrt{R^2_{\sum K2'} + X^2_{\sum K2'}} = \sqrt{265,66^2 + 42,062^2} = 268,969 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\sum K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 268,969} = 0,858 \text{ кА}.$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці К3. Сумарні опори щодо точки КЗ визначаються так:

$$R_{\sum K3} = R_{\sum K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{a3} + R_{пр} + R_{к4} =$$
$$= 13,66 + 3,5 + 223,5 + 7 + 234,3 + 30 = 512,06 \text{ мОм};$$

$$X_{\sum K3} = X_{\sum K2} + X_{a3} + X_{пр} = 42,062 + 4,5 + 3,01 = 49,572 \text{ мОм};$$

$$Z_{\sum K3} = \sqrt{R^2_{\sum K3} + X^2_{\sum K3}} = \sqrt{512,06^2 + 49,572^2} = 514,454 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K3(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\sum K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 514,454} = 0,448 \text{ кА}.$$

Результати розрахунку струмів трифазних КЗ у початковий момент часу в електричній мережі цеху в точках К1, К1', К2, К2' і КЗ наводяться в таблиці 5.1.

5.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання

Однофазні КЗ розраховують для перевірки надійності вимикання лінії в разі пробою ізоляції та появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого

небезпечна для життя персоналу. Тому інтерес становить мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде наприкінці ділянки, що захищається, тому що цей струм має бути достатнім для спрацьовування захисту (запобіжника, розчеплювача автомата або вимикача чи запобіжника в ланцюзі 6 кВ, якщо захист у ланцюзі 0,38 кВ нечутливий).

Якщо потужність живильної енергосистеми значна ($X_c < 0{,}1X_m$), початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного металевого КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ "Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора" рекомендують визначати за формулою:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{ПТ}}, \qquad (5.25)$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі, В;

Z_T – повний опір петлі "фаза - нуль" від трансформатора до точки КЗ, обмірюваний при іспитах або знайдений із розрахунків, мОм;

$Z_{ПТ}$ – повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, значення якого залежно від потужності та схеми з'єднання трансформаторів приймається з таблиці Н.3 додатка Н[2] або визначається як:

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T})^2}, \qquad (5.26)$$

де R_{1T}; X_{1T}; – активний та реактивний опір трансформатора струмам прямої послідовності, мОм;

R_{2T} ; X_{2T} –теж, але для зворотної послідовності, мОм;

R_{0T} ; X_{0T} –теж саме, для нульової послідовності, мОм.

Опори трансформатора струмам нульової послідовності значною мірою залежать від схеми з'єднання обмоток трансформатора, тому рекомендується схема "трикутник – зірка з нейтраллю" ($\Delta/Y_н$), у якої порівняно зі схемою "зірка – зірка з нейтраллю" ($Y/Y_н$) струм однофазного КЗ на шинах НН (до 1 кВ) у 3 рази більший, що сприяє надійному спрацьовуванню захисних апаратів (автоматів).

Якщо живильна енергосистема має обмежену потужність, то значення $Z_T^{(1)}$ збільшується з урахуванням опору енергосистеми [21]

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_c)^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_c)^2}, \qquad (5.27)$$

Опір петлі "фаза – нуль" для ланцюга з n послідовно з'єднаних ділянок визначається за формулою:

$$Z_{ПТ} = \sum_{i=1}^{n} z_{n.пт.i} \cdot l_i \qquad (5.27)$$

де $z_{n.пт.i}$ – питомий опір петлі "фаза – нуль" кожної наступної ділянки від трансформатора до точки КЗ, мОм/м (величини z_{nmi} наведені в таблицях Н.6-Н.8 додатка Н [2], у довідкових та інших джерелах);

l_i - довжина і-ї ділянки, м.

Опори контактів шин, апаратів, ТС не враховуються, бо обчислення за формулою (5.25) дає деякий запас для струму внаслідок арифметичного додавання $Z_T^{(1)} / 3$ і $Z_{ПТ}$

Свинцеві оболонки кабелів як заземлюючі провідники використовувати не дозволяється. Для вибухонебезпечних приміщень на допоміжні провідники занулення (алюмінієві оболонки кабелів, сталеві смуги) у розрахунковій схемі не зважають.

Для більш точного визначення струмів однофазних КЗ, крім опорів трансформатора й зовнішньої живильної мережі, ураховують сумарний активний і індуктивний опори петлі "фаза – нуль", що містять опори шинопроводів, апаратів і перехідних опорів, починаючи від нейтралі знижувального трансформатора, а також опір дуги.

З урахуванням опору мережі понад 1 кВ (опорів трансформатора і живильної мережі X_c і R_c), перехідних активних опорів контактів і опору дуги фактичне значення струму однофазного КЗ буде меншим, тому в разі необхідності більш точного визначення струму (наприклад, якщо його величина близька до

уставок спрацьовування захисту) за будь-якої потужності живильної енергосистеми користуються формулою [21]

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_\Sigma^{(1)}}{3} + Z_{ПТ}}, \qquad (5.29)$$

Величина з урахуванням перехідних активних опорів контактів $R_к$ = 15 мОм обчислюється як [2]

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_c + 3R_П)^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_c)^2}, \qquad (5.30)$$

Визначити струм однофазного КЗ у точках К1, К2 і К3

Визначаємо струм однофазного КЗ у точках К1, К2 і К3 для схеми на рисунку 5.2.

Трансформатор типу ТМЗ-630/6, схема з'єднання обмоток трансформатора "трикутник – зірка з нейтраллю" ($\Delta/Y_н$).

Кабельні лінії:

Кб2: АВВГ(3х35+1х16); $l_{кб2}$ = 350м;

Провід до ЕП: ПВС (1х1,5); $l_{пр}$ = 30м.

Розрахунок

З таблиці Н 3 додатка Н [2] для трансформатора з номінальною потужністю 630 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора "трикутник – зірка з нейтраллю" ($\Delta/Y_н$) повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)}$ = 42 мОм. За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3}} = 15,71\,кА$$

З таблиці Н7 додатка Н [2] повні питомі опори $z_{п.пт}$ ланцюга "фаза – нуль" для чотирижильних кабелів та проводів з алюмінієвими жилами такі: $z_{п.пт.кб1}$ = 2,12 мОм/м; $z_{п.пт.пр}$ = 24,08 мОм/м.

