МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Сергій ЛЕБЕДКА
"____" _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності 8.141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему: «Проектування системи електропостачання станції приготування технологічних розчинів»

Здобувач групи ЕТ.мз-31с Сергій Володимирович СІРИЙ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Сергій СІРИЙ
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник канд. фіз.-мат. наук, доцент Михайло ПЕТРОВСЬКИЙ _____

Суми – 2024

АНОТАЦІЯ

с. 97, рис. 6, табл. 17.

Бібліографічний опис: Сірий С.В. Проектування системи електропостачання станції приготування технологічних розчинів : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. М.В. Петровський. Суми : Сумський державний університет, 2024. 97 с.

Ключові слова:

Система, електропостачання, силовий щит, електроприймач, струм, напруга, кабельна лінія, струм короткого замикання, автоматичний вимикач, автомат захисного відключення, розчіплювач.

System, power supply, power panel, electrical receiver, current, voltage, cable line, short-circuit current, circuit breaker, circuit breaker, disconnector

Об’єкт дослідження: система електропостачання 10/0,4кВ станції приготування технологічних розчинів.

Короткий огляд.

Проведено розрахунок електричних параметрів системи електропостачання станції приготування технологічних розчинів. Розраховано навантаження на трьох рівнях електропостачання з врахуванням систем освітлення приміщення та майданчиків станції, а також струми короткого замикання в розподільчій мережі 0,4кВ та пікові струми для відстройки розчеплювачів автоматичних вимикачів з урахуванням пуску елекродвигунів. Обрано та перевірено перерізи кабелів розподільчої мережі 0,4 кВ. Здійснений вибір комутаційних апаратів розподільчого пристрою 0,4 кВ прибудованої КТП та силових щитів ШС1-ЩС4

.

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

КЗ – коротке замикання
ККД – коефіцієнт корисної дії
ККУ – комплектні конденсаторні установки
ТП – трансформаторна підстанція
ТС – трансформатор струму
ЦРП – центральний розподільний пункт
ЦТП – цехова трансформаторна підстанція
ШНВ – шафа низьковольтна вводу
КСО – камера стаціонарна однобічного обслуговування
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
КУ – конденсаторна установка
НН – низька напруга
ПС – підстанція
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок
РП – розподільний пункт
СВ – струмова відсічка
СД – синхронний двигун
АД – асинхронний двигун
ВГКЗ – вимикаюча гранична комутаційна здатність
ГПП – головна понижувальна підстанція
ДЖ – джерело живлення
ЕА – електричний апарат
ЕД – електродвигун
ЕО – електрообладнання
ЕП – електроприймач
ЕУ – електроустановка
СЕП – система електропостачання
СРШ – силова розподільна шафа
ТВ – тривалість вмикання
ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна
ШРА – шинопровід розподільний алюмінієвий
ЩРО – щиток робочого освітлення

Зміст

Вступ 6

Вихідні дані 7

2 Розрахунок електричних навантажень 9

Розрахунок силового навантаження на першому рівні 11

Розрахунок силового навантаження на другому рівні 14

Розрахунок силового навантаження на третьому рівні 18

Навантаження загального електричного освітлення 21

Визначення розрахункового навантаження ТП 24

Розрахунок пікових струмів 26

Вибір трансформаторів та засобів компенсації реактивної потужності 29

Вибір силових трансформаторів 30

Визначення потужності конденсаторних установок 0,4 кВ 30

Розрахунок параметрів та вибір провідників 32

Вибір перерізу КЛ 10 кВ 32

Вибір КЛ за нормальним режимом 32

Перевірка КЛ за максимальним режимом 33

Перевірка КЛ на термічну стійкість 35

Вибір перерізу кабелю напругою 10 кВ від РП до ТП 36

Вибір перерізу провідників мережі живлення 0,4 кВ 38

Вибір перерізу провідників розподільної мережі 0,4 кВ 42

Вибір шинопровода 46

Розрахунок струмів короткого замикання 47
Розрахунок струмів трифазного КЗ 48
Розрахунок струмів однофазного КЗ 55
Вибір автоматичних вимикачів 61
Вибір автомата живильної мережі 65
Вибір автоматів розподільчої мережі 67
Охорона праці 69
Розрахунок заземлюючого контуру станції приготування технологічних розчинів 77
Економічна частина 83
Розрахунок економічного ефекту від використання світлодіодних джерел світла замість світильників із лампами ДРЛ. 85
Висновки 91
Список використаних джерел 93
ДОДАТКИ 94
Додаток А 95
Додаток Б 95
Додаток В 95
Додаток Г 95

Вступ

Системи електропостачання промислових підприємств створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів електричної енергії, до яких відносяться електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, електролізні установки, апарати і машини для електричного зварювання, освітлювальні установки й інші промислові приймачі електроенергії. Задача електропостачання промислових підприємств виникла одночасно із широким впровадженням електропривода як рушійної сили різних машин і механізмів і будівництвом електричних станцій.

З розвитком електроспоживання системи електропостачання промислових підприємств набувають дедалі складніших форм та конфігурацій. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств і виробничих процесів, здійснювати в широких масштабах диспетчеризацію процесів виробництва з застосуванням телесигналізації і телекерування і вести активну роботу по економії електричної енергії і підвищення ефективності роботи електроустановок.

В роботі розглядається проектована станція приготування технологічних розчинів. Аналогічні типи станцій з різною кількістю ємностей та різним числом компонентів, які зумовлюються виробничим технологічним процесом, широко застосовуються у виробництві штампованих деталей з полімерів, де на різних етапах виробництва використовуються різні за складом технологічні розчини (для фарбування, для охолодження, обробка антизлежувачем і т.д.).

Вихідні дані

Станція приготування технологічних розчинів, що розглядається – об′єкт, призначений для забезпечення технологічного процесу виробництва пластику технологічними розчинами, які впливають на технічні характеристики готового продукту, а саме – необхідної міцності, в’язкості, гнучкості та густини.

Станція приготування технологічних розчинів становить собою будівлю корпусу, де розташовані ємності компонентів, ємності проміжних розчинів та ємності готових розчинів з насосами та мішалками.

Станція приготування технологічних розчинів має доволі складний технологічний процес, в якому виконуються різноманітні операції: перекачування рідких компонентів по магістралям, приготування проміжних розчинів, потім змішуються в готові розчини та подача готових розчинів в технологічні лінії виробництв. Для забезпечення електропостачання використовуваного технологічного обладнання передбачено прибудоване до будівлі станції приміщення трансформаторної підстанції (ТП).

Станція приготування технологічних розчинів живиться електроенергією від розподільчого пристрою (РП-10кВ). Відстань від РП до прибудованої ТП - 90 м. Напруга на РП - 10 кВ. Електроприймачі приєднані до мережі змінної трифазної напруги 380В.

Споживачі станції приготування технологічних розчинів мають 2 категорію надійності електропостачання. Ґрунт у районі станції - чорнозем з температурою +20 °С.

Розміри будівлі станції А х В х Н = 48 х 28 х 10м.

План розміщення обладнання в наведений у додатку А.

Перелік технологічного устаткування насосної наведено у таблиці 1.1.

Потужність електроспоживання ($P_{ном}$) зазначена для одного електроприймача.

Таблиця 1.1 – Перелік струмоприймачів насосної станції

№ за планом	Найменування ЕП	рном,кВт	Двигун	ККД, %	cosφ
Н1-Н3	Насоси готових розчинів	37	АИР200М4	92	0,8
Н4-Н9	Насоси проміжних розчинів	22	АИР180S4	90,5	0,8
Н10, Н11, Н16, Н17	Насоси проміжних розчинів	15	АИР160S4	89,4	0,8
Н12-Н15, Н18-Н21	Насоси компонентів	4	АИР100S2	84,2	0,8
М1-М3	Мішалки готових розчинів	15	АИР160М6	89	0,7
М4-М9	Мішалки проміжних розчинів	11	АИР160М8	87	0,7
М10, М11, М14, М15	Мішалки проміжних розчинів	7,5	АИР160S8	85,5	0,7
М12, М13, М16, М17	Мішалки компонентів	2,2	АИР100L6	79	0,7

Розрахунок електричних навантажень

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.

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 низкою номінальних параметрів, як-то: напруга, частота струму, коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії (ККД) та інших, що зазначаються в паспорті ЕП.

Вихідні дані для розрахунку навантажень:

- 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 для ЕД тривалого режиму роботи та всіх видів нагрівальних ЕП - приймається рівною 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 $ТВ_П$ — паспортна тривалість вмикання, в.о;

- для зварювальних трансформаторів:

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

$$p_н = s_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ_П} \cdot cos\,\phi_{пасп}, \tag{2.4}$$

де $cos\,\phi_{пасп}$- паспортне значення коефіцієнта потужності;

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

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

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

де n - кількість ЕД крана;

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

$tg\phi_i$- відповідає значенню коефіцієнта потужності $cos\,\phi_i$ і-го ЕП.

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, ЩС або силової збірки).

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

Третій рівень — це збірні шини НН трансформаторних підстанцій та ШМА.

Обчислення розрахункових навантажень на другому та третьому рівнях електропостачання здійснюється методом розрахункових коефіцієнтів. 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].

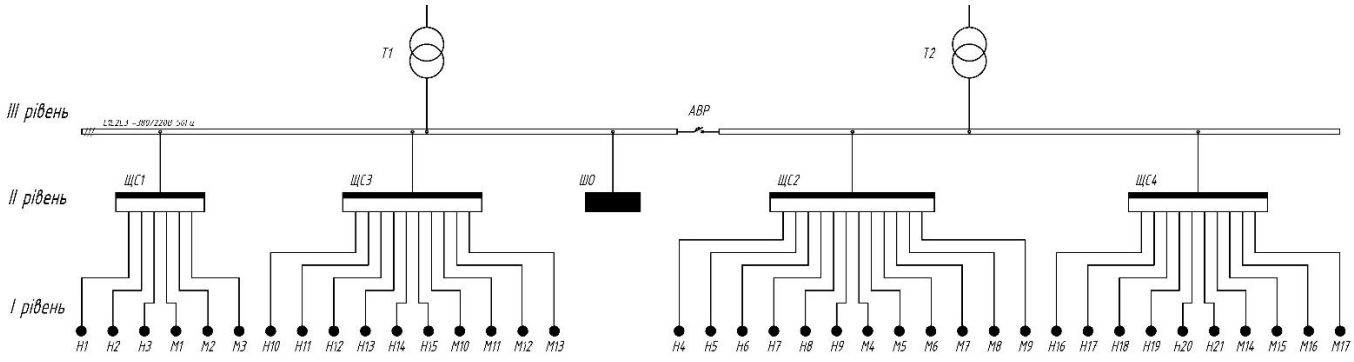


Рисунок 2.1 – Рівні визначення розрахункових навантажень

Розрахунок силового навантаження на першому рівні

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

$$p_{р.1} = k_З \cdot p_{ном}, \quad (2.7)$$

$$q_{р.1} = q_{ном} \cdot tg\phi, \quad (2.8)$$

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

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

де $tg\phi$ - відповідає паспортному значенню коефіцієнта потужності $cos\,\phi$, 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:

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

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

$cos\,\phi_{ном.д}$- номінальний коефіцієнт потужності ЕД;

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

Величини $cos\,\phi_{\text{ном.д}}$ і $\eta_{ном.д}$ приймаються з каталогів заводів-виготовлювачів або паспортних даних двигунів.

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 для насосу готового розчину Н1

Для насосу Н1 за формулою (2.7) при прийнятому $k_З$ = 1 розрахункове активне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$p_{р.1} = p_{ном.д} = 1 \cdot 37 = 37\ кВт.$$

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

$$q_{р.1} = q_{ном.д} = 37 \cdot 0{,}75 = 27{,}75\ кВАр.$$

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

$$s_{р.1} = \sqrt{{p_{р.1}}^2 + {q_{р.1}}^2} = \sqrt{37^2 + 27{,}75^2} = 46{,}25\ кВА$$

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

$$I_{р.1} = \frac{46{,}25}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 70{,}27\ \text{А}.$$

За неповними вихідними даними, які при проектуванні беруться із завдань технологів (наводиться найменування устаткування та його встановлена потужність), для насосу приймається коефіцієнт пуску $k_П = 5$.

Визначаємо пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск} = 5 \cdot 70{,}27 = 351{,}35\ А.$$

Отримані за формулами (2.7) - (2.12) результати розрахунків для насосу Н1, а також для інших ЕП насосної, зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахункове силове навантаження на першому рівні

№ за планом	Найменування ЕП	рном,кВт	ККД, %	cosφ	tgφ	pp.1, кВт	qp.1, квар	sp.1, кВА	Ip.1, А	Iпуск, А	К-т використанняКв
Н1-Н3	Насоси готових розчинів	37	92	0,8	0,75	37	27,75	46,25	76,38	381,90	0,75
Н4-Н9	Насоси проміжних розчинів	22	90,5	0,8	0,75	22	16,50	27,50	46,17	230,84	0,75
Н10, Н11, Н16, Н17	Насоси проміжних розчинів	15	89,4	0,8	0,75	15	11,25	18,75	31,87	159,33	0,75
Н12-Н15, Н18-Н21	Насоси компонентів	4	84,2	0,8	0,75	4	3,00	5,00	9,02	45,11	0,75
М1-М3	Мішалки готових розчинів	15	89	0,7	1,02	15	15,30	21,43	36,58	182,91	0,95
М4-М9	Мішалки проміжних розчинів	11	87	0,7	1,02	11	11,22	15,71	27,44	137,21	0,95
М10, М11, М14, М15	Мішалки проміжних розчинів	7,5	85,5	0,7	1,02	7,5	7,65	10,71	19,04	95,20	0,95
М12, М13, М16, М17	Мішалки компонентів	2,2	79	0,7	1,02	2,2	2,24	3,14	6,04	30,22	0,95

Розрахунок силового навантаження на другому рівні

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_{pa} і розрахункових реактивних навантажень K_{pp}.

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K_{p\ a}$ залежить від ефективного числа ЕП n_e, середньозваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{в\ св}$ та сталої часу нагрівання мережі T_o, яка на другому рівні електропостачання приймається T_o = 10 хв (розрахунковий інтервал часу $3T_0$ = 30хв).

Ефективне число ЕП n_e - 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_e визначається так:

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} p_{ном.i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} p^2{}_{ном.i}}, \quad (2.13)$$

де n - кількість працюючих ЕП в групі;

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

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

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

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

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

де k — кількість характерних груп ЕП;

$P_{см.i}$ — групова середня активна потужність за максимально завантажену зміну *і-ї* групи ЕП;

$P_{ном.i}$- 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:

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

де n - кількість ЕП в групі;

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

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

Коефіцієнти використання активної потужності k_B наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [2]. Якщо в довідкових матеріалах наведені інтервальні значення k_B, то для розрахунку приймають його найбільше значення.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень $K_{р.а}$ на другому рівні електропостачання наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [2].

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:

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

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

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

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

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

$$P_{р.2} = \sum_{i=1}^{n} p_{ном.і}, \quad (2.18)$$

$$Q_{р.2} = \sum_{i=1}^{n} q_{ном.і}, \quad (2.19)$$

де n =1-3.

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається так:

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

При цьому розрахунковий струм:

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

Визначення розрахункового силового навантаження для ЩС2 (як приклад розрахунку)

Від ЩС2 живляться: шість насосів Н4 – Н9 та шість мішалок М4-М9.

Сумарна активна номінальна потужність для всіх ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.5).

$$P_{ном.н.\sum} = (6 \cdot 22) + (6 \cdot 11) = 198\ кВт.$$

Для насосів, при даному технологічному рішенні приймається середнє значення коефіцієнта використання активної потужності $k_в$ = 0,75, для мішалок - $k_в$ = 0,95 Середньозмінне активне навантаження за формулою (2.15) дорівнює:

$$P_{см.н} = (6 \cdot 22 \cdot 0{,}75) + (6 \cdot 11 \cdot 0{,}95) = 161{,}7\ кВт.$$

Для насосів при прийнятому $cos\,\phi$ = 0,8, якому відповідає $tg\phi$ = 0,75, та мішалок при прийнятому $cos\,\phi$ = 0,7, якому відповідає $tg\phi$ = 1,02 середньозмінне реактивне навантаження:

$$Q_{см.н} = (6 \cdot 22 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}75) + (6 \cdot 11 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}02) = 138{,}22\ кВАр.$$

Величина ефективного числа ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.13)

$$n_e = \frac{((6\cdot22)+(6\cdot11))^2}{(6\cdot22^2)+(6\cdot11^2)} = \frac{39204}{2904+726} = \frac{39204}{3630} = 10{,}8.$$

Приймається найближче менше ціле число n_e= 10 шт.