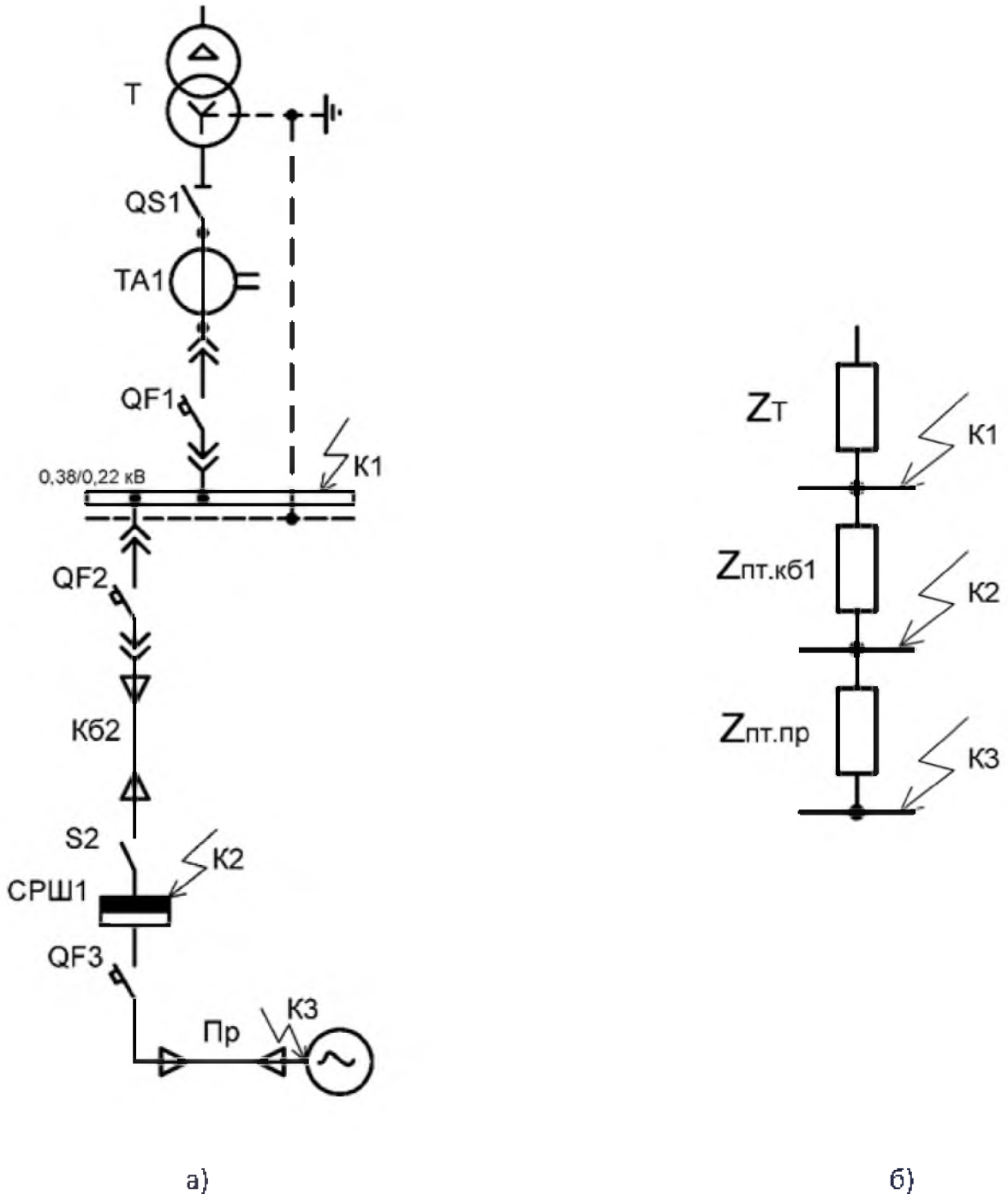

Рисунок 5.2 – Розрахункова схема (а) і схема заміщення (б) для розрахунку струмів однофазного короткого замикання

Повний опір петлі "фаза -нуль" до точки К2 визначається за формулою:

$$Z_{пт.2} = Z_{пт.кб1},$$

$$Z_{пт.2} = 2,12 \cdot 350 = 742 \ мОм.$$

За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ у точці К2:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 742} = 0,296 \ кА$$

Повний опір петлі "фаза - нуль" до точки КЗ визначається за формулою:

$$Z_{пт.3} = Z_{пт.кб1} + Z_{пт.пр} = 742 + 24,08 \cdot 30 = 1464,4 \ мОм.$$

За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ у точці КЗ:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 1464,4} = 0,148 \ кА$$

Результати розрахунку струмів однофазного КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ у точках К1, К2 і КЗ наводяться в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку струмів КЗ у різних точках електричної мережі

№ ШР	№ ЕП	Струм трифазного КЗ, А					Стурм однофазного КЗ, А		
		КЗ	К2'	К2	К1'	К1	КЗ	К2	К1
ШР 1/5	1-2	0,48	0,858	0,875	6,77	10,53	0,409	3,901	15,71
	3	0,48					0,409	3,901	
	4-5	0,4					0,329	3,284	
	6-12	0,531					0,541	4,803	
	13	0,531					0,541	4,803	
ШР 2/5	1-7	0,48	0,888	0,902			0,409	3,901	
	8	0,48					0,409	3,901	
	9	0,531					0,541	4,803	
	10	1,517					1,517	8,943	
	11	0,787					0,797	6,250	
	12	0,531					0,541	4,803	
	13	0,48					0,409	3,901	
	14	0,319					0,329	3,284	
	15	0,319					0,329	3,284	
	16	0,265					0,275	2,835	
	17	0,265					0,275	2,835	
ШУВ 1/5	1	0,265	0,866	0,885			0,275	2,835	
	2	0,265					0,275	2,835	
	3	0,48					0,409	3,901	
	4	0,48					0,409	3,901	
	5-9	0,787					0,797	6,250	
	10-14	0,787					0,797	6,250	
	15-19	0,787					0,797	6,250	
	20-23	0,787					0,797	6,250	
	24-25	0,531					0,541	4,803	

6 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Вибір і перевірка всіх ЕА напругою до і понад 1 кВ мають відповідати таким умовам:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та при короткочасних перенапругах:

$$U_{ном.е.а} \geq U_{ном.м}, \tag{6.1}$$

де $U_{ном.е.а}$ і $U_{ном.м}$, – номінальна напруга ЕА і номінальна напруга електричної мережі (установки), у якій застосовується ЕА;

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{ном.е.а} \geq I_{ф}, \tag{6.2}$$

де $I_{ном.е.а}$ і $I_{ф}$ – номінальний струм ЕА і струм форсованого режиму відповідно, тобто тривалий максимальний робочий струм, який може через нього протікати;

3) відповідності навколишньому середовищу (нормальне, пожежо-небезпечне, вибухонебезпечне та ін.), роду установки (внутрішня, зовнішня) і конструктивному виконанню (висувна, стаціонарна) та ін.;

4) параметрам основної функціональної характеристики: комутаційні ЕА – струм вимикання (вмикання) при КЗ (комутаційна здатність), ЕА захисту – номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи уставки розчеплювача автомата.

Перевірку вибраних ЕА проводять за їх стійкістю та працездатністю при наскрізних струмах КЗ. Мають виконуватися такі умови:

5) струм електродинамічної стійкості $ЕА_{д}$

$$i_{дин} = i_{у}, \tag{6.3}$$

6) допустимий струм термічної стійкості апарата I_T за допустимий час термічної стійкості t_T

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_K^2 \cdot t, \tag{6.4}$$

де I_K *і* t – розрахункові параметри струму КЗ і дійсного часу вимикання КЗ.

Таким чином, номінальна напруга цих автоматів вибирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}. \tag{6.5}$$

Номінальний струм автоматів і номінальні струми розчеплювачів не повинні бути меншими за струм форсованого режиму:

$$I_{ном.а} \geq I_ф, \tag{6.6}$$

$$I_{ном.р} \geq I_ф, \tag{6.7}$$

У формулах (6.6) і (6.7) беруться найближчі значення номінальних струмів автоматів і розчеплювачів. Автомати звичайно мають кілька номінальних струмів розчеплювача. Найбільше значення номінального струму розчеплювача дорівнює номінальному струму автомата, тому $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$. Струм формованого режиму визначається за формулою:

$$I_ф = K_{рез} \cdot I_р, \tag{6.8}$$

де $K_{рез}$ – коефіцієнт резервування;

$I_р$ – розрахунковий струм (береться залежно від місця знаходження ЕА в схемі електропостачання).

Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{с.п}$ (уставка струму теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$) вибирається за умови:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_р, \tag{6.9}$$

де K – коефіцієнт, який приймається 1,1 для автомата вводу QF1 і для автомата QF2, 1,25 – для автомата QF3 або 1,0 на лініях до силових ЕП, які не мають у своєму складі ЕД.

У формулі (6.9) для автомата вводу QF1 як розрахунковий струм приймається струм форсованого режиму трансформатора $I_ф$; для автомата QF2 – розрахунковий струм другого рівня електропостачання $I_{р.2}$; для автомата QF3 – розрахунковий струм першого рівня електропостачання одного ЕП $I_{р.1}$ (номінальний струм ЕП $I_{номЕП}$ при $k_з$ – 1).

У лініях з лампами ДРЛ (ДРІ) за умов кратності пускового струму 2,25– 3 та його тривалості 60-90 с уставка струму спрацьовування від перевантаження (уставка струму теплового розчеплювача) вибирається так:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq 1,3 \cdot I_{р.о}, \tag{6.10}$$

де $I_{р.о}$ – розрахунковий струм лінії освітлення, А.

Для ЛР і ЛЛ низького тиску уставка струму спрацьовування від перевантаження (уставка струму теплового розчеплювача) вибирається як:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq I_{р.о}, \tag{6.11}$$

Для ЛЛ низького тиску пускові струми не враховуються, бо їх тривалість становить 6-8 с, і окремі лампи мають різночасне вмикання. ЛР мають пускові струми до 6 номінальних струмів, але їх тривалість всього декілька мілісекунд.

Автомати не повинні вимикати ділянки, які захищають, при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми та ін.).

Для автомата вводу QF1 спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{с.в}$ визначається за формулою:

$$I_{с.в} \geq (6-10) I_{ном.Т}, \tag{6.12}$$

де $I_{ном.Т}$ – номінальний струм трансформатора на стороні НН.

У формулі (6.12) більші кратності приймаються для трансформаторів з малою номінальною потужністю ($S_{ном.Т}$ < 400 кВА), які мають більші опори та відповідно менші струми КЗ.

Умова перевірки від пікових струмів для групи ЕП (автомат QF2 і від пускових струмів для одного ЕП (автомат QF3 полягає у виборі уставки струму

спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{с.в}$ (уставки струму електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) більше цих струмів відповідно не менш ніж на 25 %, тому що похибка від розкиду характеристик може досягати до 15 %

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 I_{пік}, \quad (6.13)$$

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 I_{пуск}, \quad (6.14)$$

де $I_{пуск}$ та $I_{пік}$ – піковий струм групи ЕП за формулами (2.40), (2.41) і пусковий струм одиночного ЕД за формулою (2.12) відповідно (дані пускових і пікових струмів беруться з результатів розрахунків розділу 2: приклади 2.1 і 2.6 відповідно).

У лініях з ККУ струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача) вибирається за формулою:

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,3 I_{ном.ККУ}, \quad (6.15)$$

де $I_{ном.ККУ}$ – номінальний струм ККУ, який обчислюється за формулою (4.13).

Як комутаційний апарат автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{номв.а} \geq I_{п.о} = I_{к}^{(3)}, \quad (6.16)$$

де $I_{номв.а}$ – номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{п.о} = I_{к}^{(3)}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ, до того ж для автоматів вводу й секційних автоматів цей струм визначають для металевого КЗ без перехідних опорів, а для інших (автоматів QF2 і QF3–з урахуванням опору контактів Як.

Відповідно до пункту 4 (функціональне призначення) для чутливості захисту (надійного його спрацювання) мінімальний струм КЗ (звичайно це струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці лінії, яка захищається) має перевищувати уставки розчеплювачів залежно від їх типів у таких співвідношеннях:

- для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового) з номінальним струмом більше 100 А

$$I_к^{(1)} \geq 1,25 I_{с.в}, \quad (6.17)$$

та при струмі до 100 А включно:

$$I_к^{(1)} \geq 1,4 I_{с.в}, \quad (6.18)$$

- для розчеплювачів уповільненої дії:

$$I_к^{(1)} \geq 3 I_{с.в}, \quad (6.19)$$

Вибірковість дії послідовно встановлених автоматів забезпечується за умови, що їх захисні характеристики на карті селективності не повинні перетинатися, до того ж уставки струму розчеплювачів уповільненої й миттєвої дії в автомата, розташованого ближче до ЕП, мають бути в 1,5 рази менші, ніж у більш віддаленого автомата [2].