Середньозважений коефіцієнт використання активної потужності для ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.14)

$$K_{в.св} = \frac{161{,}7}{198} = 0{,}817.$$

З таблиці джерела [2] n_e — 10 шт. і $K_{в\ св}$ = 0,817 коефіцієнт розрахункового активного навантаження $K_{р.а}$ = 1.

Розрахункове силове активне навантаження ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.16)

$$P_{р.2} = 1 \cdot 161{,}7 = 161{,}7\ кВт.$$

Розрахункове силове реактивне навантаження ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.17)

$$Q_{p.2} = 1 \cdot 138{,}22 = 138{,}22\ кВАр.$$

Розрахункове силове повне навантаження ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.20)

$$S_{p.2} = \sqrt{161{,}7^2 + 138{,}22^2} = 212{,}72\ кВА.$$

Розрахунковий струм ЕП ЩС2 визначається за формулою (2.21)

$$I_{p.2} = \frac{212{,}72}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 323{,}2\ А.$$

Навантаження інших силових щитів ЩС визначається аналогічно.

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

Розрахунок силового навантаження на третьому рівні

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 $K'_{р.а}$ і розрахункових реактивних навантажень $K'_{р.р}$ [2].

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

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

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

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

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

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

Середньозважений 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 [2].

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

$$P_{р.з} = K'_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{m} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} = K'_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^{m} p_{зм.і}. \quad (2.27)$$

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 $Q_{р.з}$ визначається як:

$$Q_{р.з} = K'_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^{m} k_{в.і} \cdot p_{ном.і} \cdot tg\phi_{ном.і} = P_{р.з} \cdot tg\phi_{св}, \quad (2.28)$$

де $tg\phi_{св}$ відповідає середньозваженому значенню коефіцієнта потужності $cos\,\phi_{св}$.

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

$$S_{р.з} = \sqrt{{P_{р.з}}^2 + {Q_{р.з}}^2}. \quad (2.29)$$

При цьому розрахунковий струм:

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

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

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

$$n_e = \frac{2 \cdot (P_{ном.ЩС1} + P_{номЩС2} + P_{номЩС3} + P_{ном.ЩС4})}{p_{ном.макс.}},$$

$$n_e = \frac{2 \cdot (156 + 198 + 65{,}4 + 65{,}4)}{37} = 26{,}2 \text{ шт.}$$

Приймається найближче менше ціле число n_e = 26 шт.

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

$$K_{в.св} = \frac{P_{см.ЩС1} + P_{смЩС2} + P_{смЩС3} + P_{смЩС4}}{P_{ном.\Sigma}},$$

$$K_{в.св} = \frac{126 + 161{,}7 + 52{,}93 + 52{,}93}{156 + 198 + 65{,}4 + 65{,}4} = \frac{393{,}56}{484{,}8} = 0{,}812.$$

Коефіцієнт розрахункового активного навантаження для обчислених вище n_e = 26 шт. і $K_{в\ св}$ = 0,812 з таблиці приймається $K'_{р.а}$ = 1. За формулою (2.27) розрахункове силове активне навантаження на третьому рівні електропостачання:

$$P_{р.3} = 1 \cdot 393{,}56 = 393{,}56\ кВт.$$

Розрахункове силове реактивне навантаження визначається за формулою (2.27), ураховуючи, що $K'_{р.а} = K'_{р.р} = 1$,

$$Q_{р.3} = K_{р.р} \cdot (Q_{см.ЩС1} + Q_{см.ЩС2} + Q_{см.ЩС3} + Q_{см.ЩС4}),$$

$$Q_{р.3} = 1 \cdot (106{,}05 + 138{,}22 + 44{,}68 + 44{,}68) = 333{,}62\ кВАр.$$

Розрахункове силове повне навантаження визначається за формулою (2.29)

$$S_{р.3} = \sqrt{393{,}56^2 + 333{,}62^2} = 515{,}94\ кВА.$$

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

$$I_{р.3} = \frac{515{,}94}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 783{,}89\ А.$$

Розрахункові величини та розрахункові навантаження силових ЕП на третьому рівні електропостачання наводяться в таблиці 2.2.

Навантаження загального електричного освітлення

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, 6], 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:

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

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

$p_{П.О}$- питома установлена потужність загального освітлення, Вт/м^2

F - площа, 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 віддачою.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається як:

$$P_{Р.О} = K_{П.О} \cdot P_{уст.0}, \qquad (2.32)$$

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

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

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається так:

$$Q_{P.O} = P_{P.O} \cdot tg\phi_O, \tag{2.33}$$

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

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

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою:

$$S_{P.O} = \sqrt{{P_{P.O}}^2 + {Q_{P.O}}^2}\,. \tag{2.34}$$

При цьому розрахунковий струм визначається як:

$$I_{P.O} = \frac{S_{P.O}}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}}. \tag{2.35}$$

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення станції приготування технологічних розчинів

- розміри приміщення: 48 м х 28 м.

- як джерела світла приймаються лампи типу ДРЛ.

Розрахунок. Для ламп типу ДРЛ, які використовуються для освітлення насосної, приймається питома установлена потужність загального освітлення $p_{P.O}$ =15 Вт/м^2, коефіцієнт k = 1,1.

Для ламп типу ДРЛ, які використовуються для освітлення відкритого майданчика градирні, приймається питома установлена потужність

загального освітлення $p_{P.O}$=10 Вт/м^2, коефіцієнт k = 1,1. Установлене (номінальне) навантаження загального освітлення визначається за формулою (2.31)

$$P_{уст.0} = (1{,}1 \cdot 15 \cdot 48 \cdot 28 \cdot 10^{-3}) = 22{,}176\ кВт$$

Коефіцієнт попиту загального освітлення приймається для невеликих виробничих будівель $K_{П.О}$ = 1.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.32)

$$P_{P.O} = 1 \cdot 22{,}176 = 22{,}176\ кВт.$$

Для ламп типу ДРЛ приймається коефіцієнт активної потужності $cos\ \phi_O$ = 0,5, якому відповідає коефіцієнт реактивної потужності $tg\phi_O$ =1,73.

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.33)

$$Q_{P.O} = 22{,}176 \cdot 1{,}73 = 38{,}36\ кВАр.$$

Навантаження аварійного освітлення, в залежності від технологічного режиму роботи, приймається 15% від загального за формулою (2.33)

$$P_{P.A} = 22{,}176 \cdot 0{,}15 = 3{,}33\ кВт.$$

$$Q_{P.A} = 38{,}36 \cdot 0{,}15 = 5{,}75\ кВАр.$$

Загальне розрахункове навантаження освітлення:

$$P_O = P_{P.O} + P_{P.A} = 22{,}176 + 3{,}33 \approx 25{,}5\ кВт.$$

$$Q_O = Q_{P.O} + Q_{P.A} = 38{,}36 + 5{,}75 \approx 44{,}12\ кВт.$$

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

$$S_{P.O} = \sqrt{25{,}5^2 + 44{,}12^2} = 50{,}96\ кВА.$$

Розрахунковий струм загального освітлення цеху визначається за формулою (2.35)

$$I_{P.O} = \frac{50{,}96}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 77{,}42\ А.$$

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

Визначення розрахункового навантаження ТП

Розрахункове навантаження на шинах НН ТП (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 ($P_{р.а.0}$, $Q_{р.а.0}$).

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

Необхідні розрахункові дані беруться з підрозділів 2.3 і 2.4.

Загальне розрахункове активне навантаження ТП визначається за формулою:

$$P_{р.ТП} = P_{р.з} + P_о \quad (2.36)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження ТП можна визначити як:

$$Q_{р.ТП} = Q_{р.з} + Q_о \quad (2.37)$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантажені ТП можна визначити так:

$$S_{р.ТП} = \sqrt{P^2{}_{р.ТП} + Q^2{}_{р.ТП}} \quad (2.38)$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{р.ТП} = \frac{S_{р.ТП}}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}}, \quad (2.39)$$

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

Розрахунок. Загальне розрахункове активне навантаження ТП визначається за формулою (2.36)

$$P_{р.ТП} = 393{,}56 + 25{,}5 = 419{,}06\ кВт.$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження ТП визначається за формулою (2.37)

$$Q_{р.ЦТП} = 333{,}62 + 44{,}12 = 377{,}74\ кВАр.$$

Загальне розрахункове повне навантаження ТП визначається за формулою (2.38)

$$S_{р.ЦТП} = \sqrt{419{,}06^2 + 377{,}74^2} = 564{,}18\ кВА,$$

а розрахунковий струм з боку НН ТП за формулою (2.39)

$$I_{р.ЦТП} = \frac{564{,}18}{\sqrt{3}\cdot 0{,}38} = 857{,}19\ А.$$

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків електричних навантажень

Найменування вузла, номер ЕП	Наймену-вання ЕП	Кількість ЕП, n	Номінальна потужність, кВт		К-т використання Кв	Коефіцієнти потужності		$K_в p_н$	$K_в p_н tg j$	Ефективна кількість ЕП, $n_е$	К-т використання	Розрахункова потужність якщо ne>10 то k=1, якщо ne<10 то k=1,1			Розрахунковий струм одного, А
			одного	загальна		cos φ	tan φ					Активна, кВт	Реактивна, кВАр	Повна, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Н1-Н3	Насоси готових розчинів	3	37	111	0,75	0,8	0,75	83,25	62,44	3					76,38
М1-М3	Мішалки готових розчинів	3	15	45	0,95	0,7	1,02	42,75	43,61	3					36,58
Всього по ЩС1		6		156	0,81			126,00	106,05	5	1	126,00	88,26	153,84	233,73
Н4-Н9	Насоси проміжних розчинів	6	22	132	0,75	0,8	0,75	99,00	74,25	6					46,17
М4-М9	Мішалки проміжних розчинів	6	11	66	0,95	0,7	1,02	62,70	63,97	6					27,44
Всього по ЩС2		12		198	0,82			161,70	138,22	10	1	161,70	138,22	212,72	323,20
Н10, Н11	Насоси проміжних розчинів	2	15	30	0,75	0,8	0,75	22,50	16,88	2					31,87
Н12-Н15	Насоси компонентів	4	4	16	0,75	0,8	0,75	12,00	9,00	4					9,02
М10, М11	Мішалки проміжних розчинів	2	7,5	15	0,95	0,7	1,02	14,25	14,54	2					19,04
М12, М13	Мішалки компонентів	2	2,2	4,4	0,95	0,7	1,02	4,18	4,26	2					6,04
Всього по ЩС3		10		65,4	0,81			52,93	44,68	6	1	52,93	44,68	69,27	105,24
Н16, Н17	Насоси проміжних розчинів	2	15	30	0,75	0,8	0,75	22,50	16,88	2					31,87
Н18-Н21	Насоси компонентів	4	4	16	0,75	0,8	0,75	12,00	9,00	4					9,02
М14, М15	Мішалки проміжних розчинів	2	7,5	15	0,95	0,7	1,02	14,25	14,54	2					19,04
М16, М17	Мішалки компонентів	2	2,2	4,4	0,95	0,7	1,02	4,18	4,26	2					6,04
Всього по ЩС4		10		65,4	0,81			52,93	44,68	6	1	52,93	44,68	69,27	105,24
3-й рівень		38		484,80	0,81			393,56	333,62	26	1	393,56	333,62	515,94	783,89
робоче освітлення				22,18		0,5	1,73					22,176	38,36	44,31	67,33
аварійне освітлення (15%)												3,33	5,75	6,65	10,10
Освітлення всього (шафа ШО)					1						1	25,50	44,12	50,96	77,42
Усього												419,06	377,74	564,18	857,19

Розрахунок пікових струмів

Піковий струм групи ЕП напругою до 1 кВ визначається як

$$I_{пік} = I_{пуск.макс} + \sum_1^{n-1} I'_{ном}\,, \qquad (2.40)$$

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

$\sum_1^{n-1} I'_{ном}$- 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

$$I_{пік} = I_{пуск.макс} + (I_{р.2} - k_в \cdot I_{ном.макс}), \quad (2.41)$$

де $I_{р.2}$- розрахунковий струм усіх ЕП групи (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:

$$S_{пік(пуск)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{пік(пуск)}\ , \quad (2.42)$$

де $I_{пік}$ - піковий струм, який визначається за формулами (2.40) і (2.41), а пусковий струм $I_{пуск}$ за формулою (2.12).

Як прилад, розрахуємо пікові струми від ЕП радіальної лінії до ЩС3 для схеми, яка наведена на рисунку 2.1.

Від ЩС2 живляться, відповідно, 6 насосів Н4-Н9 та 6 мішалок М4-М9. Найпотужніший електроприймач цієї групи ЕП – $Р_{номд}$= 22 кВт, коефіцієнт активної потужності $cos\,\phi$= 0,8, коефіцієнт використання $k_В$ - 0,75, ККД 90,5%.

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

$$I_{ном.макс} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}905} = 46{,}17\ A,$$

а його пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск.макс} = 5 \cdot 46{,}17 = 230{,}84\ \text{А}.$$

З підрозділу 2.2 розрахунковий струм другого рівня електропостачання для ЕП ЩС2 $I_{р.2} = 323{,}2\ А$.

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП визначається за формулою (2.41)

$$I_{пік} = 230{,}84 + (323{,}2 - 0{,}75 \cdot 46{,}17) = 519{,}41А.$$

Аналогічно розраховуються пікові струми інших груп ЕП.

Таблиця 2.3 - Розрахунок пікових навантажень

Назва	Дані найпотужнішого ЕП		Струм розрахунковий Ір2, А	Коеф. використання Кв	Піковий струм Іпік, А
	Струм Іном, А	пусковий струм Іпуск.мах, А			
ЩС1	76,38	381,90	233,73	0,75	558,35
ЩС2	46,17	230,84	323,20	0,75	519,41
ЩС3	31,87	159,33	105,24	0,75	240,67
ЩС4	31,87	159,33	105,24	0,75	240,67
ШО	77,42	193,56	77,42	1,00	218,11

Вибір трансформаторів та засобів компенсації реактивної потужності

При виборі потужності трансформаторів ТП слід враховувати їх навантажувальну здатність.

Потужність трансформаторів ТП вибирають за розрахунковим навантаженням. Оскільки воно 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 трансформаторів буде в тому випадку, коли через них реактивна потужність не передається, а повністю компенсуються на стороні до 1 кВ. Це базовий варіант, при якому розрахункове реактивне навантаження ТП $Q_{рцтп}$ 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 $P_т$ за емпіричною формулою

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

де $S_{ном.Т.р}$- повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

$P_{р.ТП}$- сумарне розрахункове активне навантаження ТП з підрозділу 2.6;

N - кількість трансформаторів ТП.

Вибирається найближча більша стандартна номінальна потужність трансформатора [2].

Вибір силових трансформаторів

Первинна напруга трансформатора 10 кВ.

Через те що ЕП належать до 2-ї категорії надійності, приймається двох трансформаторна КТП і коефіцієнт завантаження трансформатора $\beta_т$=0,7.

За формулою (3.1)

$$S_{ном.Т} \geq S_{ном.Т.р} = \frac{419,06}{2 \cdot 0,7} = 299,33\ кВА.$$

Вибираємо трансформатор з номінальною потужністю $S_{ном.Т}$ = 250 кВА типу ТМГ-400/10/0,4 (з гофрованими стінками без розширювального бака).

Визначення потужності конденсаторних установок 0,4 кВ

Оскільки в більшості випадків $S_{\text{ном.Т}} > S_{\text{ном.Т.р}}$, то через вибрані трансформатори 10/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 10 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження $\beta_т$. Ця реактивна потужність визначається як [3]

$$Q_Т = \sqrt{(N \cdot \beta_Т \cdot S_{ном.Т})^2 - P^2{}_{рТП}},\text{квар.} \qquad (3.2)$$

Якщо під коренем величина зі знаком мінус, то приймають $Q_Т$ = 0.

Потужність компенсації з номінальною напругою 0,4 кВ визначається так:

$$Q_{Н.К} = Q_{рТП} - Q_Т,\ \text{квар}, \qquad (3.3)$$

де $Q_{р.ТП}$ — сумарне розрахункове реактивне навантаження ТП з підрозділу 2.6, кВАр.

Якщо $Q_{НК}$ < 0, то встановлювати конденсатори 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. 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. 2 додатка Л [2]. При двох трансформаторах на ПС кількість ККУ має бути парною.

Некомпенсовану реактивну потужність визначають за формулою:

$$Q_{неск} = Q_{н.к} - Q_{н.к.ст}. \quad (3.4)$$

Вибираємо необхідну потужність ККУ, яка приєднана до шин НН

За формулою (3.2) через трансформатор з коефіцієнтом завантаження трансформатора $\beta_т$ = 0,7 зі сторони 10 кВ у мережу напругою до 1 кВ передається така реактивна потужність:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0{,}7 \cdot 400)^2 - 419{,}06^2} = 219{,}97\ кВАр.$$

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

$$Q_{Н.К} = 377{,}74 - 219{,}97 = 157{,}77\ кВАр.$$

$Q_{НК}$ > 0, то значить необхідно встановлювати конденсатори з номінальною напругою 0,4 кВ.

З каталогу виробника ТОВ НВП «Нафтаенергопром» обираємо для встановлення дві комплектних автоматичних конденсаторних установки типу УКРМ-0,4-160-20У3. Встановлення виконується у приміщенні РП-0,4кВ прибудованої ТП з підключенням їх до шин 0,4кВ.

Розрахунок параметрів та вибір провідників

У даній роботі вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельні лінії напругою 10кВ, які з'єднують трансформатори цехової ТП з шинами РП;

- усієї силової живильної мережі до 1 кВ;

- розподільної мережі від ЩС 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 (звичайно, що ізоляція провідників має відповідати класу напруги) [2].

Вибір перерізу КЛ 10 кВ

Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 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 робити не потрібно, бо мінімальний переріз алюмінієвої жили для кабелів становить 2,5 мм^2, мідної — 1,5 мм^2, що відповідає мінімальному перерізу провідника.

Вибір КЛ за нормальним режимом

При виборі перерізу кабелю, який живить ТП з трансформатором (трансформаторами) 10/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{норм}$ при радіальній схемі незалежно від числа трансформаторів ЦТП (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 первинна напруга трансформатора, кВ.

Економічно вигідний переріз кабелів визначається як:

$$S_{ек} = \frac{I_{норм}}{J_{ек}}, мм^2 \ , \tag{4.2}$$

де $I_{норм}$ - струм нормального режиму, А;

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

Перевірка КЛ 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 $I_{\text{доп}}$та коефіцієнтів допустимого перевантаження $К_{\text{пер}}$, які наводяться в таблицях 1.3.1 і 1.3.2 Правил улаштування електроустановок, порівнюють зі струмом його форсованого режиму $I_Ф$з урахуванням коефіцієнта резервування $К_{\text{рез}}$:

$$K_{пер} \cdot I'_{доп} \geq I_Ф = K_{рез} \cdot I_{норм}, A, \tag{4.3}$$

При проектуванні у вихідних даних не задається графік навантаження ЕП цеху, тому ми приймаємо коефіцієнт допустимого перевантаження $К_{\text{пер}}$ = 1.

Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 10 кВ з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері визначається так:

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

де $K_{сер}$- поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної (таблиця 1.3.10 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 однієї 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).

Коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $К_{сер}$ 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 (у даній роботі приймається залежно від реальних даних).

Таблиця 4.1 – Допустимі значення температури нагріву жил кабелів з паперовою просоченою ізоляцією (ПУЕ табл.1.3.1)

Номінальна напруга, кВ	Тривало допустима температура нагріву жил, °С		Максимальна допустима температура нагріву жил, °С	
	одножильних (в окремій оболонці по кожній жилі)	з поясною ізоляцією	у разі перевантаження	у разі струму КЗ
1 6 10 20 і 35	80 – – 65	80 80/65 70/60 –	105 105/90 90/80 –	250 200 200 130
Примітка. У чисельнику наведено значення температури для кабелів з ізоляцією, просоченою неспливаючою сумішшю, і кабелів з ізоляцією, просоченою в'язкою ізоляційною маслоканіфольною сумішшю; у знаменнику – для кабелів з ізоляцією, просоченою в'язкою сумішшю, яка містить поліетиленовий віск – загусник.				

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

Струм форсованого режиму $I_Ф$ для двох трансформаторних ПС з резервуванням між сусідніми ПС за допомогою кабельних перемичок при напрузі до 1 кВ приймається $К_{рез}$ =1,3, при резервуванні за допомогою шинних перемичок НН — $К_{рез}$ =1,4, без резервування — $К_{рез}$ = 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.

Перевірка КЛ 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:

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

де $B_к$ - тепловий імпульс струму КЗ, $А^2с$;

С - температурний коефіцієнт, який враховує обмеження допустимої температури кабелю (наводиться в довідниках), $Ас^{1/2}/мм^2$;

$I_K = I_{П.0}$ - початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ, 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 $t_{вимик.в}$= 0,05 с) і сталої часу аперіодичної складової струму КЗ ($Т_а$ = 0,05 с)

$$t = t_{зах} + t_{вимик.в} + T_a, c, \quad (4.7)$$

На лініях до ЦТП, 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 ЦТП 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 ЦТП є МСЗ.

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

Якщо після розрахунку за формулою (4.6) виконується умова $S_{СТ} > S_{min}$, то залишається стандартний переріз кабелю. Якщо в результаті розрахунку $S_{СТ} < S_{min}$, то необхідно прийняти нове найближче більше значення стандартного перерізу кабелю $S_{СТ} > S_{min}$. Кабель марки ААБл застосовують досить часто. Він має алюмінієві жили, паперову просочену масло-каніфольною масою ізоляцію, алюмінієву оболонку, броньований двома сталевими стрічками та зовнішній поверхневий полівінілхлоридний покрив.

Вибір перерізу кабелю напругою 10 кВ від РП до ТП

Номінальна потужність трансформатора $S_{ном.Т}$ = 400 кВА. Резервування на стороні 10кВ передбачене. ТП розташовується в прибудованому до будівлі станції приміщенні. Від ТП живляться ЕП 2-ї категорії. Тому приймається кількість годин використання максимуму навантаження за рік $Т_{макс}$ = 5000 год/рік, коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю $К_{пер}$ =1, марка кабелю ААБл, температура навколишнього середовища (землі) $Т_{сер}$ - 20 °С, початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ у максимальному режимі на шинах РП $I_{П.0}$ = 7 кА. Довжина – Lкаб1= 95м.

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

$$I_{ном.Т.1} = \frac{2 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46{,}19\ А.$$

Для кабелів із паперовою ізоляцією з алюмінієвими жилами при $Т_{макс}$ = 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:

$$S_{ек} = \frac{46{,}19}{1{,}2} = 38{,}49\ мм^2.$$

Вибирається найближчий більший стандартний переріз кабелю $S_{СТ}$ = 50 мм^2.

При нормованій тривало допустимій температурі кабелю марки ААБл напругою 10 кВ $T_{ж.н}$ = 60 °С, нормованій тривало допустимій температурі середовища $T_{сер\ н}$ = 15 °С і фактичній температурі навколишнього середовища $T_{сер}$ = 20 °С коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища за формулою (4.5)

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{60-20}{60-15}} = 0{,}943.$$

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

Коефіцієнт, що враховує кількість кабелів при прокладці кабелю всередині приміщення цеху приймається $K_{пр}$ = 1.

При прокладанні в землі для трижильних кабелів марки ААБл напругою 10кВ і перерізом жили 50 мм^2 допустимий тривалий струм при прокладанні в землі $I_{доп}$= 134 А, при прокладанні в повітрі $I_{доп}$= 132 А (за даними заводу-виробника «Південькабель») – в розрахунок приймаємо менше зі значень.

За формулою (4.4)

$$I_{доп} = 0{,}94 \cdot 1 \cdot 132 = 124{,}1\ A.$$

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:

$$1 \cdot 124{,}1 = 124{,}1\ A \geq 1{,}4 \cdot 46{,}19 = 64{,}67\ A.$$

$$124{,}1\ A \geq 64{,}67\ A$$

Для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і паперовою ізоляцією при напрузі 10 кВ приймається температурний коефіцієнт С = 94 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)

$$S_{мін} = \frac{7000 \cdot \sqrt{0,2}}{94} = 33,3\ мм^2.$$

Таким чином, $S_{СТ}$ = 50 мм^2 > S_{min} = 33,3 мм^2, тому вибирається кабель ААБл-10 (3х50).

Вибір перерізу провідників мережі живлення 0,4 кВ

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 допустимі температури нагріву кабелів з пластмасовою ізоляцією (відповідно до ДСТУ IEC 60502-1:2009) приведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Допустимі значення температури нагріву жил кабелів з пластмасовою і гумовою ізоляцією (ПУЕ табл.1.3.2)

Матеріал ізоляції кабелю	Допустима температура нагріву жил, °С		Максимальна допустима температура нагріву жил,°С	
	тривала	короткочасна в разі перевантаження	у разі струму КЗ	за умови незагоряння у разі КЗ
Полівінілхлоридний пластикат	70	90	160/140[1)]	350
Полівінілхлоридний пластикат пониженої пожежної небезпеки				
Полімерна композиція, що не містить галогенів				
Зшитий поліетилен[2)]	90	130	250[4)]	400
Етиленпропіленова гума [3)]	90	130	160	350

[1)] У знаменнику – для кабелів із струмовідними жилами перерізом понад 300 мм^2.
[2)] Вимоги застосовують до кабелів напругою до 330 кВ.
[3)] Для кабелів із гумовою ізоляцією тривала допустима температура нагріву жил становить 65 °С; короткочасна у разі перевантаження – 110 °С; максимально допустима у разі КЗ – 150 °С; за умови незагоряння у разі КЗ – 350 °С.
[4)] Допустима температура екранів кабелів у разі КЗ становить 350 °С.

Вибір перерізу кабелів

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

$$I'_{доп} \geq I_{р.2}, А, \quad (4.8)$$

де $I_{р.2}$ - розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

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

$$I'_{доп} = К_{сер} \cdot К_{пр} \cdot К_{попр} \cdot I_{доп}, А, \quad (4.9)$$

де $К_{попр}$ = 0,92 (коефіцієнт поправки $К_{попр}$ уводиться при визначенні $I_{доп}$ для чотирижильних кабелів з пластмасовою ізоляцією напругою до 1 кВ, якщо допустимі тривалі струми взяті з таблиці 1.3.11 ПУЕ як для трижильних кабелів.

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості коефіцієнт поправки $К_{пр}$ =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:

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

де $Р_{р.2}$ і $Q_{р.2}$ - максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і кВАр;

$R_{кб}$ *і* $X_{кб}$- активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

$$R_{кб} = r_п \cdot l_{кб}, \quad (4.11)$$

$$X_{кб} = x_п \cdot l_{кб}, \quad (4.12)$$

де $r_п$ і $x_п$ - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

$l_{кб}$- 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

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

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

З таблиці 1.3.10 Правил улаштування електроустановок коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища також $K_{сер}$ = 1,05.

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

З таблиці 2.2 розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить ЩС2, $I_{р.2}$ = 323,2 А.

З таблиці [2] для трижильного кабелю при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ}$ = 150 мм^2 допустимий струм $I_{ДОП}$ = 346 А. За формулою (4.9)

$$I'_{доп} = 1{,}05 \cdot 1 \cdot 0{,}92 \cdot 346 = 334{,}24\ A$$

Таким чином, $I'_{доп} = 334{,}34\ A \geq I_{р.2} = 323{,}2\ A$.

Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{р.2} = 161{,}7\ кВт$, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{р.2} = 138{,}22\ кВт$.

З таблиці [2] для кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ}$ = 150 мм^2 приймаються такі питомі опори кабелю: $r_{п}$= 0,124 мОм/м, $x_{п}$ = 0,0596 мОм/м. Довжина кабелю $l_{к6}$= 72 м. Тоді за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб} = 0{,}124 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0{,}009\ Ом.$$

$$X_{кб} = 0{,}0596 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0{,}004\ Ом.$$

За формулою (4.10)

$$\Delta U_{кб} = \frac{161{,}7 \cdot 0{,}009 + 138{,}22 \cdot 0{,}004}{10 \cdot 0{,}38^2} = 1{,}41\%.$$

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

Таким чином, вибирається чотирижильний кабель ВВГнгд-4х150.

Переріз кабелів живильної мережі до силових щитів станції приготування технологічних розчинів (ЩС1, ЩС2, ЩС3, ЩС4, ШО), вибирається аналогічно, як і до ЩС2. Розрахунок втрат напруги також проводиться аналогічно. Результати розрахунків зведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Вибір перерізу кабелів живильної мережі ділянок

Кабель	$S_{ст}$, мм^2	$I'_{доп}$, А	$I_{р.2}$, А	$\Delta U_{кб}$,%	Тип кабелю	Довжина, м
Н-ЩС1	95	252,126	233,73	0,87	ВВГнгд-4х95	42
Н-ЩС2	150	334,236	323,20	1,41	ВВГнгд-4х150	72
Н-ЩС3	35	132,342	105,24	0,73	ВВГнгд-4х35	34
Н-ЩС4	35	132,342	105,24	1,58	ВВГнгд-4х35	74
Н-ЩО	25	108,192	77,42	0,95	ВВГнгд-4х25	63

Вибір перерізу провідників розподільної мережі 0,4 кВ

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

$$I'_{доп} \geq I_{р.1}, А, \qquad (4.27)$$

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

Допустимий тривалий струм для кабелів $I_{доп}$ з полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами залежно від перерізу, способу прокладання, кількості проводів у трубі наводиться в таблиці 1.3.11 ПУЕ.

Для остаточного вибору перерізу проводу слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: 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:

$$\Delta U_{пр} = \frac{p_{P.1} \cdot R_{пр} + q_{P.1} \cdot X_{пр}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \quad (4.28)$$

де $p_{P.1}$ і $q_{P.1}$- розрахункові активне і реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання ЕП відповідно, кВт і кВАр;

$R_{\text{пр}}$ і $X_{пр}$ - активний і реактивний опори проводів відповідно, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами:

$$R_{пр} = r_п \cdot l_{пр}, \quad (4.29)$$

$$X_{пр} = x_п \cdot l_{пр}, \quad (4.30)$$

де $r_{\text{п}}$ і $x_п$ - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

$l_{пр}$- довжина кабелю, км.

Вибір кабельних ліній від ЩС до ЕП

Приймаємо марку 4-х жильного кабелю ВВГнгд, прокладення кабелів у гофрованих трубах по кабельним конструкціям (лоткам та полкам), фактичну температуру навколишнього середовища $T_{сер}$=20 °С.

Для кабелю марки ВВГнгд з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.2 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н}$ =70°С, нормована температура середовища при прокладенні в повітрі $T_{сер.н}$ =25°С. Тоді за формулою (4.5) коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $К_{сер}$=1,05. З таблиці 1.3.10 ПУЕ коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища також $К_{сер}$=1,05.

При прокладенні кабелю всередині приміщення цеху в сталевих трубах коефіцієнт умов середовища $К_{пр}$ = 1, бо в довідкових таблицях ураховуються умови прокладки залежно від кількості проводів у трубі.

Для насосу Н4 (живиться від ЩС2) з таблиці 2.1 $cos\,\phi$= 0,8, ККД (згідно даних заводу-виробника) приймається $\eta_{номд} = 0{,}905$.

Номінальний струм визначається за формулою (2.11)

$$I_{ном.д} = \frac{22}{\sqrt{3}\cdot 0{,}38\cdot 0{,}8\cdot 0{,}905} = 46{,}17\ A.$$

З каталогу заводу виробника «Південькабель» (часто буває, що дані на конкретну продукцію конкретного виробника відрізняються від значень ПУЕ, тому приймемо менший допустимий струм), для ВВГнгд-4х10 допустимий струм для стандартних умов при прокладанні в повітрі $I_{доп}$= 63А. Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища й умов прокладення визначається за формулою (4.4)

$$I'_{доп} = 1{,}05 \cdot 1 \cdot 63 \cdot 0{,}92 = 60{,}86\ A.$$

За формулою (4.27)

$$I'_{доп} = 60{,}86\ A \geq I_{р.1} = I_{ном.д} = 46{,}17\ A.$$

Умова виконується.

Умова механічної міцності також виконується (10 мм^2 > 1,5 мм^2).

З таблиці [2] для кабелів зі струмопровідною жилою $S_{СТ}$ = 10 мм^2 приймаються такі питомі опори: $r_п$= 1,84 мОм/м, $x_п$ = 0,073 мОм/м. Довжина кабелю до насосу Н1 $l_{пр}$= 7 м. Тоді за формулами (4.29) і (4.30)

$$R_{пр} = 1{,}84 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0{,}013\ Ом.$$

$$X_{пр} = 0{,}073 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0{,}001\ Ом.$$

Для насосів при $tg\phi_{ном.д}$= 0,75, який відповідає $cos\,\phi_{ном.д}$= 0,8, за формулою (2.8) розрахункове реактивне навантаження першого рівня електропостачання:

$$q_{р.1} = 22 \cdot 0{,}75 = 16{,}5\ кВАр.$$

Вибраний стандартний переріз проводу перевіряється на втрату напруги за формулою (4.28)

$$\Delta U_{кб} = \frac{22 \cdot 0{,}013 + 16{,}5 \cdot 0{,}001}{10 \cdot 0{,}38^2} = 0{,}34\%.$$

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

Для прокладання кабелю при підході до насосу, необхідно обрати захисну металеву трубу відповідного діаметру.