6.1 Вибір автомата живильної мережі цеху

Вибір автомата вводу QF1: $S_{ном.Т}$ = 630кВА тому вибирається КТП-630/6, яка комплектується шафою вводу типу ШНВ-2УЗ . Вибираємо автомат ВА55-43 струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами. За формулою (6.5) номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \geq 380 \; B$$

За формулою (4.15) визначимо номінальний вторинний струм трансформатора:

$$I_{ном.Т2} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,19 \; A.$$

Для двотрансформаторної ПС з резервуванням на стороні НН і за відсутності даних систематичного перевантаження коефіцієнт резервування

приймається $K_{рез}$ = 1,4, тому форсований струм трансформатора за формулою (6.8) дорівнює:

$$I_{ф} = 1,4 \cdot 957,19 = 1340\ A$$

Тоді за формулою (6.6) номінальний струм автомата ВА 55-43:

$$I_{ном.а} = 1600 > I_{ф} = 1340\ A.$$

Для автомату ВА55-43 кратність струму спрацьовування (уставки) теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р}/I_{ном.т.р}$) становить 1,25. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = 1,25 \cdot I_{ном.т.р} = 1,25 \cdot 1600 = 2000\ A.$$

За формулою (6.9):

$$I_{у.т.р} = 2000\ A > 1,1 \cdot 1340 = 1474\ A.$$

Для автомату ВА55-43 у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічки $I_{с.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р}/I_{ном.т.р}$) становить 7. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача)

$$I_{с.е} = I_{у.е.р} = 7 \cdot I_{ном.т.р} = 7 \cdot 1600 = 11200\ A.$$

За формулою (6.12):

$$I_{с.е} = 1200\ A > 6 \cdot 1340 = 8040\ A.$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу береться струм трифазного КЗ у точці К1 (без урахування $R_к$) з таблиці 5.1 $I_{к1(0)}$ = 8,71 кА. Для автоматів ВА55-43 вимикаюча гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а}$=1600А становить $I_{ном.в.а}$=85кА. За формулою (6.16)

$$85\ кА > 8,71\ кА.$$

Для перевірки чутливості захисту з таблиці 5.1 струм однофазного КЗ на шинах НН КТП $I_к^{(1)} = 15,71\ кА$. За формулою (6.17) для електромагнітного розчеплювача з номінальним струмом більше 100 А

$$I_к^{(1)} = 15,71\ кА > 1,25 \cdot 7 = 8,75\ кА.$$

Остаточно вибирається автомат ВА55-43 з такими параметрами: $U_{ном.а}$= 660В; $I_{ном.а}$= 1600А; $I_{ном.т.р}$= 1600А; $I_{у.р}$= 2000А; $I_{у.е}$= 11200 А; $I_{ном.в.а}$= 85 кА.

Результати вибору ЕА зручно подати у вигляді таблиці: у першій колонці записують умови вибору, у другій – каталожні дані ЕА, у третій – розрахункові дані (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Каталожні та розрахункові дані автомата вводу QF1 типу ВА55-43

Умови вибору	Каталожні дані автомата	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.м}$	$U_{ном.а} = 660\ В$	$U_{ном.м} = 380\ В$
За номінальним струмом автомата $I_{ном.а} \geq I_ф$	$I_{ном.а} = 1600\ А$	$I_ф = K_{рез} \cdot I_{ном.т} = 957,19 \cdot 1.4 = 1340\ А$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{ном.а} \geq I_ф$	$I_{ном.р} = 1600\ А$	$I_ф = K_{рез} \cdot I_{ном.т} = 957,19 \cdot 1,4 = 1340\ А$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{ном.а} > I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 1600\ А$	$I_{ном.р} = 1600\ А$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{с.п}=I_{у.т.р} > 1,1\ I_ф$	$I_{у.т.р} = 1,25 \cdot I_{ном.т.р} = 1,25 \cdot 1600 = 2000\ А$	$1,1 I_ф = 1,1 \cdot 1340 = 1474\ А$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_к^{(3)}$	$I_{ном.в.а} = 85\ кА$	$I_{п.о} = I_к^{(3)} = 8,71\ кА$
За умовою чутливості $I_к^{(3)} \geq 1,25 I_{с.в}$	$1,25 Iс.в = 1,25 \cdot 7 = 8,25\ кА$	$I_к^{(1)} = 15,71\ кА$

Таблиця 6.2 – Результати вибору лінійних автоматів

Живильна лінія	Тип автомата	$U_{ном.а}$,В	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.т.р}$,А	$I_{у.т.р}$, А	$I_{.у.е.р}$, А	$I_{ном.в.а}$, кА
До ШР 1/5	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 2/5	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
до ШР 1/4	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 2/4	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 1/3	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 2/3	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 1/2	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 2/2	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР1/1	ВА 52-33	660	160	200	200	2000	38
До ШР 2/1	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30
До ШУВ1/5	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30
До ШУВ 1/4	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30
До ШУВ 1/3	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30
До ШУВ 1/2	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30
До ШУВ 1/1	ВА 52-31	660	100	80	100	1000	30

Однолінійна схема внутрішнього електропостачання з позначенням КТП і лінійних автоматів приведена у додатку В

Таблиця 6.3 – Результати вибору автоматичних вимикачів до ЕП

Номер ЕП	Найменування ЕП	$I_{р.1}$, А	Тип автомата	$U_{ном.а}$, В	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.т.р}$, А	$I_{у.т.р.}$ А	$I_{у.е.р}$, А
1-2	Змішувач 1-2	27,855	ETI	380	32	25	31,2	312,5
3	Луго-рідінний насос	1,899	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
4-5	Насос лужного резервуару	3,798	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
6-12	Р.вальців безперервного наповнення конвеєра 4-10	1,393	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
13	Машина комбінування листа тіста	46,846	ETI	380	60	50	60	600
1-7	Вальці безперервного стискання тіста	1,899	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
8	Ролики з'єднання	1,899	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
9	Різальна машина	13,927	ETI	380	16	12,5	15,6	156,25
10	Насос пательного обладнання	9,369	ETI	380	10	10	14	140
11	Вентилятор парової обробки	0,506	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
12	Вентилятор охолодження	1,012	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
13	Насос подачі приправ	1,012	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
14	Роторна машина змішування	1,899	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
15	Апарат для обробки гострим паром	1,012	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
16	Теплообмінний апарат	53,176	ETI	380	60	50	60	600
17	Елеватор охолодження	17,725	ETI	380	25	20	25	280
1	Циркуляційний насос масла	55,709	ETI	380	60	50	60	600
2	Маслофільтр грубої очистки	0,506	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
3	Система паралельного підйому	9,369	ETI	380	10	10	14	140
4	Охолоджуючий конвеєр	9,369	ETI	380	10	10	14	140
5-9	Вентилятор охолодження	0,936	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
10-14	Вентилятор охолодження	0,936	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
15-19	Вентилятор охолодження	0,936	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
20-23	Вентилятор охолодження	0,936	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25
24-25	Конвеєр збирання	0,936	ETI	380	6	2,5	5,6	56,25