Результати розрахунків наводяться в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Вибір перерізу проводів розподільної мережі від ЩС до електроприймачів

Лінія	Ір.1, А	I'доп	Iдоп	SСТ	Довжина	R	X	Rкаб	Хкаб	ΔU, %	Марка кабелю	Тип двигуна	Рном, кВт	ККД
Н-Н1	76,38	81,14	84	16	21	1,2	0,0675	0,024	0,001	0,65	ВВГнгд-4х16	АИР200М4	37	0,92
Н-Н2	76,38	81,14	84	16	9	1,2	0,0675	0,010	0,001	0,28	ВВГнгд-4х16	АИР200М4	37	0,92
Н-Н3	76,38	81,14	84	16	17	1,2	0,0675	0,020	0,001	0,53	ВВГнгд-4х16	АИР200М4	37	0,92
Н-Н4	46,17	60,86	63	10	7	1,8	0,073	0,013	0,001	0,34	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н5	46,17	60,86	63	10	13	1,8	0,073	0,024	0,001	0,38	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н6	46,17	60,86	63	10	20	1,8	0,073	0,037	0,001	0,58	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н7	46,17	60,86	63	10	7	1,8	0,073	0,013	0,001	0,14	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н8	46,17	60,86	63	10	13	1,8	0,073	0,024	0,001	0,26	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н9	46,17	60,86	63	10	20	1,8	0,073	0,037	0,001	0,39	ВВГнгд-4х10	АИР180S4	22	0,905
Н-Н10	31,87	34,78	36	4	13	4,6	0,095	0,060	0,001	0,63	ВВГнгд-4х4	АИР160S4	15	0,894
Н-Н11	31,87	34,78	36	4	7	4,6	0,095	0,032	0,001	0,34	ВВГнгд-4х4	АИР160S4	15	0,894
Н-Н12	9,02	26,08	27	2,5	8	7,4	0,104	0,059	0,001	0,62	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н13	9,02	26,08	27	2,5	11	7,4	0,104	0,081	0,001	0,24	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н14	9,02	26,08	27	2,5	14	7,4	0,104	0,104	0,001	0,30	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н15	9,02	26,08	27	2,5	17	7,4	0,104	0,126	0,002	0,37	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н16	31,87	34,78	36	4	13	4,6	0,095	0,060	0,001	0,64	ВВГнгд-4х4	АИР160S4	15	0,894
Н-Н17	31,87	34,78	36	4	7	4,6	0,095	0,032	0,001	0,34	ВВГнгд-4х4	АИР160S4	15	0,894
Н-Н18	9,02	26,08	27	2,5	8	7,4	0,104	0,059	0,001	0,62	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н19	9,02	26,08	27	2,5	11	7,4	0,104	0,081	0,001	0,43	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н20	9,02	26,08	27	2,5	14	7,4	0,104	0,104	0,001	0,55	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-Н21	9,02	26,08	27	2,5	17	7,4	0,104	0,126	0,002	0,67	ВВГнгд-4х2,5	АИР100S2	4	0,842
Н-М1	36,58	44,44	46	6	26	3,1	0,09	0,080	0,002	0,64	ВВГнгд-4х6	АИР160М6	15	0,89
Н-М2	36,58	44,44	46	6	16	3,1	0,09	0,049	0,001	0,39	ВВГнгд-4х6	АИР160М6	15	0,89
Н-М3	36,58	44,44	46	6	28	3,1	0,09	0,087	0,003	0,69	ВВГнгд-4х6	АИР160М6	15	0,89
Н-М4	27,44	34,78	36	4	18	4,6	0,095	0,083	0,002	0,65	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М5	27,44	34,78	36	4	25	4,6	0,095	0,116	0,002	0,91	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М6	27,44	34,78	36	4	30	4,6	0,095	0,139	0,003	1,09	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М7	27,44	34,78	36	4	18	4,6	0,095	0,083	0,002	0,65	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М8	27,44	34,78	36	4	25	4,6	0,095	0,116	0,002	0,91	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М9	27,44	34,78	36	4	30	4,6	0,095	0,139	0,003	1,09	ВВГнгд-4х4	АИР160М8	11	0,87
Н-М10	19,04	26,08	27	2,5	23	7,4	0,104	0,170	0,002	1,32	ВВГнгд-4х2,5	АИР160S8	7,5	0,855
Н-М11	19,04	26,08	27	2,5	16	7,4	0,104	0,118	0,002	0,92	ВВГнгд-4х2,5	АИР160S8	7,5	0,855
Н-М12	6,04	26,08	27	2,5	16	7,4	0,104	0,118	0,002	0,92	ВВГнгд-4х2,5	АИР100L6	2,2	0,79
Н-М13	6,04	26,08	27	2,5	22	7,4	0,104	0,163	0,002	1,26	ВВГнгд-4х2,5	АИР100L6	2,2	0,79
Н-М14	19,04	26,08	27	2,5	23	7,4	0,104	0,170	0,002	1,32	ВВГнгд-4х2,5	АИР160S8	7,5	0,855
Н-М15	19,04	26,08	27	2,5	16	7,4	0,104	0,118	0,002	0,92	ВВГнгд-4х2,5	АИР160S8	7,5	0,855
Н-М16	6,04	26,08	27	2,5	16	7,4	0,104	0,118	0,002	0,92	ВВГнгд-4х2,5	АИР100L6	2,2	0,79
Н-М17	6,04	26,08	27	2,5	22	7,4	0,104	0,163	0,002	1,26	ВВГнгд-4х2,5	АИР100L6	2,2	0,79

Вибір шинопровода

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

$$I_{ном.ШМА} \geq I_ф = K_{рез} \cdot I_{ном.Т.2}, A \quad (4.14)$$

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:

$$I_{ном.Т.2} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{нлм.Т.2}}, A, \quad (4.15)$$

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

$U_{нлм.Т.2}$- номінальна вторинна напруга трансформатора, кВ.

Вибір перерізу ШМА.

Шинопровід ШМА є продовженням розподільного пристрою НН двох-трансформаторної КТП з номінальною потужністю трансформаторів $S_{ном.\ т}$ = 400 кВА. Резервування на стороні НН передбачене ($K_{рез}$ = 1,4).

Розрахунок. Номінальний вторинний струм трансформатора ТП за формулою (4.15)

$$I_{ном.Т.2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38} = 607{,}74\ A.$$

З таблиці Ж.6 додатка Ж [2] вибирається шинопровід типу ШМА4-1250-44-1УЗ. За формулою (4.14)

$$I_{ном.ШМА} = 1250A \geq I_ф = 1{,}4 \cdot 607{,}74 = 850{,}83\ A.$$

Умова виконується. В якості розподільчого пристрою прибудованої ТП планується використати комплектний низьковольтний пристрій.

Розрахунок струмів короткого замикання

Проектовані елементи СЕП, необхідно перевіряти на здатність витримувати дію термічного й електродинамічного впливу струмів короткого замикання. Якщо величина цього впливу перевищує допустиму, елемент ушкоджується і завдає СЕП збитків. Щоб запобігти цьому, треба:

а) визначити величину струмів КЗ;

б) 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);

в) 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 $I_{п(0)}$;

- ударний струм i_y трифазного КЗ.

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

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 ЕА і провідників за їх стійкістю до дії струмів КЗ - трифазне КЗ;

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

Розрахунок струмів трифазного КЗ

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 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 $I_{n(0)} = I_к^{(3)}$;

- 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 [10]:

а) на розподільних пристроях НН трансформаторів ПС -R_{Kl} = 15 мОм;

б) на первинних цехових розподільних пунктах (СРШ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від розподільних пристроїв НН ПС або головних магістралей (ШМА) -$R_{к2}$ = 20 мОм;

в) на вторинних цехових розподільних пунктах і затискачах ЕА, які живляться від первинних розподільних пунктів -$R_{к3}$ = 25 мОм;

г) на затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів - $R_{к4}$ = 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, К2, К3, К4 і К5 для схеми на рисунку 5.1.

Вихідні дані взяті з попередніх результатів розрахунків і наведені нижче.

Система: $I_{п(0)}$= 7 кА, $U_{ном.вн}$ = 10 кВ.

Трансформатор типу ТМГ-400/10/0,4: $S_{Н0М\ т}$ = 400 кВА; $U_{ном.вн}$ = 6 кВ; $U_{ном.нн}$ = 0,4 кВ.

Сучасні автоматичні вимикачі (виробництва «ПРОМФАКТОР» Україна, Кривий Ріг):

QF1 - FMC7E 3P: $I_{ном.а}$= 1000 А;

QF2 - FMC5Si 3P: $I_{ном.а}$= 400 А;

QF3 - FMC4Si 3P: $I_{ном.а}$= 350 А.

QF4 - FMC1S 3P: $I_{ном.а}$= 50 А.

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 1000/5;

Кабельні лінії:

Мережа 10 кВ - ААБл-3х50; $l_{кб1}$ = 95м;

Мережа 0,4 кВ - ВВГнгд-4х150; $l_{кб2}$ = 72м;

Кабель до насосу Н4 - ВВГнгд-4х4; $l_{кб3}$ = 7м.

Розрахунок. Базисна напруга ступеня в електричній мережі напругою до 1 кВ

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

1 етап: Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

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

$$X_C = \frac{U^2{}_{ном.серНН}}{\sqrt{3}\cdot I_{к.ВН}\cdot U_{ном.серВН}} = \frac{400^2}{\sqrt{3}\cdot 7000\cdot 10500} = 1{,}257\ мОм.$$

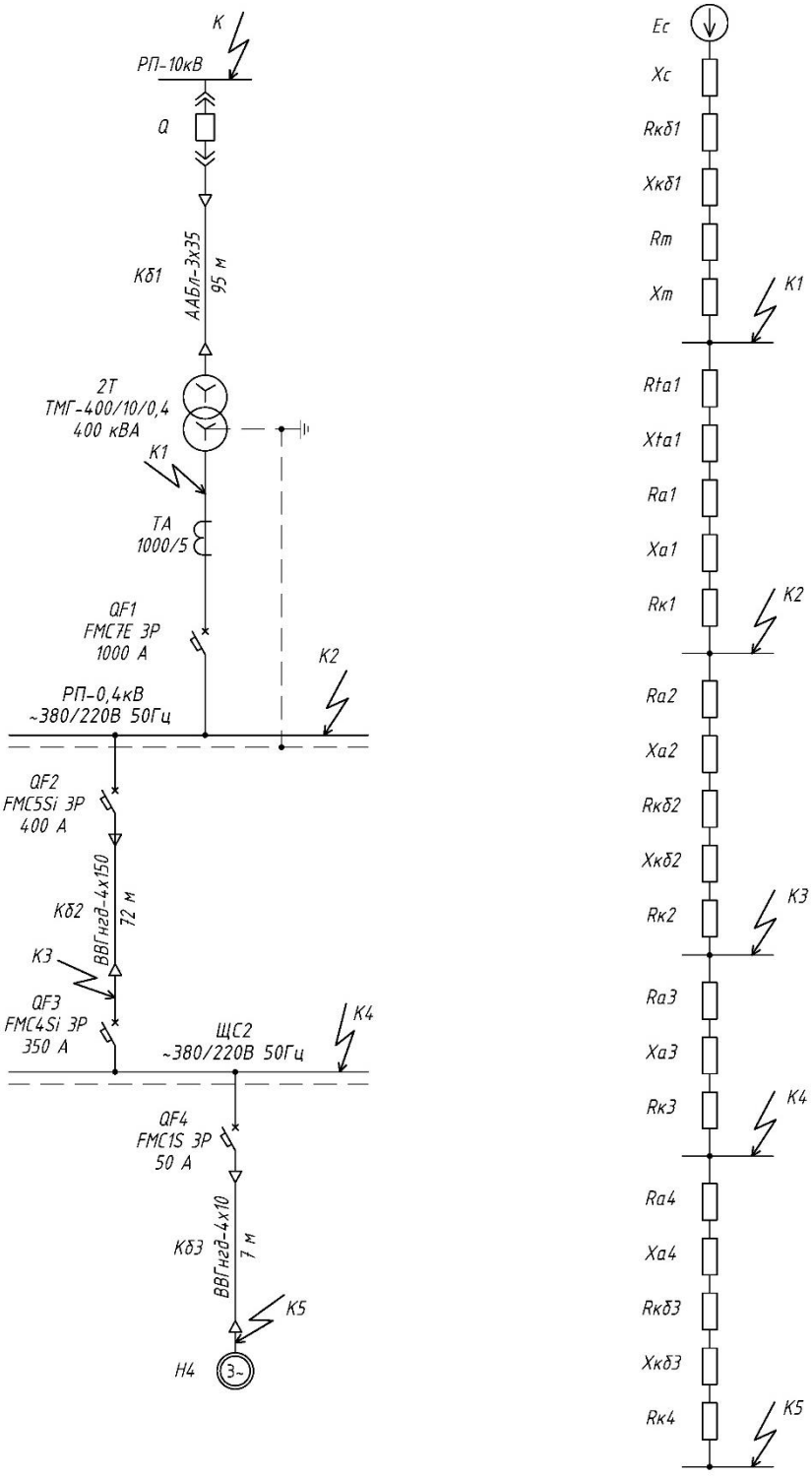


Рисунок 5.1 - Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів трифазного короткого замикання

2) У таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою 10 кВ (ААБл-3х35) питомі опори такі: $r_п$ = 0,625 мОм/м; $x_П$ = 0,09 мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{кб.1} = r_n \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.серНН}}{U_{ном.серВН}} = 0{,}625 \cdot 95 \frac{400}{10500} = 2{,}262\ мОм,$$

$$X_{кб.1} = x_n \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.серНН}}{U_{ном.серВН}} = 0{,}09 \cdot 95 \frac{400}{10500} = 0{,}326\ мОм$$

3) За паспортними даними трансформатора ТМГ-400/10/0,4кВ при схемі з'єднань Y/Yн-0 приймаються втрати КЗ $Р_{к.ном}$ = 5,5 кВт, напруга КЗ $u_к$ = 4,5 %. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U^2{}_{ном.НН}}{S^2{}_{ном.Т}} \cdot 10^6 = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 5{,}5\ мОм;$$

$$X_T = \sqrt{u_к^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{ном.Т}}\right)^2} \cdot \frac{U^2{}_{ном.НН}}{S_{ном.Т}} \cdot 10^4 =$$

$$= \sqrt{4{,}5^2 - \left(\frac{100 \cdot 5{,}5}{400}\right)^2} \cdot \frac{0{,}4^2}{400} \cdot 10^4 = 17{,}14\ мОм$$

4) З таблиці А.49 додатка Н [10] для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 1000/5 для класу точності 1 приймається $R_{та1}$ = 0,0125 мОм; $X_{та1}$ = 0,017 мОм.

5) З таблиці Н.1 додатка Н [2]:

- для автомата QF1 (1000А) приймається

$R_{а.1}$ = 0,25 мОм; $X_{а.1}$ = 0,1 мОм.

- для автомата QF2 (400А) приймається

$R_{а.2}$ = 0,65 мОм; $X_{а.2}$ = 0,17 мОм.

- для автомата QF3 (350А) приймається

$R_{а.3}$ = 0,8 мОм; $X_{а.3}$ = 0,28 мОм.

- для автомата QF4 (50А) приймається

$R_{а.4}$ = 7 мОм; $X_{а.4}$ = 4,5 мОм.

6) З таблиці А.69 додатка М [10] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнгд-4х150 L=72м) з однаковим перерізом жил питомі опори такі: $r_п$ = 0,14 мОм/м; $x_п$ = 0,07 мОм/м.

Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб.2} = r_n \cdot l_{кб.2} = 0{,}14 \cdot 72 = 10{,}08\ мОм;$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0{,}07 \cdot 72 = 5{,}04\ мОм.$$

7) З таблиці А.69 додатка М [10] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнгд-4х10 L=7м) з однаковим перерізом жил питомі опори такі: $r_п$ = 2,13 мОм/м; $x_п$ = 0,095 мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб.3} = r_n \cdot l_{кб.3} = 2{,}13 \cdot 7 = 14{,}91\ мОм;$$

$$X_{кб.3} = x_n \cdot l_{кб.3} = 0{,}095 \cdot 7 = 0{,}665\ мОм.$$

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:

$$R_{ΣK1} = R_{кб1} + R_T = 2{,}262 + 5{,}5 = 7{,}762\ мОм;$$

$$X_{ΣK1} = X_C + X_{кб1} + X_T = 1{,}257 + 0{,}326 + 17{,}14 = 18{,}72\ мОм;$$

$$Z_{ΣK1} = \sqrt{R^2_{ΣK1} + X^2_{ΣK1}} = \sqrt{7{,}762^2 + 18{,}72^2} = 20{,}27\ мОм$$

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

$$I_{K1(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{ΣK1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20{,}27} = 11{,}39\ кА.$$

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

$$R_{ΣK2} = R_{ΣK1} + R_{ta1} + R_{a1} + R_{к1} = 7{,}762 + 0{,}0125 + 0{,}25 + 15 = 23{,}02\ мОм;$$

$$X_{ΣK2} = X_{ΣK1} + X_{ta1} + X_{a1} = 18{,}72 + 0{,}017 + 0{,}1 = 18{,}84\ мОм;$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R^2_{\Sigma K2} + X^2_{\Sigma K2}} = \sqrt{23{,}02^2 + 18{,}84^2} = 29{,}75\ мОм.$$

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

$$I_{K2(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3}\cdot Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 29{,}75} = 7{,}76\ кА.$$

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

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к2} = 23{,}02 + 0{,}65 + 10{,}08 + 20 = 53{,}75\ мОм;$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{a2} + X_{кб2} = 18{,}84 + 0{,}17 + 5{,}04 = 24{,}05\ мОм;$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R^2_{\Sigma K3} + X^2_{\Sigma K3}} = \sqrt{53{,}75^2 + 24{,}05^2} = 58{,}89\ мОм.$$

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

$$I_{K3(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3}\cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 58{,}89} = 3{,}92\ кА.$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К4.

Сумарні опори щодо точки К4 визначаються так:

$$R_{\Sigma K4} = R_{\Sigma K3} + R_{a3} + R_{к3} = 53{,}75 + 0{,}8 + 25 = 79{,}55\ мОм;$$

$$X_{\Sigma K4} = X_{\Sigma K2} + X_{a3} = 24{,}05 + 0{,}28 = 24{,}33\ мОм;$$

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{R^2_{\Sigma K4} + X^2_{\Sigma K4}} = \sqrt{79{,}55^2 + 24{,}33^2} = 83{,}19\ мОм.$$

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

$$I_{K4(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3}\cdot Z_{\Sigma K4}} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 83{,}19} = 2{,}78\ кА.$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці К5.

Сумарні опори щодо точки К5 визначаються так:

$$R_{\Sigma K5} = R_{\Sigma K4} + R_{a4} + R_{кб3} + R_{к4} = 79{,}55 + 7 + 14{,}91 + 30 = 131{,}46\ мОм;$$

$$X_{\Sigma K5} = X_{\Sigma K4} + X_{a4} + X_{кб3} = 24{,}33 + 4{,}5 + 0{,}665 = 29{,}5\ мОм;$$

$$Z_{\Sigma K5} = \sqrt{R^2_{\Sigma K5} + X^2_{\Sigma K5}} = \sqrt{131{,}46^2 + 29{,}5^2} = 134{,}73\ мОм.$$

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

$$I_{K3(0)} = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 134{,}73} = 1{,}71\ кА.$$

Результати розрахунку струмів трифазних КЗ у початковий момент часу в електричній мережі станції приготування технологічних розчинів в розрахункових точках зведені в таблиці 5.1.

Розрахунок струмів однофазного КЗ

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 10 кВ, якщо захист у ланцюзі 0,38 кВ нечутливий).

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

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

де $U_Ф$- фазна напруга мережі, В;

$Z_{ПТ}$- повний опір петлі «фаза – нуль» від трансформатора до точки КЗ, обмірюваний при іспитах або знайдений із розрахунків, мОм;

$Z_T^{(1)}$- 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} і X_{1T} – активний та індуктивний опори трансформатора струмам прямої послідовності, мОм;

$R_{2T} = R_{1T}$і $X_{2T} = X_{1T}$ – те саме зворотної послідовності, мОм;

R_{0T} і X_{0T} — те саме нульової послідовності, мОм.

Опори трансформатора струмам нульової послідовності значною мірою залежать від схеми з'єднання обмоток трансформатора, тому рекомендується схема «трикутник – зірка з нейтраллю» (Δ/Yн), у якої порівняно зі схемою «зірка – зірка з нейтраллю» (Y/Yн) 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

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_C)^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_C)^2}\,. \quad (5.27)$$

Опір петлі «фаза – нуль» для ланцюга з п послідовно з'єднаних ділянок визначається за формулою:

$$Z_{ПТ} = \sum_{i=1}^{n} z_{n.пт.i} \cdot l_i, \quad (5.28)$$

де $z_{\text{п.пт.i}}$ – питомий опір петлі «фаза – нуль» кожної наступної ділянки від трансформатора до точки КЗ, мОм/м (величини $z_{n.пт.i}$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

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\Phi}{\frac{Z_\Sigma^{(1)}}{3} + Z_{ПТ}}. \quad (5.29)$$

Величина $Z_\Sigma^{(1)}$ з урахуванням перехідних активних опорів контактів $R_{кп}$ = 15 мОм обчислюється як [2]

$$Z_\Sigma^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_C + 3R_{кп})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_C)^2}\ . \quad (5.30)$$

Визначаємо струм однофазного КЗ у точках К1, К2, К3, К4 і К5 для схеми на рисунку 5.2.

Трансформатор типу ТМГ-400/10, схема з'єднання обмоток трансформатора «трикутник – зірка з нейтраллю» (Y /Yн).

Кабельні лінії:

Кб2: ВВГнгд-4х150; $l_{кб2}$ = 72м;

Кабель до насосу Н4: ВВГнгд-4х10; $l_{кб3}$ = 7м.

Розрахунок

З таблиці Н.3 додатка Н [2] для трансформатора з номінальною потужністю 400 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора «зірка – зірка з нейтраллю» (Y/Yн) повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)}$ = 65 мОм. За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{195}{3}} = 3{,}38\ кА.$$

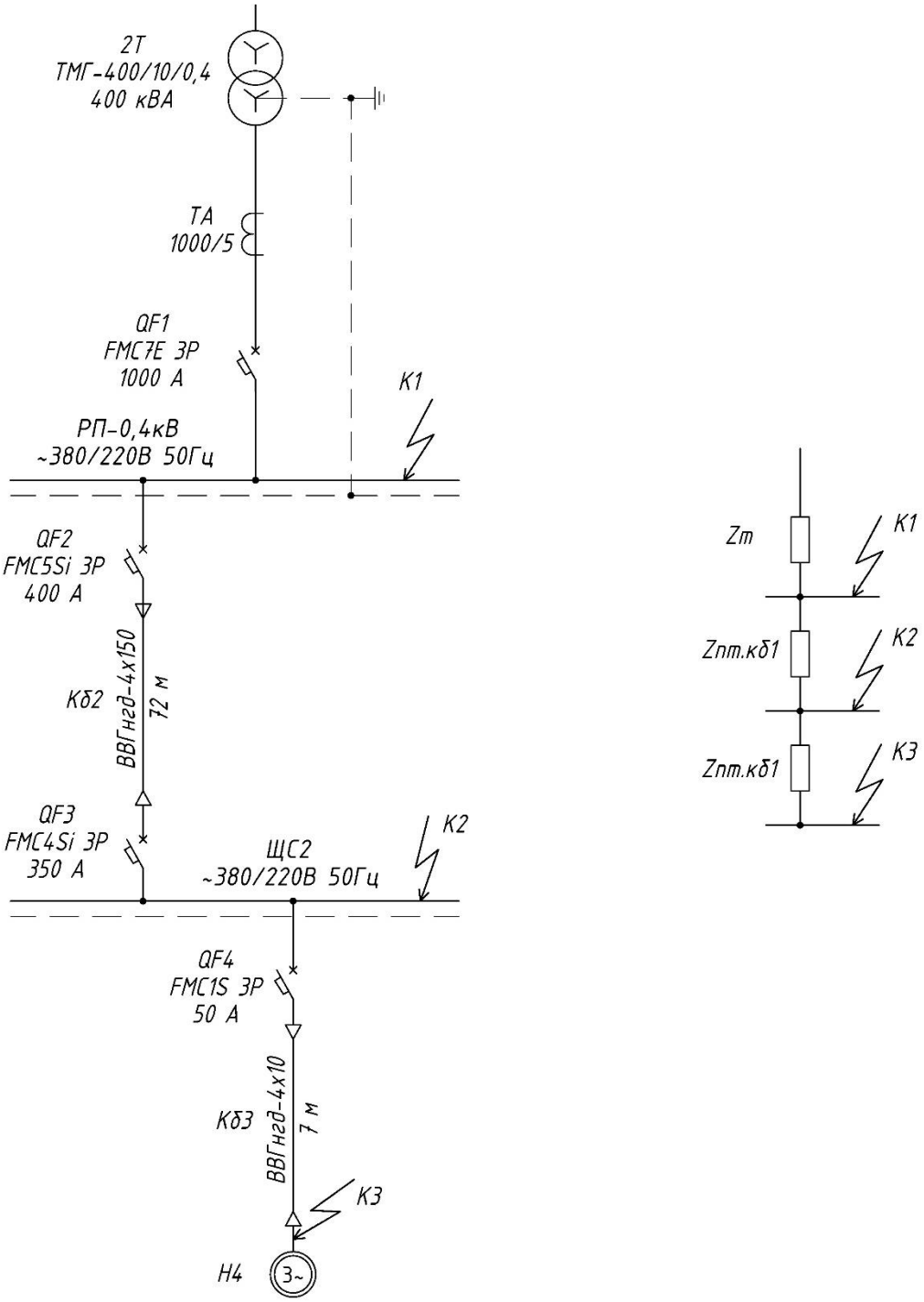


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів однофазного короткого замикання

З таблиці 11 «Рекомендації по розрахунку опору петлі «фаза-нуль». Главэлектромонтаж. 1986 г.» повні питомі опори $z_{\text{п.пт}}$ланцюга «фаза – нуль» для чотирижильних кабелів та проводів з мідними жилами такі:

$z_{\text{п.пт.кб2}}$= 0,292 мОм/м;

$z_{п.пт.кб3}$= 4,34 мОм/м.

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

$$Z_{пт.2} = Z_{пт.кб2};$$

$$Z_{пт.2} = 0{,}292 \cdot 72 = 21{,}02\ мОм.$$

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

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{195}{3}+21{,}02} = 2{,}56\ кА.$$

Повний опір петлі «фаза – нуль» до точки КЗ визначається за формулою:

$$Z_{пт.3} = Z_{пт.кб2} + Z_{пт.кб3};$$

$$Z_{пт.3} = 21{,}02 + 4{,}34 \cdot 7 = 51{,}4\ мОм.$$

За формулою (5.29) струм однофазного металевого КЗ у точці КЗ:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{135}{3}+51{,}4} = 1{,}89кА.$$

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку струмів КЗ

ЩС та лінії		Струм трифазного КЗ в розрахунковій точці, кА					Струм однофазного КЗ в розрахунковій точці, кА		
		К5	К4	К3	К2	К1	К3(1)	К2(1)	К1(1)
ЩС1	**Н1**	1,63	2,81	4,02	7,76	11,39	1,36	2,61	3,38
	Н2	1,84					1,71		
	Н3	1,70					1,46		
	М1	1,09					0,75		
	М2	1,31					1,00		
	М3	1,06					0,72		
ЩС2	**Н4**	1,71	2,78	3,92			1,60	2,56	
	Н5	1,57					1,35		
	Н6	1,42					1,13		
	Н7	1,71					1,60		
	Н8	1,57					1,35		
	Н9	1,42					1,13		
	М4	1,13					0,72		
	М5	0,97					0,58		
	М6	0,89					0,51		
	М7	1,13					0,72		
	М8	0,97					0,58		
	М9	0,89					0,51		
ЩС3	**Н10**	1,20	2,45	3,36			0,75	2,05	
	Н11	1,40					0,97		
	Н12	1,18					0,76		
	Н13	1,06					0,64		
	Н14	0,96					0,56		
	Н15	0,88					0,49		
	М10	0,76					0,40		
	М11	0,92					0,51		
	М12	0,91					0,51		
	М13	0,77					0,41		
ЩС4	**Н16**	1,07	1,95	2,48			0,56	1,40	
	Н17	1,22					0,67		
	Н18	1,05					0,56		
	Н19	0,95					0,50		
	Н20	0,87					0,44		
	Н21	0,81					0,40		
	М14	0,70					0,34		
	М15	0,83					0,42		
	М16	0,83					0,42		
	М17	0,71					0,35		

Вибір автоматичних вимикачів

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:

$$U_{ном.е.а} \geq U_{ном.м}, \quad (6.1)$$

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

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{ном.е.а} \geq I_{ф} \quad (6.2)$$

де $I_{\text{ном.е.а}}$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, пожежонебезпечне, 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 $\text{ЕА}_{\text{Д}}$

$$i_{дин} \geq i_{у} \quad (6.3)$$

де $i_{у}$ - розрахунковий ударний струм;

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

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_K^2 \cdot t \quad (6.4)$$

де $I_к$і t - розрахункові параметри струму КЗ і дійсного часу вимикання КЗ відповідно.

Таким чином, номінальна напруга цих автоматів вибирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}, \quad (6.5)$$

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

$$I_{ном.а} \geq I_{ф}, \quad (6.6)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{ф} \quad (6.7)$$

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 форсованого режиму визначається за формулою:

$$I_{ф} = K_{рез} \cdot I_{р}, \quad (6.8)$$

де $К_{рез}$ - 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:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_{р}, \quad (6.9)$$

де К - коефіцієнт, який приймається 1,1 для автомата вводу QF і для автомата QF1, 1,25 - для автоматів QF2-QF7 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 $I_{ном.ЕП}$ 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:

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

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:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq I_{р.о}. \quad (6.11)$$

Для ЛЛ низького тиску пускові струми не враховуються, бо їх тривалість становить 6-8 с, і за цей час 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:

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

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

У формулі (6.12) більші кратності приймаються для трансформаторів з малою номінальною потужністю ($S_{Н0М.Т} \leq 400$ 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 $I_{пік}$ і $I_{пуск}$ - 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:

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

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

Як комутаційний апарат автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{ном.в.а} \geq I_{п.о} = I_к^{(3)}, \tag{6.16}$$

де $I_{ном.в.а}$- 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 $R_К$.

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

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

та при струмі до 100 А включно:

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

— для розчеплювача уповільненої дії:

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

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].

Вибір автомата живильної мережі

Вибір автомата вводу QF-2T: $S_{ном.Т} = 400кВА$. Вибираємо автомат FMC7E 3P 1000A струмообмежувальний з електронним розчеплювачем.

За формулою (6.5) номінальна напруга автомата вибирається як:

$$690 \geq 380В.$$

За формулою (4.15) визначимо номінальний вторинний струм трансформатора:

$$I_{ном.Т2} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 0{,}38} = 607{,}74А.$$

Для двохтрансформаторної ПС з резервуванням на стороні НН і за відсутності даних систематичного перевантаження коефіцієнт резервування приймається $К_{рез}$ = 1,4, тому форсований струм трансформатора за формулою (6.8) дорівнює:

$$I_ф = 1{,}4 \cdot 607{,}74 = 850{,}84\ А.$$

Тоді за формулою (6.6) номінальний струм автомата FMC7E 3P 1000A:

$$I_{ном.а} = 1000 > I_ф = 850{,}84\ А.$$

Для автомату FMC7E 3P 1000A номінальний струм теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ 1000 А. Тоді за формулою (6.7) номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{ном.т.р} = 1000 \geq I_ф = 850{,}84\ А.$$

Для автомату FMC7E 3P 1000A 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 в діапазоні 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 0.9, 0.95, 0.98, 1. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = 0{,}95 \cdot I_{ном.т.р} = 0{,}95 \cdot 1000 = 950\,A.$$

За формулою (6.9)

$$I_{у.т.р} = 950A > 1{,}1 \cdot 850{,}84 = 935{,}9\,A.$$

Для автомату FMC7E 3P 1000A відношення струму спрацьовування відсічки $I_{с.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму $I_{ном}$ ($I_{у.т.р}$ / $I_{ном}$) становить в діапазоні 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача)

$$I_{с.е} = I_{у.е.р} = 6 \cdot I_{ном.т.р} = 6 \cdot 1000 = 6000\,A.$$

За формулою (6.12)

$$I_{с.е} = 6000\,A > 6 \cdot 850{,}84 = 5105\,A.$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу береться струм трифазного КЗ у точці К1 (без урахування $R_к$) з таблиці 5.1 $I_{К1(0)}$ = 11,39 кА. Для автомату FMC7E 3P 1000A гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а}$= 1000А становить $I_{ном.в.а}$=80 кА. За формулою (6.16)

$$80\,кА > 11{,}39кА.$$

Остаточно вибирається автомат FMC7E 3P 1000A з такими параметрами:

$U_{ном.а}$= 690В; $I_{ном.а}$= 1000А; $I_{ном.т.р}$= 1000А; $I_{у.т.р}$= 950А; $I_{у.е.}$= 6000 А;

$I_{ном.в.а}$= 80кА.