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Характеристика цеху за умовами середовища виробничих приміщень, ступеня пожежної безпеки і вибухонебезпечності, небезпеки ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу

7.1.1. Мікроклімат

Контроль температури повітря в цеху здійснюється згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Повітря робочої зони», який встановлює оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови в залежності від характеру виробничих приміщень, пори року і категорії виконуваної роботи. Категорія робіт відповідає категорії IIа (середньої тяжкості). Для забезпечення нормальних метеорологічних умов повинна бути передбачена теплоізоляція стінок обладнання та встановлення вентиляційної системи.

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів у виробничих приміщеннях і на робочих місцях не повинні перевищувати величин, що визначаються нормами, зазначених у ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Повітря робочої зони».

Природне і штучне освітлення на підприємства повинно відповідати вимогам СНиП 23-05-95 «Природне і штучне освітлення».

Крім води, використовуваної в технологічному процесі, підприємство з виробництва вермішелі швидкого приготування обладнане системою подачі води для господарсько-побутових потреб. Система каналізації – господарсько-побутова. Водопостачання та каналізація регулюються ГОСТ 2874-82, СНиП 2.04.01-85 «Внутрішній водопровід і каналізація будинків», СНиП 2.04.02-84 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди ", БНіП 2.04.03-85 «Каналізація зовнішні мережі та споруди»

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризується наступними показниками:

- Температура повітря,
- Відносна вологість повітря,
- Швидкість руху повітря,
- Інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання,
- Температура поверхні.

Для робочої зони виробничих приміщень встановлюються оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови з урахуванням тяжкості виконуваної роботи та періоду року. При одночасному виконанні в робочій зоні робіт різної категорії важкості рівні показників мікроклімату повинні встановлюватися з урахуванням найбільш численної групи працівників.

Система електропостачання споживачів виконана на напругу 0,4 кВ. Мережа освітлення виконана на напругу 220 В. Мережа другого рівня електропостачання виконана кабелем АВВГ прокладена в повітрі в середині цеху, мережа другого рівня - проводом ПВС в металевому кабель-каналі. У всіх випадках виключена можливість механічного пошкодження і великих розтягуючих зусиль кабелів та проводів. Для захисту електричних мереж встановлені автоматичні вимикачі. Все електрообладнання має заземлення.

7.1.2 Ступінь пожежної безпеки і вибухонебезпечності

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» цех «В»: горючі гази (ГГ), легкозаймисті, горючі і важкогорючі рідини, а також речовини та матеріали, які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним вибухати і горіти або тільки горіти; горючий пил і волокна, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (обертаються), не відносяться до категорій А, Б і питома пожежна

навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м^2 кожна перевищує 180 МДж/м^2.

7.1.3 Небезпека ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу

З електробезпеки цех відноситься до категорії з підвищеною небезпекою (2 клас). Для захисту людей від ураження електричним струмом виробниче обладнання повинно відповідати таким вимоги:

1) струмопровідні частини виробничого обладнання є джерелом небезпеки повинні бути надійно ізольовані або розташовані в недоступних для людей місцях;

2) металеві частини виробничого обладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції струмоведучих частин можуть опинитися під напругою небезпечної величини, повинні бути заземлені (занулені).

розміщення виробничого обладнання у виробничих приміщеннях не повинно представляти небезпеки для персоналу та повинна відповідати діючим нормам технічного проектування СНіП і правилам ТБ, ГОСТ 12.2.061-81.

7.2 Розрахунок заземлення цехової трансформаторної підстанції

При розрахунку ПЗ визначають тип заземлювачів, їх кількість та місце розміщення, а також переріз заземлюючих провідників. Розрахунок ПЗ являє собою визначення опору розтікання струму штучних заземлювачів, який не перевищить нормованого значення $R_{з.ном}$ залежить від провідності ґрунту, конструкції заземлювача та глибини його закладання.

Провідність ґрунту характеризується питомим опором ρ (Ом·см або Ом·м), який залежить від складу ґрунту, його вологості, температури та інших показників і може змінюватися в широкому діапазоні. Питомий опір ґрунту – це опір між протилежними сторонами куба ґрунту з ребром 1 см або 1 м. ПУЕ

рекомендує визначати питомий опір ґрунту шляхом безпосередніх вимірів в тому місці, де будуть розміщуватися заземлювачі. При цьому слід враховувати сезонні коливання питомого опору ґрунту. Навесні та восени питомий опір ґрунту нижчий, ніж узимку та влітку. Збільшення питомого опору ґрунту взимку та влітку враховується за допомогою коефіцієнта підвищення опору який має три значення [2].

Розрахункове значення питомого опору ґрунту в місці ПЗ

$$P_p = \rho_{вим} \cdot \psi. \qquad (7.1)$$

У разі відсутності даних виміру для розрахунків користуються значеннями питомих опорів ґрунтів, які рекомендуються. Приблизні значення питомих опорів ґрунтів ρ наводяться в довідковій та технічній літературі [2,12].

ПУЕ рекомендує використовувати природні заземлювачі, що забезпечує значну економію коштів. Якщо їх опір $R_{з.пр}$ більший, ніж нормована величина опору ПЗ $R_{з.норм}$, то необхідну величину опору штучних заземлювачів $R_{з.шт}$ визначають як

$$R_{з.шт} = \frac{R_{з.пр} \cdot R_{з.норм}}{R_{з.пр} - R_{з.норм}}. \qquad (7.2)$$

За формою розташування заземлювачів розрізняють зосереджені й контурні заземлення. При контурному заземленні заземлювачі розташовуються за периметром території, яка захищається, а іноді також і всередині неї. Спосіб розміщення заземлювачів (у ряд або за контуром) визначається за планом установки.