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

Таблиця 6.1 - Каталожні та розрахункові дані автомата вводу QF-2T

Умови вибору	Каталожні дані автомата FMC7E 3P 1000A	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 690\text{В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380\text{В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ном.а}} = 1000\text{А}$	$I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} \cdot I_{\text{ном.т}} = = 607{,}74 \cdot 1{,}4 = 850{,}84\ \text{А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.}p} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ном.}p} = 1000\text{А}$	$I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} \cdot I_{\text{ном.т}} = = 607{,}74 \cdot 1{,}4 = 850{,}84\ \text{А}$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.}p}$	$I_{\text{ном.а}} = 1000\text{А}$	$I_{\text{ном.}p} = 1000\text{А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1{,}1I_{\text{ф}}$	$I_{\text{у.т.р}} = 0{,}95 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = = 0{,}95 \cdot 1000 = 950\text{А}$	$1{,}1I_{\text{ф}} = 1{,}1 \cdot 850{,}84 = = 935{,}9\ \text{А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{\text{с.в}} \geq (6-10)I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{с.е}} = I_{\text{у.е.р}} = 6 \cdot I_{\text{ном.т.р}} = = 6 \cdot 1000 = 6000\text{А}$	$I_{\text{с.е}} = 6I_{\text{ном.т}} = = 6 \cdot 850{,}84 = 5105\text{А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq \text{I}_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 80\text{кВ}$	$\text{I}_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)} = 11{,}39\text{кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(3)} \geq 1{,}25\text{I}_{\text{с.в}}$	$1{,}25\ \text{I}_{\text{с.в}} = = 1{,}25 \cdot 6 = 7{,}5\ \text{к}A$	$I_{\text{к}}^{(3)}$=11,39 кА

Вибір автоматів розподільчої мережі

Аналогічно проводимо розрахунок для вибору лінійних автоматів і автоматів для ЕП. Результати записуємо до таблиць 6.2 та 6.3 відповідно.

Номінальні параметри автоматичних вимикачів, що встановлюються в низьковольтному комплектному пристрої - вибираються аналогічні, але на один стандартний ступінь номінального струму вище – для забезпечення

селективності захисту. Параметри цих вимикачів приведені на схемі в додатку Г.

Таблиця 6.2 - Результати вибору ввідних автоматів в ЩС та ШО

Лінія живлення	Тип автомата	Uном, В	Іном, А	Іном.т.р, А	Іу.т.р, А	Іу.в.р, А	Іном.в.а, кА
ШО	FMC2S 3P	690	100	100	100	800	3,5
ЩС1	FMC4Si 3P	690	350	350	280	2240	4,5
ЩС2	FMC5Si 3P	690	400	400	360	2880	5,5
ЩС3	FMC4Si 3P	690	225	225	180	1440	6,5
ЩС4	FMC4Si 3P	690	225	225	180	1800	7,5

Таблиця 6.3 - Результати вибору автоматів до ЕП

Лінія живлення	Тип автомата	Uном, В	Іном, А	Іном.т.р, А	Іу.т.р, А	Іу.в.р, А	Іном.в.а, кА
Н1	FB3-125 3P	400	100	100	100	500	15
Н2	FB3-125 3P	400	100	100	100	500	15
Н3	FB3-125 3P	400	100	100	100	500	15
Н4	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н5	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н6	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н7	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н8	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н9	FB1-125 3P	400	50	50	50	250	10
Н10	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	10
Н11	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	10
Н12	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н13	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н14	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н15	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н16	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	10
Н17	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	10
Н18	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н19	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н20	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
Н21	FB1-125 3P	400	16	16	16	80	10
М1	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	10
М2	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	11
М3	FB1-125 3P	400	40	40	40	200	12
М4	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М5	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М6	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М7	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М8	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М9	FB1-125 3P	400	32	32	32	160	10
М10	FB1-125 3P	400	25	25	25	125	10
М11	FB1-125 3P	400	25	25	25	125	10
М12	FB1-125 3P	400	10	10	10	50	10
М13	FB1-125 3P	400	10	10	10	50	10
М14	FB1-125 3P	400	25	25	25	125	10
М15	FB1-125 3P	400	25	25	50	250	10
М16	FB1-125 3P	400	10	10	30	150	10
М17	FB1-125 3P	400	10	10	40	200	10

Охорона праці

Контроль за дотримання вимог правил техніки безпеки і охорони праці на підприємстві здійснюється відділом механізації, енергозбереження та охорони праці.

Відділ механізації, енергозбереження та охорони праці або інші з аналогічними функціями зазвичай є структурним підрозділом підприємства, до якого належить об’єкт.

Основними завданнями і обов’язками відділу є: технічна організація роботи по оперативному керівництву та координації діяльності служб головних механіків, головних енергетиків та спеціалістів з охорони праці і техніки безпеки міжрайонних управлінь водного господарства по забезпеченню довготривалої, надійної та безпечної експлуатації машин, механізмів, транспортних засобів, засобів малої механізації, енергетичного та насосно-силового обладнання, а також безпосередня робота по забезпеченню експлуатації енергетичного господарства.

Відділ проводить оперативно-методичне керівництво роботою з розробки організаційно-технічних заходів щодо підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, запобігання аварій, створення безпечних і сприятливих умов праці під час їх експлуатації, організовує статистичний облік по всім виробничим і техніко-економічним показникам роботи машин, механізмів, автотранспорту, насосно-енергетичного обладнання, проводить аналіз їх використання та облік нещасних випадків і причин виробничого травматизму.

Технічна експлуатація насосних станцій систем водопостачання та водовідведення повинна забезпечувати безперебійну і надійну роботу всіх

агрегатів при високих техніко-економічних показниках з урахуванням раціонального використання енергетичних ресурсів.

Для забезпечення безперебійної і економічної роботи насосних станцій необхідно наступне:

- наявність висококваліфікованого технічного персоналу, дотримує вимоги посадових інструкцій та підвищує свою кваліфікацію у світлі сучасного розвитку техніки і досягнень науки;
- облік, контроль і аналіз складних умов роботи;
- організація оптимальних режимів, що забезпечують інтенсифікацію роботи насосних агрегатів, впровадження прогресивних методів управління та регулювання на основі сучасних досягнень науки і техніки;
- максимальна автоматизація виробничих процесів, виключення втрат води і непродуктивних витрат електроенергії і мастильних матеріалів;
- організація своєчасного і високоякісного профілактичного огляду, планово-запобіжного і капітального ремонтів;
- систематична реєстрація та вивчення причин порушень у роботі і аварій, що виникають у насосних агрегатах.

Для забезпечення якісної, безперебійної і економічної роботи насосних станцій адміністрація повинна сприяти підвищенню технічних знань експлуатаційного персоналу шляхом організації лекцій про сучасних досягненнях науки і техніки, обміну передовим досвідом громадського розбору раціоналізаторських пропозицій, проводити заняття з виявлення, локалізації і ліквідації найбільш характерних аварій. Для нормальної експлуатації та оперативно-технічного управління роботою насосних станцій необхідно забезпечити постійне зберігання в комплектному вигляді технічної, експлуатаційної і виконавчої документації, а також матеріалів інвентаризації та паспортизації.

Працівники, що перебувають на об’єкті мають дотримуватися прийнятих і затверджених в установленому порядку Правил.

Враховуючи, що характер виробництва на станції приготування технологічних розчинів передбачає роботу з резервуарами, основні питання, що висвітлюються в Правилах, містять наступні положення:

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. До самостійної роботи з очищення та обробки технологічних ємностей допускаються особи не молодші 20 років, які пройшли медичний огляд, отримали вступний інструктаж з охорони праці та первинний інструктаж на робочому місці.

Надалі обробник проходить щорічне навчання з охорони праці за типовою програмою з перевіркою знань. Особи, які не пройшли перевірку знань, до самостійної роботи не допускаються.

Повторний інструктаж з охорони праці проводиться один раз на півріччя, а при порушенні чинними правил та інструкцій з охорони праці проводиться позаплановий інструктаж.

До роботи всередині ємностей з-під вибухопожежонебезпечних речовин допускаються особи тільки чоловічої статі не молодше 20 років, фізично здорові, медогляд, що пройшли, проінструктовані за нарядом-допуском і навчені.

1.2. Дотримуйтесь правил внутрішнього трудового розпорядку. Поява на роботі у нетверезому стані чи під впливом наркотичних засобів є порушенням виробничої дисципліни.

1.3. При миття та дезінфекції ємностей, на працюючого можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1.3.1. Фізичні фактори:

- рухомі машини та механізми;
- рухомі частини обладнання (мішалки);
- підвищена температура поверхні устаткування, трубопроводів;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищена рухливість повітря;
- підвищена вологість повітря.

1.3.2. Хімічні фактори:

- загальнотоксичні, що діють через дихальні шляхи: пари спиртів, ефірів, настоїв;

- дратівливі, що діють через дихальні шляхи та шкірний покрив: хлорне вапно, каустична сода, кальцинована сода;
- підвищений вміст пари спирту (вибухонебезпечність).

1.4. Користуйтеся передбаченим за нормами спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту:

- халат х/б жіночий (чоловічий) або комбінезон х/б жіночий (чоловічий);
- фартух, прогумований з цільнокроєним нагрудником;
- ковпак бавовняний або косинка головна бавовняна;
- чоботи гумові (чергові);
- рукавички гумові;
- рукавиці бавовняні з лляними накладками;
- при роботі всередині ємностей:
- протигаз шланговий ПШ-2;
- пояс рятувальний.

Утримуйте спецодяг та інші засоби індивідуального захисту у справному стані. Забороняється працювати без засобів захисту та спецодягу.

1.5. Забороняється сушити на паропроводах та опалювальних приладах спецодяг, взуття, ганчірки та інші матеріали, що згоряються.

1.6. Не працюйте в синтетичному одязі, оскільки він може спричинити утворення небезпечного заряду статичної електрики.

1.7. Під час роботи всередині ємностей користуйтеся переносними світильниками напругою 12В у вибухобезпечному виконанні. Переносні світильники повинні підключатися поза оброблюваної ємності.

1.8. Використовуйте інструмент і інструмент, що не дають іскроутворення при ударі.

1.9. При травмуванні на виробництві, поганому самопочутті (появі нудоти, запаморочення) негайно повідомте про відповідальний за проведення робіт і зверніться до медпункту.

1.10.Не захаращуйте робоче місце, проходи та не використовуйте запасні евакуаційні виходи для складування в них матеріалів та сторонніх предметів.

1.11. Щоб уникнути ураження електричним струмом:

- не наближайтесь на відстань ближче 10 м до обірваних дротів, що лежать на землі (вологій підлозі);
- не торкайтеся відкритих струмопровідних частин обладнання, оголених проводів;

- не виконуйте самовільних виправлень або підключень електропроводів, виделок, розеток та обладнання. Не заміняйте самі електролампи та запобіжники. Для виконання цієї роботи викликайте чергового електромонтера;
- негайно доповідайте начальнику цеху (зміни) про всі виявлені оголені проводи, відкриті шафи (електрощити), обірвані та від'єднані заземлюючі проводи.

1.12. У разі травмування на виробництві або раптовому захворюванні негайно повідомте про це начальника цеху (майстра) та зверніться до медпункту.

1.13. Вмійте надавати першу допомогу при:

- кровотечі та переломи;
- опіках;
- ураження електричним струмом;
- отруєння.

1.14. Якщо стався нещасний випадок із товаришем, надайте йому долікарську допомогу і повідомте про це начальнику цеху (майстру), збережіть обстановку події за умови, що це не створює небезпеки для оточуючих.

1.15. Виконуйте такі правила особистої гігієни:

- залишайте в вбиральні верхній одяг та особисті речі;
- приймайте їжу, і куріть лише у спеціально відведених при цьому місцях;
- після відвідин туалету вимийте руки водою з милом;
- при вході до приміщення ретельно очищайте взуття. Використовуйте аптечку з набором медикаментів для надання долікарської допомоги.

1.16. Під час руху по території заводу будьте уважні та дотримуйтесь обережності у місцях проїзду автотранспорту, виробництва вантажно-розвантажувальних та ремонтно-будівельних робіт, при проходженні слизьких ділянок під час ожеледиці місць, де нависають крижані напливи (бурульки), снігові замети.

1.17. За невиконання вимог, зазначених у цій інструкції Ви несете відповідальність у порядку, встановленому правилами внутрішнього трудового розпорядку заводу та, в окремих випадках, Кримінальним кодексом.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Для роботи всередині ємностей отримайте письмовий дозвіл наряд-допуск начальника цеху на право проведення робіт підвищеної небезпеки.

Отримайте інструктаж з безпечного проведення робіт та розпишіться у наряді-допуску.

2.2. Надягніть справний і чистий спецодяг. Застебніть обшлага рукавів, заберіть волосся під головний убір. Забороняється застібати спецодяг шпильками та голками.

2.3. Переконайтеся, що робоче місце не захаращене сторонніми предметами, що умови, в яких Вам доведеться працювати, не є небезпечними для Вас. Ємність підготовлена до обробки: звільнена від продукту, відключена від діючої апаратури та систем трубопроводів шляхом закриття вентилів, засувок та кранів та встановлення заглушок на трубопроводах, а також промита, пропарена гострим паром, провентильована з метою повного видалення парів спирту та за даними лабораторного аналізу середовища пари спирту відсутні.

2.4. За наявності в ємності мішалок їх слід відключити від електродвигуна, останній знеструмити та роз'єднати муфти зчеплення або зняти приводні ремені.

Вимагайте від електрика вивісити попереджувальний плакат біля пускача двигуна мішалки "НЕ ВКЛЮЧАТИ! ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ!"

2.5. Перевірте справність та наявність:

- засобів пожежогасіння;
- переносного електросвітильника;
- інструмента, необхідного при роботі (щіток з довгими ручками, гумового шлангу з наконечником з міді або алюмінію, ганчірок, відер пластмасових, щоб уникнути іскроутворення);
- запірної арматури та встановлених заглушок на резервуарах та підвідних трубопроводах;
- переносні дерев'яні сходи з гумовими підп'ятниками гачами нагорі,
- огороджень майданчиків та резервуарів;
- надійність контактів заземлення ємностей та електродвигунів;
- вентиляції.

2.6. Приготуйте миючі розчини змінну потребу.

2.7. Про свої зауваження, несправність або відсутність засобів захисту та інвентарю треба негайно доповісти майстру або особі, яка відповідає за проведення робіт. Починайте роботу після усунення несправностей, що перешкоджають безпечному виконанню робіт.

3. Вимоги безпеки під час роботи.

3.1. Виконуйте тільки доручену Вам роботу, за якою проінструктовані та яка вказана у наряді-допуску.

3.2. Будьте уважні, не відволікайтеся самі та не відволікайте інших від роботи.

3.3. Працюйте бригадою щонайменше 2-3 людина.

3.4. Встановіть черговість роботи всередині ємності зі своїм партнером.

3.5. Перед спуском в ємність надягніть шланговий протигаз із добре підігнаною маскою, рятувальний пояс. Працювати у шланговому протигазі в ємності понад 15 хв. не дозволяється.

3.6. Спускайтеся в ємність у присутності спеціаліста, відповідального за виконання роботи та спостерігача (дублера). Всередині ємності працюйте лише у засобах індивідуального захисту.

3.7. Для спуску в ємність та підйому з неї користуйтеся приставними сходами, які відповідають вимогам безпеки для робіт у вибухопожежонебезпечних виробництвах.

3.8. Використовуйте лише справний інструмент та інструмент.

3.9. Під час миття не ставайте на борт обладнання.

3.10. Концентрації дезинфікуючих та миючих розчинів готуйте у суворій відповідності до встановленої рецептури, користуючись засобами індивідуального захисту.

3.11. Миття та чищення внутрішніх частин ємностей виконуйте відповідно до вимог технологічної інструкції.

3.12. Своєчасно усувайте з підлоги патьоки, протоки миючих засобів.

4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1. При виявленні несправностей (прокол шланга, зупинка повітродувки, обрив рятувальної мотузки), за сигналом працюючого в ємності, зупиніть роботу, і вживіть заходів до підйому робітника з ємності. Доповісти начальнику цеху (зміни).

При втраті свідомості працюючого в ємності терміново вживіть заходів щодо порятунку потерпілого шляхом вилучення його з ємності за допомогою рятувальної мотузки. При необхідності опуститися в ємність дублеру, терміново викличте допомогу і тільки після прибуття допомоги опускайтеся в ємність, одягнувши шланговий протигаз.