Розрахуємо ПЗ двотрансформаторної КТП 630 кВА напругою 6/0,4 кВ. Для розрахунку використовуються такі вихідні дані:

1) мережа 6 кВ працює з ізольованою нейтраллю;

2) на стороні НН напругою 0,38/0,22 кВ нейтраль є глухозаземленою;

3) найбільший розрахунковий струм замикання на землю через ПЗ на стороні 6 кВ $I_З$ = 12,5 А;

4) ґрунт у місці спорудження - суглинок;

5) кліматичний район, де розташований проектований цех - третій;

6) опір природних заземлювачів прийняти рівним $R_{з.пр} = 0$.

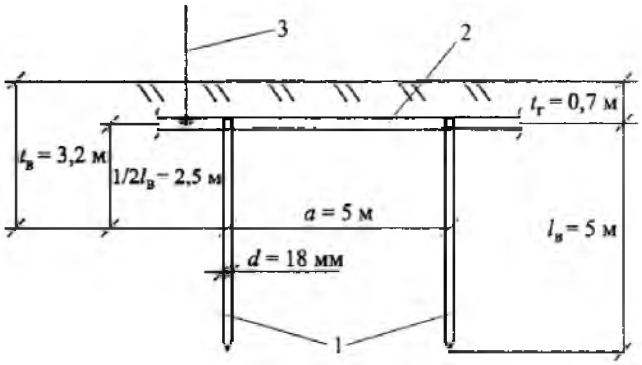

Рисунок 7.1 – Конструкція пристрою заземлення:

1 – вертикальний зазмелювач; 2 – горизонтальний заземлювач;
3 – заземлюючий провідник.

1) Намічається ПЗ для внутрішньоцехової КТП із зовнішнього боку цеху з розташуванням вертикальних заземлювачів за контуром з відстанню між електродами а = 5 м. Матеріал вертикальних заземлювачів – кругла сталь (електрод) діаметром d = 18 мм і довжиною $l_в$ = 5 м. Метод занурення вертикальних заземлювачів – вкручування. Верхні кінці вертикальних заземлювачів занурені на глибину $t_г$ = 0,7 м і приварені до горизонтального заземлювача із сталевої смуги шириною b = 40 мм і висотою h = 4 мм (рис. 7.1).

2) В ЕУ напругою 6 кВ, якщо ПЗ одночасно використовується і для ЕУ з напругою до 1 кВ, опір ПЗ визначається за формулою:

$$R_з = \frac{U_з}{I_з}, \qquad (7.3)$$

причому приймається $U_з$ = 125 В, і його величина має бути не більшою ніж 10 Ом.

З урахуванням вихідних даних

$$R_з = \frac{125}{12,5} = 10\ Ом.$$

При виконанні ПЗ одночасно для заземлення ЕО до і понад 1 кВ приймається опір ПЗ тієї установки, де він є мінімальним. Зі сторони напруги 0,38/0,22 кВ $R_з < 4$ Ом. Остаточно приймається $R_{з.норм} < 4$ Ом.

3) Величина питомого опору ґрунту ρ (Ом·м) у місці спорудження ПЗ, який рекомендується для розрахунків, береться наступним: для суглинку $\rho = 100$ Ом·м. Коефіцієнти вертикальної прокладки $К_в$ і горизонтальної прокладки $К_г$ приймаються такими: для 3-го кліматичного району $К_в$=1,3, $К_г = 2,5$.

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються так:

$$\rho_{р.в} = К_в \cdot \rho, Ом \cdot м,$$

$$\rho_{р.г} = К_г \cdot \rho, Ом \cdot м,$$

Отже, для суглинку:

$$\rho_{р.в} = 1,3 \cdot 100 = 130, Ом \cdot м,$$

$$\rho_{р.г} = 2,5 \cdot 100 = 250, Ом \cdot м,$$

4) Визначається опір розтікання одного вертикального електрода діаметром $d = 18$ мм і довжиною $l_в = 5$ м при зануренні на глибину $t_г = 0,7$ м за формулою:

$$R_{з.в} = \frac{0,366 \cdot \rho_{р.в}}{l_в}\left(\lg\frac{2l_в}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t_в + l_в}{4t_в - l_в}\right), Ом,$$

$$R_{з.в} = \frac{0,366 \cdot 130}{5}\left(\lg\frac{2 \cdot 5}{18 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2}\lg\frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5}\right) = 27,82, Ом,$$

5) З таблиці Р.4 додатка Р без урахування горизонтальних смуг при попередньо вибраній кількості електродів у контурі $n = 20$ шт. та відношенні $a/l_в = 1$ вибирається коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів з урахуванням екранування $К_{в.в.е} = 0,47$ (середня величина). Наближена кількість вертикальних заземлювачів обчислюється за формулою

$$n = \frac{R_{з.в}}{K_{в.в.е} \cdot R_{з.норм}}, шт.,$$

$$n = \frac{27,82}{0,47 \cdot 4} = 14,8 \, шт.$$

Приймається найближча більша ціла кількість вертикальних заземлювачів n = 15 шт.

6) Визначається опір розтікання горизонтального заземлювача зі сталевої смуги шириною b і висотою h за формулою з таблиці Р.3 додатка Р як

$$R_{з.г} = \frac{0,366 \cdot \rho_{р.г}}{l_г} \lg \frac{2l_г^2}{b \cdot d}, Ом,$$

$$R_{з.г} = \frac{0,366 \cdot 250}{5 \cdot 15} \lg \frac{2(5 \cdot 15)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 6,84 \, Ом,$$

7) З таблиці Р.5 додатка Р при кількості вертикальних заземлювачів у контурі n = 15 шт. і при визначеному відношенні $a/l_в$ = 1 вибирається коефіцієнт використання горизонтальної смуги $K_{в.г.е}$ = 0,3 (середня величина). Тоді опір розтікання горизонтального заземлювача з урахуванням екранування визначається так:

$$R_{з.г.е} = \frac{R_{з.г}}{K_{в.г.е}}, Ом,$$

$$R_{з.г.е} = \frac{6,84}{0,3} = 22,8, Ом,$$

8) Визначається уточнений опір вертикальних електродів з урахуванням горизонтальної смуги:

$$R_{з.в.е} = \frac{R_{з.г.е} \cdot R_{з.норм}}{K_{в.г.е} - R_{з.норм}}, Ом,$$

$$R_{з.в.е} = \frac{22,8 \cdot 4}{22,8 - 4} = 4,85, Ом,$$

9) Уточнена кількість вертикальних електродів визначається з урахуванням n = 15 шт., $a/l_в$ = 1, $K_{в.в.е}$ = 0,5 за формулою

$$n_y = \frac{R_{з.в}}{K_{в.в.е} \cdot R_{з.в}}, шт.,$$

$$n_y = \frac{27,82}{0,5 \cdot 4,85} = 11,5 шт.$$

Остаточно приймається 12 вертикальних електродів. Приклад розташування контуру заземлення цехової КТП наводиться на рисунку 7.2.

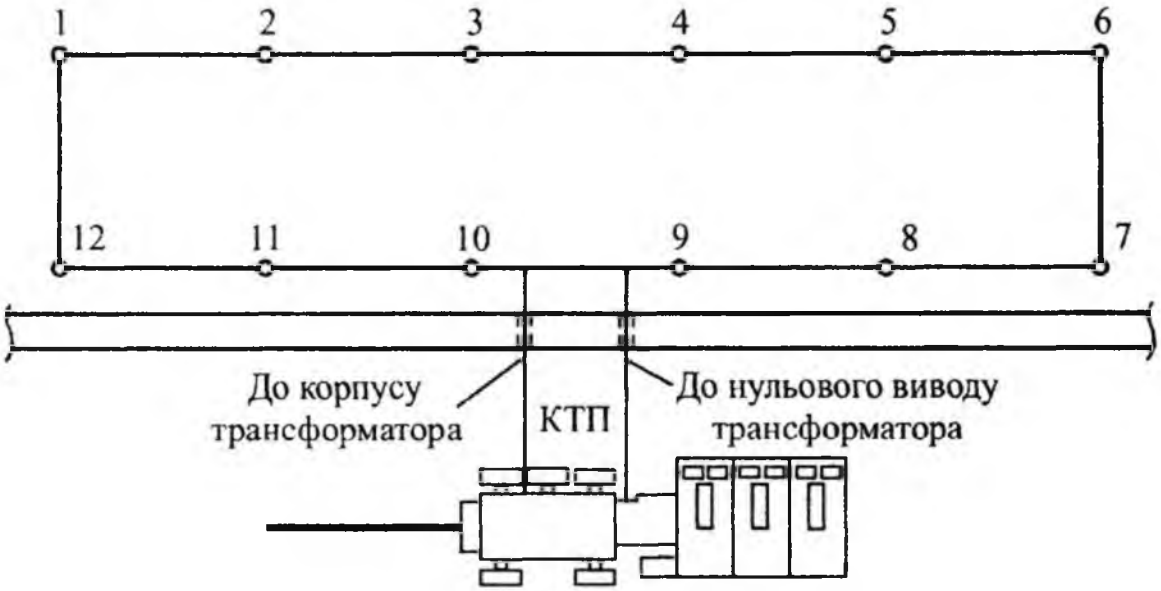

Рисунок 7.2 – Розташування контуру заземлення цехової КТП

8 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

Провести порівняльний аналіз двох варіантів системи освітлення:

1. Для освітлення цеху використовуються світильники фірми «ВАТРА» типу ГСП17В із лампами МГЛ МН400-Т;

2. Для освітлення цеху використовуються промислові світлодіодні світильники фірми Horoz Electric модель GORDION-100.

Для проведення порівняльного аналізу при використанні двох різних типів світильників необхідно знайти повні витрати на впровадження даних заходів та здійснити їх порівняння.

У таблиці 8.1 наведені технічні характеристики цих освітлювальних приладів.

Таблиця 8.1 – Технічна характеристика світильників

Найменування	Тип світильника	
	ГСП17В	GORDION-100
Тип лампи	МН400-Т	–
Потужність ($P_л$), Вт	400	100
Світловий потік лампи ($Ф_л$), лм	35000	10000
Кількість ламп у світильнику (n), шт.	1	–
Термін служби, годин	8000	20000

Необхідна кількість світильників з металогалогенними та світлодіодними лампами була розрахована у пункті 2.4. Вона складає для світильників з металогалогенними лампами – 250 шт., для світильників з світлодіодними лампами – 828 шт.

Вартість світильників, які встановлюються в цеху ($Ц_{св}$), визначається по формулі:

$$Ц_{св} = (Ц_с + Ц_л \cdot n) \cdot N, \quad (8.1)$$

де $Ц_с$ – ціна одного світильника, грн.;

$Ц_л$ – ціна однієї лампи, грн.;

N – кількість світильників, шт;

n – кількість ламп у світильнику.

Використовуючи дані Internet та прайс-листи знаходимо ціну необхідних нам світильників та ламп для них:

1. ціна світильника ГСП17В – 2353 грн.;
2. ціна світильника GORDION-100 – 320 грн.;
3. ціна лампи МН400-Т – 225 грн.;

Розрахуємо вартість всіх світильників ГСП17В:

$$Ц_{св_{ГСП}} = (2353 + 225 \cdot 1) \cdot 250 = 644500 \ грн.$$

Розрахуємо вартість всіх світильників GORDION-100:

$$Ц_{св_{LED}} = 72 \cdot 828 = 722016 \ грн.$$

Вартість монтажу світильників визначається по формулі:

$$Ц_м = Ц_{м.св} \cdot N, \quad (8.2)$$

де $Ц_{м.св}$ – ціна монтажу одного світильника, грн. Ціна монтажу світильника ГСП17В становить 100 грн., а світильника GORDION-100 – 100 грн.

Розрахуємо вартість монтажу світильників ГСП17В:

$$Ц_{мГСП} = 100 \cdot 250 = 25000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість монтажу світильників GORDION-100:

$$Ц_{мLED} = 100 \cdot 828 = 82800 \text{ грн.}$$

Кількість електричної енергії, що споживається за рік ($К$), визначається по формулі:

$$К = k \cdot P_л \cdot n \cdot N, \quad (8.3)$$

де k – час роботи лампи за рік, годин. Для ламп час роботи становить 2400 годин за рік.

$P_л$ – потужність лампи, кВт.

Споживана електроенергія при використанні світильників ГСП17В становить:

$$К_{ГСП} = 2400 \cdot 0,4 \cdot 250 \cdot 1 = 240000 \text{ кВт/рік.}$$

Споживана електроенергія при використанні світильників GORDION-100:

$$К_{LED} = 2400 \cdot 0,1 \cdot 828 \cdot 1 = 198720 \text{ кВт/рік.}$$

Вартість електричної енергії, що споживається світильниками за рік ($Ц_{ЕЛ}$), визначається по формулі:

$$Ц_{ЕЛ} = К \cdot Ц_{ел}, \quad (8.4)$$

де $Ц_{ел}$ – ціна на електричну енергію. $Ц_{ел}$ = 2,74 грн. /кВт.