4. 2. У разі пожежі знеструмте обладнання, повідомте до пожежної частини та начальника цеху (майстра). Вживіть заходів щодо ліквідації кухаря.

У разі подальшого розповсюдження вогню, що загрожує Вашому життю та життю обслуговуючого персоналу, евакуюйтеся самі та допоможіть іншим робітникам відповідно до плану евакуації цеху.

4.3. У разі раптового відключення електроенергії або відчуття дії струму на устаткуванні вимкніть автомат, доповісти начальнику цеху (майстру). Роботу продовжуйте лише після усунення несправностей, що перешкоджають безпечному веденню робіт.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.1. Вимкніть переносний електросвітильник та приберіть його на місце постійного зберігання.

5.2. Наведіть робоче місце в порядок. Перевірте, чи не залишилися інструменти матеріали у ємності.

5.3. Очистіть спецодяг, взуття, засоби захисту від забруднень. Спецодяг, спецвзуття та засоби індивідуального захисту заберіть на місце постійного зберігання. Протигаз, рятувальний пояс здайте майстру.

5.4. Своєчасно повідомляйте начальника цеху (майстра) про всі помічені неполадки в роботі обладнання, приладів і вжиті заходи.

5.5. Вимийте обличчя та руки теплою водою з милом або прийміть душ.

Також слід брати до уваги інші діючі нормативні документи у сфері охорони праці та технічної безпеки на промислових підприємствах.

Розрахунок заземлюючого контуру

станції приготування технологічних розчинів

Заземленням називають навмисне з'єднання металевих частин електроустановки з заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій (ЗП) – це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

Необхідно розрахувати заземлювальний пристрій будівлі з прибудованою трансформаторною підстанцією. Споживачі цеху отримують живлення від трансформатора 10/0,4 кВ з заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ. Природних заземлювачів немає.

Вихідні дані:

Розміри будівлі – $A \times B = 48 \times 28$м^2; ґрунт в місці будівлі переважно глина, природний пласт товщиною 10-15м; кліматична зона – III;

Вертикальний електрод – кругла сталь ∅16 мм, довжина – $L_B = 3\,м$; глибина закладання $t = 0{,}7\,м$; Вид ЗП – контурне;

Горизонтальний електрод – смуга (40×4 мм^2).

Опір заземлюючого пристрою, до якого приєднані нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазного струму, у будь-який час року не повинне перевищувати 2, 4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN (PE) – провідника, якщо кількість відвідних ліній не менше двох.

Для питомого опору землі $\rho > 100$ Ом·м допускається збільшувати значення опору заземлення в $0{,}01 \cdot \rho$ раз, але не більш ніж в 10 разів, за винятком опору заземлюючих пристроїв і заземлювачів, що використовуються одночасно для електроустановок напругою вище 1 кВ.

Опір заземлювального пристрою нейтралі трансформатора 0,4 кВ згідно ПУЕ [1] повинен бути не більше $R_{3У} \leq 4$ Ом.

Приймемо опір заземлювального пристрою на рівні $R_{3У} = 4$Ом.

Розрахунковий опір одного вертикального електрода визначається за виразом:

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l}\left(ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}ln\frac{2p+\frac{l}{2}}{2p-\frac{l}{2}}\right),$$

де r_B– розрахунковий опір одного вертикального електрода;

$K_{СЕЗ.В}$ – коефіцієнт сезонності;

$\rho_{розр} = \rho \cdot K_{СЕЗ.В}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту;

ρ – питомий опір ґрунту, виміряний при нормальній вологості, Ом·м, приймається по табл. 6.2.

$K_{СЕЗ.В} = 1{,}5$ (III кліматичний район) – значення взяте з табл. 6.1;

$K_{СЕЗ.Г} = 2{,}3$ значення взяте з табл. 6.1;

$p = t + \frac{l}{2}$.

Для визначення питомого опору землі за розрахункове варто приймати його сезонне значення, що відповідає найменш сприятливим умовам.

Таблиця 7.1 – Коефіцієнти сезонності

Кліматична зона	Вид заземлювача		Додаткові відомості
	вертикальний	горизонтальний	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глибина закладення вертикальних заземлювачів від поверхні землі 0,5...0,7м
II	1,7	4,0	Глибина закладення горизонтальних заземлювачів 0,3...0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примітка. Зона I має найбільш холодний, IV – теплий клімат;

Таблиця 7.2 – Питомий опір ґрунту ρ

Ґрунт	Торф	Глина, земля садова	Чорнозем	Суглинок	Кам'янистий ґрунт	Супісок	Пісок з галькою
ρ, Ом·м	20	40	50	100	200	300	800

Таким чином приймаємо $\rho = 200$ Ом·м.

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l}\left(ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}ln\frac{2p+\frac{l}{2}}{2p-\frac{l}{2}}\right) = \frac{40\cdot1{,}5}{2\cdot3{,}14\cdot3}\left(ln\frac{2\cdot3}{16\cdot10^{-3}} + \frac{1}{2}ln\frac{2\left(0{,}7+\frac{3}{2}\right)+\frac{3}{2}}{2\left(0{,}7+\frac{3}{2}\right)-\frac{3}{2}}\right) \approx 20\ Ом.$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове):

$$N_{B.P}^{'} = \frac{r_B}{R_{ЗУ}};$$

де $N_{B.P}^{'}$ – кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове округлюємо до найбільшого кратного 2);

$R_{ЗУ}$ – граничний опір сполученого ЗП.

$$N_{B.P}^{'} = \frac{r_B}{R_{ЗУ}} = \frac{20}{4} = 5 \text{ шт.}$$

Кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування:

$$N_{B.P} = \frac{N_{B.P}^{'}}{\eta_B}$$

де $N_{B.P}$ – кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування;

η_B, $\eta_Г$ – коефіцієнти використання вертикального й горизонтального електродів, визначаються за табл. 10.3:

$$\eta = f(типЗП,\ видзаземлювача,\ \frac{a}{L},\ N_B),$$

де a – відстань між вертикальними заземлювачами, м;

L – довжина вертикального заземлювача, м;

N_B – число вертикальних заземлювачів.

Таблиця 7.3 – Коефіцієнти використання вертикальних η_B і горизонтальних $\eta_Г$ електродів заземлювального пристрою

N_B	$\frac{a}{L}$						Додаткові відомості
	1		2		3		
	η_B	$\eta_Г$	η_B	$\eta_Г$	η_B	$\eta_Г$	
4	0,69 0,74	0,45 0,77	0,78 0,83	0,55 0,89	0,85 0,88	0,70 0,92	*Чисельник* для контурного ЗП, *Знаменник* — для рядного
6	0,62 0,63	0,40 0,71	0,73 0,77	0,48 0,83	0,80 0,83	0,64 0,88	
10	0,55 0,59	0,34 0,62	0,69 0,75	0,40 0,75	0,76 0,81	0,56 0,82	
20	0,47 0,49	0,27 0,42	0,64 0,68	0,32 0,56	0,71 0,77	0,45 0,68	
30	0,43 0,43	0,24 0,31	0,60 0,65	0,30 0,46	0,68 0,75	0,41 0,58	

Проектований контурний ЗП закладається по периметру навколо будівлі на відстані не менше 2 м до будівлі.

З урахуванням форми будівлі, проектована довжина закладання дорівнює:

$$L_n = 168 \text{ м.}$$

Визначаємо відстань між вертикальними електродами

$$a = \frac{L_n}{N'_{B.P}} = \frac{15}{5} = 3м;$$

$$\frac{a}{L_B} = \frac{3}{3} = 1.$$

Таким чином

$$\eta = f(рядний, вертикальний,\ 1,\ 5) = 0{,}685.$$

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} = \frac{5}{0{,}685} = 7{,}3 \approx 8\text{шт.}$$

Відстань між електродами уточнюється з урахуванням форми об'єкта. По кутах установлюють по одному вертикальному електроду, а ті що залишилися – між ними. Розміщуємо елементи ЗП на плані та уточнюємо відстані.

Для рівномірного розподілу електродів на відстані 3м один від одного, а також з урахуванням конфігурації розташування остаточно приймаємо $N_B = 8$ (рис. 6.1).

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1};$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1};$$

де a_B – відстань між електродами по ширині об'єкта, м;

a_A – відстань між електродами по довжині об'єкта, м;

n_B – кількість електродів по ширині об'єкта;

n_A – кількість електродів по довжині об'єкта.

В нашому випадку :

$$a_A = 3 \text{ м},$$
$$a_B = 3 \text{ м}.$$

Для уточнення приймається середнє значення відношення

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{ср} = \frac{1}{2}\left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right)$$

де L_B – довжина вертикального заземлювача, м;

a – відстань між вертикальними заземлювачами, м.

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{ср} = \frac{1}{2}\left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{3+3}{3}\right) = 1.$$

За табл. 6.3 уточнюються коефіцієнти використання за допомогою апроксимації.

$$\eta_B = f(\textit{рядний};\ \textit{вертикальний};\ 1;\ 8) = 0{,}61$$

$$\eta_Г = f(\textit{рядний};\ \textit{горизонтальний};\ 1;\ 8) = 0{,}665$$

Визначаються уточнені значення опорів вертикальних і горизонтальних електродів.

$$R_Г = \frac{0{,}4}{L_П \eta_Г} \rho K_{СЕЗ.Г} lg \frac{2L_П^2}{bt}$$

де $R_Г$ – уточнене значення опору горизонтальних електродів,

$t = 0{,}7$ – глибина закладання, (м)

b – ширина смуги, (м)

$L_П$ – довжина смуги, (м)

$$R_Г = \frac{0{,}4}{L_П \eta_Г} \rho K_{СЕЗ.Г} lg \frac{2L_П^2}{bt} = \frac{0{,}4}{21 \cdot 0{,}665} \cdot 40 \cdot 2{,}3 \cdot lg \frac{2 \cdot (21)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}7} = 11{,}85 \text{Ом}.$$

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B}$$

де R_B – уточнене значення опору вертикальних електродів

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} = \frac{20}{8 \cdot 0{,}61} = 4{,}098 \text{Ом}.$$

Визначаємо $R_{ЗУ.Ф}$ фактичний опір ЗП

$$R_{ЗУ.Ф} = \frac{R_B R_Г}{R_B + R_Г} = \frac{4{,}098 \cdot 11{,}85}{4{,}098 + 11{,}85} = 3{,}045 \text{ Ом};$$

$$(3{,}045) R_{ЗУ.Ф} < R_{ЗУ}(4)$$

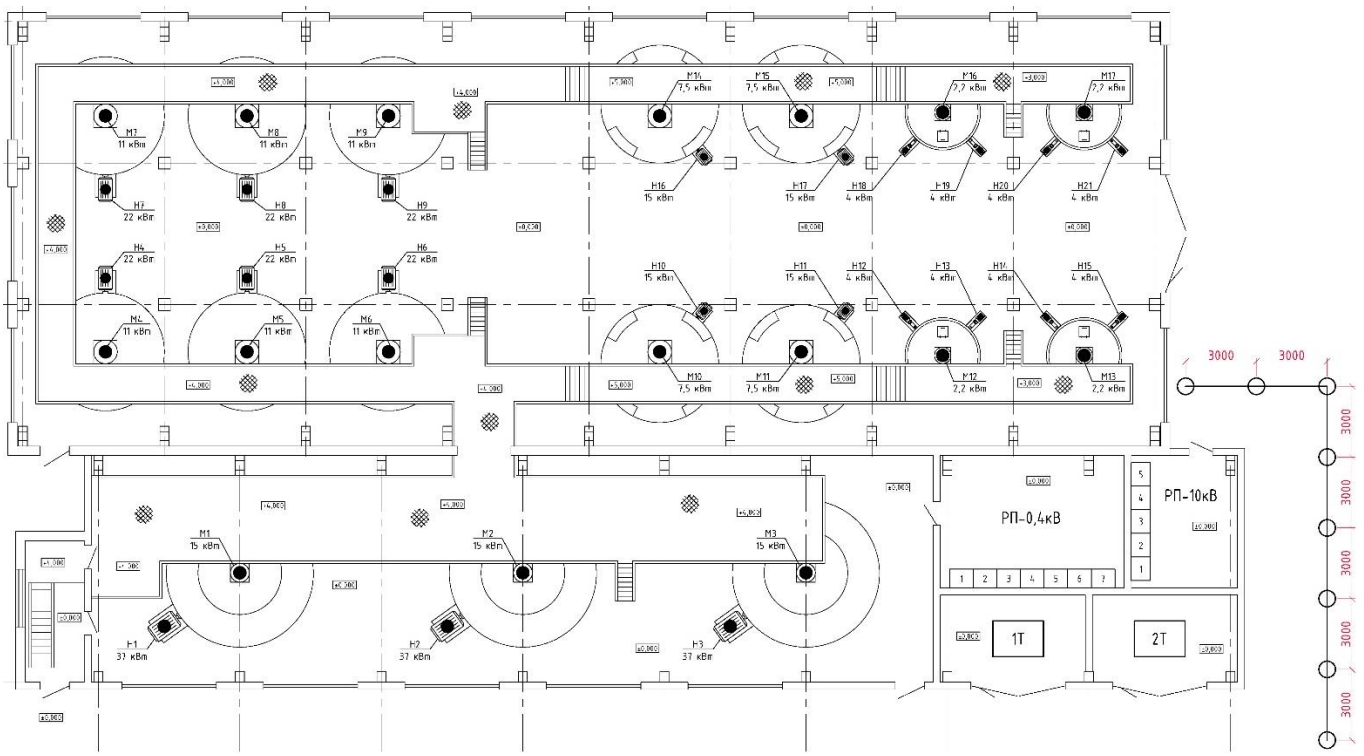
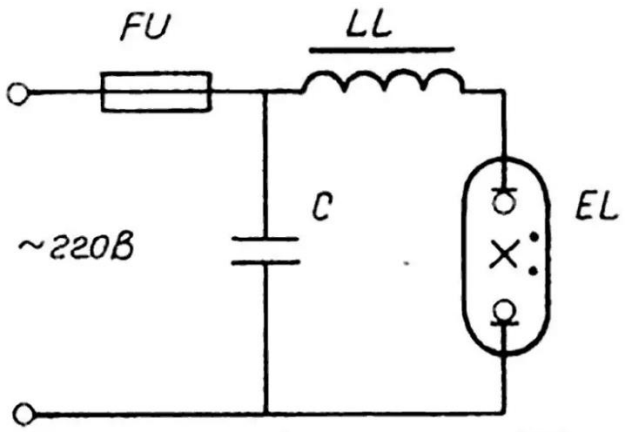


Рисунок 7.1 – План заземлювального контуру

Заземлюючий пристрій: 8 вертикальних заземлювачів ⌀16, довжиною 3 м, відстань між якими– 3 м. Опір становить 3,045 Ом.

Економічна частина

При проведенні проектних робіт, зокрема, при проектуванні робочого освітлення приміщень та майданчиків станції приготування технологічних розчинів було прийнято в розрахунках використання світильників з лампами ДРЛ загальною потужністю 25,5кВт.



Принципова схема підключення лампи ДРЛ

При потужності однієї лампи 400Вт кількість необхідних ламп на проектовану площу

$$N_{\text{ДРЛ}} = \frac{25500}{400} = 63{,}75 \approx 64$$ лампи по 400Вт.

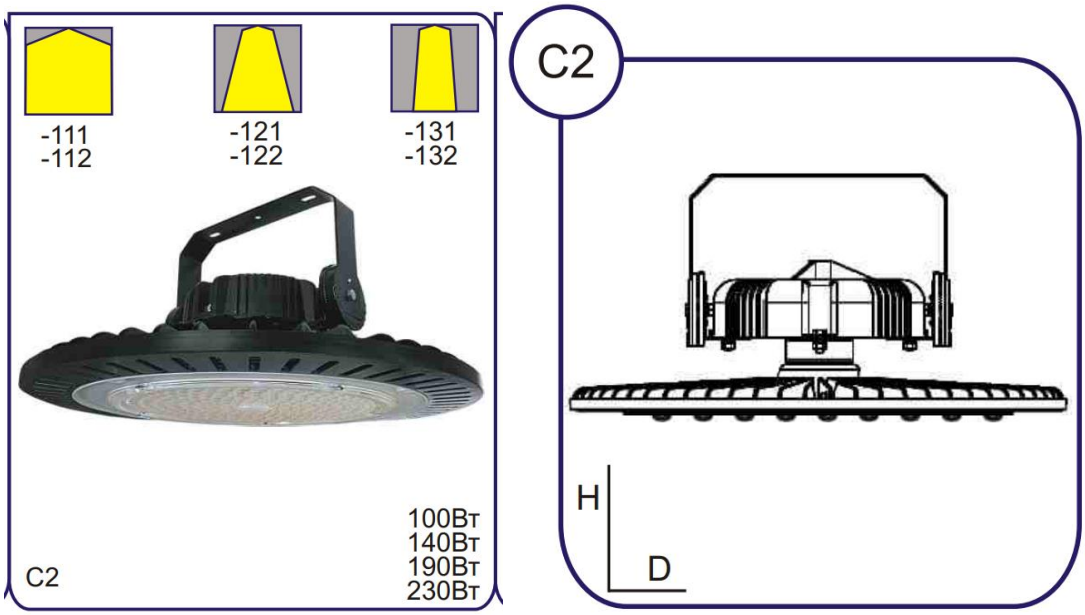
Вартість на ринку такої лампи 400 грн/шт

Технічні характеристики

Тип цоколя: Е40; напруга на лампі: 135 В; напруга на ПРА: 220 В; сила струму: 3,25 А; світловий потік: 24 000 лм; середній термін служби: 8000 год.