Для світильників ГСП17В вона становить:

$$Ц_{ЕЛ_{ГСП}} = 240000 \cdot 2,74 = 657600 \text{ грн.}$$

Вартість споживаної електричної енергії для світильників GORDION-100:

$$Ц_{ЕЛ_{LED}} = 198720 \cdot 2,74 = 544493 \text{ грн.}$$

Витрати по експлуатації світильників визначаються по формулі:

$$Ц_{експл} = G \cdot Ц_{л}, \quad (8.5)$$

де G – витрата ламп за період розрахунку, шт.

Враховуючи, що термін служби світлодіодного світильника GORDION-100 складає 20000 годин, а час роботи світильника за рік – 2400 годин, то розрахунок повних витрат освітлення цеху будемо вести для періоду 8 років (20000/2400 = 8,3 ≈ 8 років).

З урахуванням терміну служби металогалогенних ламп 8000 год кількість замін ламп у світильниках ГСП складе 20000/8000 = 2,5≈2 рази. Тоді загальна витрата ламп МН400-Т складе 2*250 = 500 штук за 8 років.

Витрати по експлуатації світильників ГСП17В за 8 років:

$$Ц_{експл_{ГСП}} = 500 \cdot 225 = 112500 \text{ грн.}$$

Витрати по експлуатації світильників GORDION-100 за 8 років:

$$Ц_{експл_{LED}} = 0 \ грн.$$

Визначимо повні витрати по впровадженню кожного з варіантів по формулі:

$$В_п = Ц_{св} + Ц_м + s \cdot Ц_{ЕЛ} + Ц_{експ}. \quad (8.6)$$

де s – кількість років, за які проводиться розрахунок.

Визначимо повні витрати по освітленню цеху світильниками типу ГСП17В за 8 років:

$$В_{п_{ГСП}} = 644500 + 25000 + 8 \cdot 657600 + 112500 = 6042800 \ грн.$$

Середньорічні витрати складають 755350 грн.

Визначимо повні витрати по освітленню цеху світильниками типу GORDION-100:

$$В_{п_{LED}} = 722016 + 82800 + 544793 + 0 = 5160758 \ грн.$$

Середньорічні витрати складають 645095 грн.

Річна економія при експлуатації світильників GORDION-100, в порівнянні з використанням світильників ГСП17В, складає:

$$Е_{річ} = В_{п_{ГСП}} - В_{п_{LED}} = 755350 - 645095 = 110255 \ грн. \quad (8.7)$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Порівняння двох варіантів освітлення

	Світильник ГСП17В з лампою МН400-Т	Світильник GORDION-100
Кількість світильників, шт.	250	828
Вартість всіх світильників з лампами, грн.	644500	722016
Вартість монтажу світильників, грн.	25000	82800
Електрична енергія, що споживається за рік, кВт/рік.	240000	198720
Вартість електричної енергії за рік, грн.	657600	544493
Повні витрати по експлуатації світильників за 8 років, грн.	112500	0
Повні витрати за 8 років, грн.	6042800	5160758
Середньорічні витрати, грн.	755350	645095
Річна економія, грн.	–	110255

Таким чином, ми бачимо, що повні витрати по другому варіанту, тобто освітлення цеху за допомогою світлодіодних світильників типу GORDION-100, менші, в порівнянні з першим варіантом. Тому вигідніше використовувати для освітлення даного цеху світлодіодні світильники типу GORDION-100.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання магістерської роботи є розрахунок параметрів розподільчої електричної мережі цеху по виготовленню макаронних виробів.

Розраховано навантаження на трьох рівнях системи електропостачання, що, в свою чергу, дозволило провести вибір та перевірку трансформаторів для цехової ТП – обрано двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами типу ТМЗ – 630/6/0,4.

Проведено вибір кабелів. Для живлення ТП цеху від розподільчого пристрою обрано кабель типу ААШв-6. Для розподільчої мережі обрано тип кабелю АВВГ. Перерізи жил окремих ліній відповідають розрахованим груповим навантаження (для кабелів від ТП до ЩС) та одиничним навантаженням окремих споживачів (для кабелів від ЩСдо ЕП).

Використовуючи складені в роботі схеми заміщення, з урахуванням електричних параметрів обраних кабелів та трансформаторів, розраховано трифазні струми короткого замикання на трьох рівнях системи електропостачання та струми однофазного короткого замикання.

Використовуючи отримані величини струмів КЗ та параметри розрахованих навантажень проведено вибір комутаційного та захисного обладнання. В якості автоматичних вимикачів вибрано комутаційні апарати серій ВА, що відрізняються високою якістю та надійністю роботи.

В розділі охорона праці проведений аналіз цеху за умовами середовища виробничих приміщень, ступеня пожежної безпеки і вибухонебезпечності та небезпеки ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу. Проведений розрахунок заземлення цехової трансформаторної підстанції, що складається з вертикальних електродів, об’єднаних горизонтальною полосою та має загальний опір, що не перевищує 4 Ом.

В економічній частині був зроблений розрахунок економічного ефекту при використанні двох різних типів світильників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Василега П.О. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: СумДУ, 2019. – 521 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.- 280 с.
3. Дирацу В.С и др. Электроснабжение промышленных предприятий. - К.: Вища шк., 1974. - 280 с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2005.- 324 с
6. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 208 с.
7. Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок: Учеб. для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 424 с.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособ. для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
9. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.: Справочник электромонтажника / Под ред. А.Д. Смирнова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 192 с.
10. Лигерман И.И. Конструирование электроустановок промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 1984. - 168 с.
11. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
12. Федоров А. А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп.

13. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92 / Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – 1992. - № 7-8. – С. 4-28.

14. Методичні вказівки до написання розділу "Охорона праці та цивільний захист" у дипломних роботах [Текст] : для студ. економічних спец. усіхформ навчання / І. О. Трунова. – Суми : СумДУ, 2011. — 20 с.

15. ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

16. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

17. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

18. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

19. Экономика предприятия: Учебное пособие / Под общ. ред. д.э.н., проф. Л. Г. Мельника. - Сумы: ИТД «Университетская книга», 2002. - 632с.

20. Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт / Укладачі: М.А. Никифоров, І. Л. Лебединський.- Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 74 с.