З урахуванням досягнень науково-технічного прогресу ринок на даному етапі розвитку світлотехнічних технологій надає альтернативи ртутним газорозрядним лампам ДРЛ використання у якості джерел світла світлодіодних ламп. Світлодіодні джерела світла можливо використовувати для загального освітлення виробничих приміщень при забезпеченні конструкцією світильника необхідного ступеню захисту у відповідності до умов використання (місця встановлення).

Для розгляду заміни приймемо світильники ДСП37В-140-111 У1



Вартість на ринку такого світильника ≈12000 грн/шт

Технічні характеристики

Тип цоколя: монтаж за ліру до опорної поверхні; потужність 140 Вт; світловий потік: 21 000 лм; середній термін служби: 50000 год.

Вибір обумовлений з урахуванням наступних особливостей:

- можливість регулювання напряму освітлення;
- джерело світла – енергоекономні світлодіоди – клас енергоефективності «А++» - понад 50 тисяч годин безперервної роботи, стабільний світловий потік, миттєво запалюються / перезапалюються, стійкі до перепадів напруги і багаторазових

вмикань / вимикань, мають високу кольоропередачу, відсутній шкідливий ефект низькочастотних пульсацій, немає ультрафіолетового випромінювання, екологічно не шкідливі – не вимагають спеціальної утилізації (без вмісту ртуті);

- за запитом – корельовано колірна температура – 3000К або 5000К, в стандартному виконанні – «нейтральний білий» 4000К;
- електронні компоненти та світлодіоди виключно провідних світових виробників (Seoul Semiconductor);
- висока ступінь пилевологозахисту, пожежобезпечний, атмосферостійкий;
- плавне увімкнення, а також захист від перегріву і перегорання дозволяє продовжити термін служби світло діодів.;

Розрахунок економічного ефекту від використання світлодіодних джерел світла замість світильників із лампами ДРЛ.

Таблиця 8.1 – Технічні характеристики

Найменування	Тип джерела світла	
	ДРЛ-400	ДСП37В-140-111У1
Тип лампи	ДРЛ-400	Світлодіодна панель
Потужність, Вт	400 Вт Споживана потужність 450 Вт	140
Світловий потік $Ф_л$, лм	24000 Через рік 12000 середня 18000	21000
Термін служби, годин	8000	50000+

Кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення ($N_{світ}$), визначається по формулі:

$$N_{\text{світ}} = \frac{\text{E}_\text{Н} * S * k_S * z}{\Ф_Л * n * \eta}$$

де $\text{E}_н$ – норма освітлення. Приймаємо $\text{E}_н$ = 200 лк.;

S – площа приміщення, м^2; S = 2880 м^2.

$\text{k}_\text{з}$ – коефіцієнт запасу. Обираємо $\text{k}_\text{з}$ = 1,5;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості. Приймаємо z = 1,15;

$\Ф_л$ – світловий потік лампи, лм;

n – кількість ламп у світильнику, шт.;

η – коефіцієнт використання. Приймаємо η = 1.

$$N_{\text{лампДРЛ}} = \frac{\text{E}_\text{Н} * S * k_S * z}{\Ф_Л * n * \eta} = \frac{200 * 2880 * 1{,}5 * 1{,}15}{18000 * 1 * 1} = 55{,}2 \approx 56 \text{ шт}$$

$$N_{LED} = \frac{\text{E}_\text{Н} * S * k_S * z}{\Ф_Л * n * \eta} = \frac{200 * 2880 * 1{,}5 * 1{,}15}{21000 * 1 * 1} = 47{,}3 \approx 48 \text{ шт}$$

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

$$\text{Ц}_\text{св} = (\text{Ц}_\text{с} + \text{Ц}_\text{л} * n) * N,$$

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

$Ц_л$ – ціна однієї лампи, грн.;

N – кількість світильників, шт.

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

1. Ціна світильника під лампу ДРЛ-400 Е40 – 1550 грн.;
2. Ціна лампи ДРЛ-400 Е40 – 450 грн.
3. Ціна світильника ДСП37В-140-111 – 12000 грн.;

Розрахуємо вартість всіх світильників кожного виду:

$$Ц_{ДРЛ} = (1550 * 56) + (450 * 56) = 86800 + 25200 = 112000 \text{ грн},$$

$$Ц_{свLED} = 12000 * 48 = 576000 \text{ грн},$$

Вартість монтажу світильників такого типу майже не відрізняються, адже конструкція і тих передбачає кріплення за ліру до опорної конструкції – тож затрати на монтаж не враховуємо у розрахунку.

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

$$К = T * N_{світ} * Ф_{світ}$$

де Т – час роботи, годин, приймемо час 50000 годин;

$Р_{ламп}$ – потужність лампи, що споживається з мережі, кВт.

Розрахуємо спожиту електроенергію кожного виду світильників за час Т=50000 годин

$$К_{ДРЛ} = 50000 * 56 * 450 = 1{,}26 \cdot 10^6 \text{ кВт}$$

$$К_{LED} = 50000 * 48 * 140 = 0{,}336 \cdot 10^6 \text{ кВт}$$

Вартість електричної енергії, що споживається світильниками за час Т=50000 годин, визначається по формулі:

$$Ц_{ЕЕ} = К * Ц_{ел}$$

де $Ц_{ел}$ – ціна на електричну енергію для підприємств, при 2-му класі напруги складається з трьох складових – передача від ПРАТ «НЕК Укренерго» (0,52857 грн/кВт*год), розподіл в мережах ОСР (для АТ «Сумиобленерго» 2,24343 грн/кВт*год) та власне ціни самої електроенергії на ринку (на 30.09.2024 – 5,41899 грн/кВт*год). Таким чином повна ціна не електричну енергію:

$$Ц_{ЕЕ} = 0{,}52857 + 2{,}24343 + 5{,}41899 \approx 8{,}19 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо вартість спожитої електроенергії кожним з видів світильників за час Т=50000 годин

$$Ц_{ЕЕДРЛ} = 1{,}26 \cdot 10^6 * 8{,}19 = 10{,}32 \cdot 10^6 \text{ грн}$$

$$Ц_{ЕЕ\mathit{LED}} = 0{,}336 \cdot 10^6 * 8{,}19 = 2{,}752 \cdot 10^6 \text{ грн}$$

Враховуючи заявлений виробником світлодіодних світильників час роботи 50000 годин, оцінимо витрати по експлуатації світильників саме за такий проміжок час.

З урахуванням терміну служби ламп ДРЛ - 8000 год витрата ламп ДРЛ-400 складе 50000/8000=6,25 ≈ 7 штук за період 50000 годин, а у світильника ДСП37В-140-111 – 1 штука.

Економічні витрати по заміні ламп за час 50000 годин:

$$Ц_{замДРЛ} = 7 * 25200 = 176400 \text{ грн}$$

$$Ц_{зам\mathit{LED}} = 0 \text{ грн}$$

Визначимо повні витрати по впровадженню кожного з варіантів по формулі:

$$В_{пов} = Ц_{св} + Ц_{ЕЕ} + Ц_{зам}$$

$$В_{повДРЛ} = 112000 + 10320000 + 176400 = 10\,608\,400 \text{ грн}$$

$$В_{повLED} = 576000 + 2752000 + 0 = 3\ 328\ 000 \text{ грн}$$

Економія за період 50000 годин при використанні світлодіодних світильників ДСП37В-140-111 замість світильників з лампами ДРЛ, складає:

$$ЕК_{50000} = В_{повДРЛ} - В_{повLED} = 10608400 - 3328000 = 7\ 280\ 400 \text{ грн}$$

Таблиця 8.2 – Порівняння економічних показників джерел світла

	Світильник з лампою ДРЛ-400	Світильник ДСП37В-140-111
Кількість світильників, шт.	56	48
Вартість всіх світильників з лампами, грн.	112000	576000
Електрична енергія, що споживається за період 50000 годин, кВт	1260000	336000
Вартість електричної енергії за період 50000 годин, грн.	10320000	2752000
Витрати по експлуатації світильників за період 50000 годин, грн.	176400	0
Повні витрати за період 50000 годин, грн.	10608400	3328000
Економія за період 50000 годин, грн.	-	7280400
Економія у вираженні за рік, при 2500 робочих годин у році , грн.	-	364020

Таким чином, ми бачимо, що повні витрати по першому варіанту, тобто освітлення приміщення та майданчиків станції приготування технологічних розчинів за допомогою світильників з лампами ДРЛ-400 більші, в порівнянні з другим варіантом (тобто, освітлення за допомогою світлодіодних світильників типу ДСП37В-140-111У1 на 364020 грн/рік.

Додатково слід звернути увагу, що в даному розрахунку не враховані витрати на утилізацію ртутних ламп, заміну пускових дроселів для них, що суттєво збільшить суму експлуатаційних витрат на світильники з лампами ДРЛ.

Також важливим фактором на користь світлодіодного освітлення є можливість використання кабельних виробів з меншими перетинами струмопровідних жил, що суттєво впливає на собівартість будівництва.

Враховуючи також наведені на початку економічної частини переваги світлодіодного світильника над світильником з лампами ДРЛ-400, а також той факт, що світильник ДСП37В-140-111У1 має майже більший середній світловий потік (21000лм проти 18000лм) і виготовляється вітчизняною корпорацією «ВАТРА» м. Тернопіль можна остаточно підтвердити використання промислових світлодіодних світильників ДСП37В-140-111У1 для освітлення приміщень та майданчиків станції приготування технологічних розчинів.

Висновки

Результатом виконання даної магістерської роботи є розрахунок параметрів проектованої системи електропостачання станції приготування технологічних розчинів.

Розраховано значення навантаження на трьох рівнях системи електропостачання, проведено вибір та перевірку трансформаторів для прибудованої КТП до будівлі станції – обрано два трансформатори типу ТМГ-400/10/0,4, В якості РП-0,4 кВ обрано комплектний низьковольтний пристрій вітчизняного виробництва.

Проведено вибір кабелів. Для живлення прибудованої КТП від розподільчого пристрою РП-10кВ обрано кабель типу ААБл-6 3х50 – силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами, з паперовою просоченою ізоляцією, в алюмінієвій оболонці, броньований двома сталевими стрічками.

Для розподільчої мережі обрано тип кабелю ВВГнгд-1,0 – силовий з мідними струмопровідними жилами з ПВХ ізоляцією в зовнішній загальній оболонці з ПВХ пластикату пониженої горючості. Перерізи жил окремих ліній відповідають розрахованим груповим навантаження та одиничним навантаженням окремих споживачів.

З урахуванням електричних параметрів обраних кабелів та трансформаторів, розраховано трифазні та однофазні струми короткого замикання на трьох рівнях системи електропостачання

Використовуючи отримані величини струмів КЗ та параметри розрахованих навантажень проведено вибір комутаційного обладнання.

В якості автоматичних вимикачів вибрано комутаційні апарати українського виробника «ПРОМФАКТОР» Кривий Ріг, що відрізняються високою якістю та надійністю роботи.

У розділі охорона праці виконано роботу по конфігуруванню та розрахунку заземлювального пристрою прибудованої КТП 10/0,4кВ.

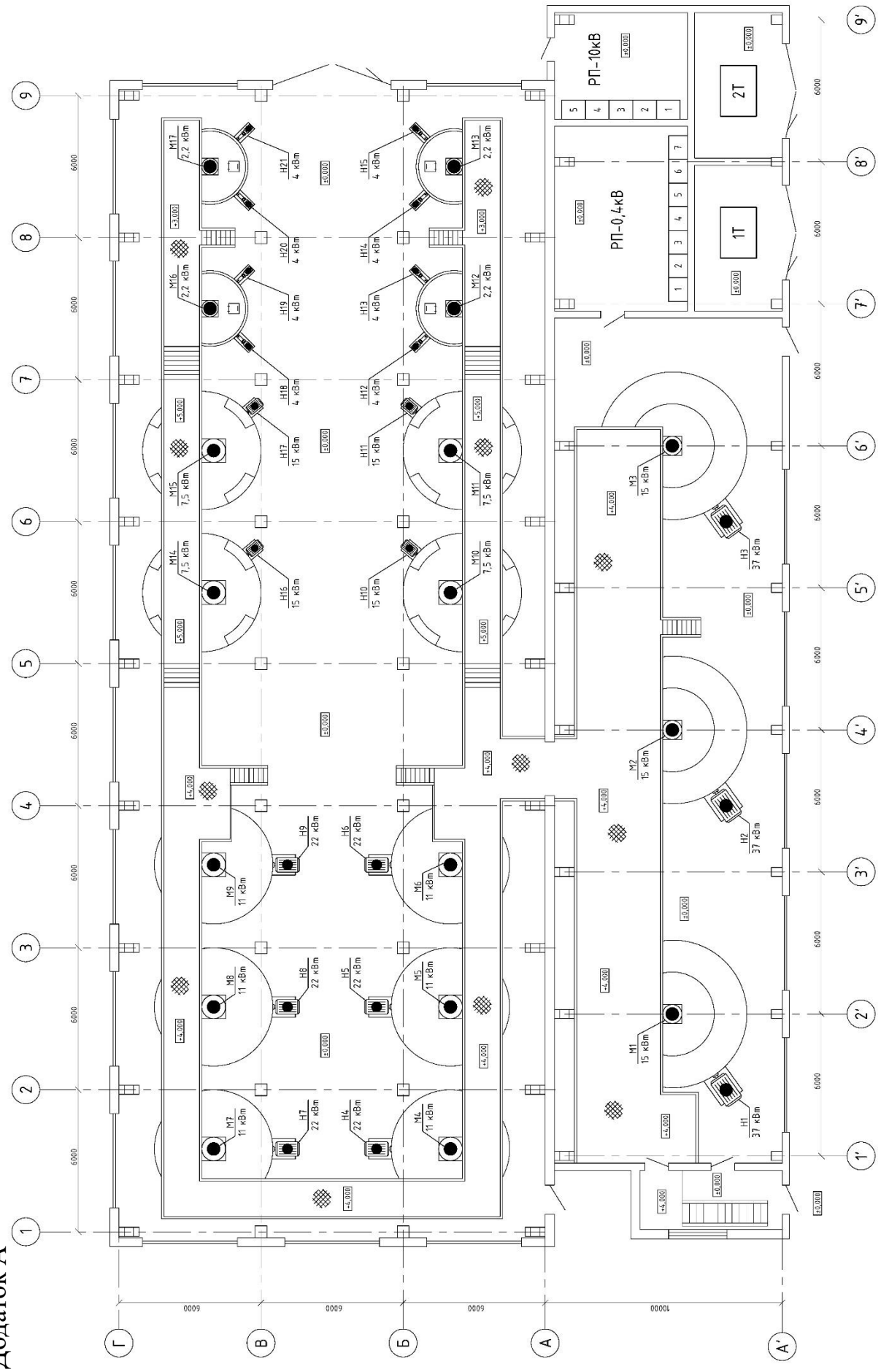
В економічній частині роботи виконано розрахунок економічного ефекту від використання світлодіодних світильників ДСП37В-140-111У1 замість світильників з лампами ДРЛ-400. Виграш світлодіодних джерел світла перед ртутними газорозрядними очевидний, тим більше при такому масштабі використання.

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт / Укладачі: М.А. Никифоров, І.Л. Лебединський.– Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 74 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. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2005. - 324 с
5. Правила улаштування електроустановок.-Х.: Изд-во «Форт», 2017.-704 с.
6. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
7. Офіційний сайт Інтернет-магазину «Легор» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: https://www.avtomats.com.ua/3012-io-500.html
8. Вільна енциклопедія «Вікіпедія» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/
9. Василега П.О. Електропостачання – Суми: Вид-во СумДУ, 2019. - 521 с
10. СОУ-Н ЕЕ 40.11-21677681-48:2011 «Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1кВ електростанцій та підстанцій з урахуванням впливу електричної дуги. Методичні вказівки».

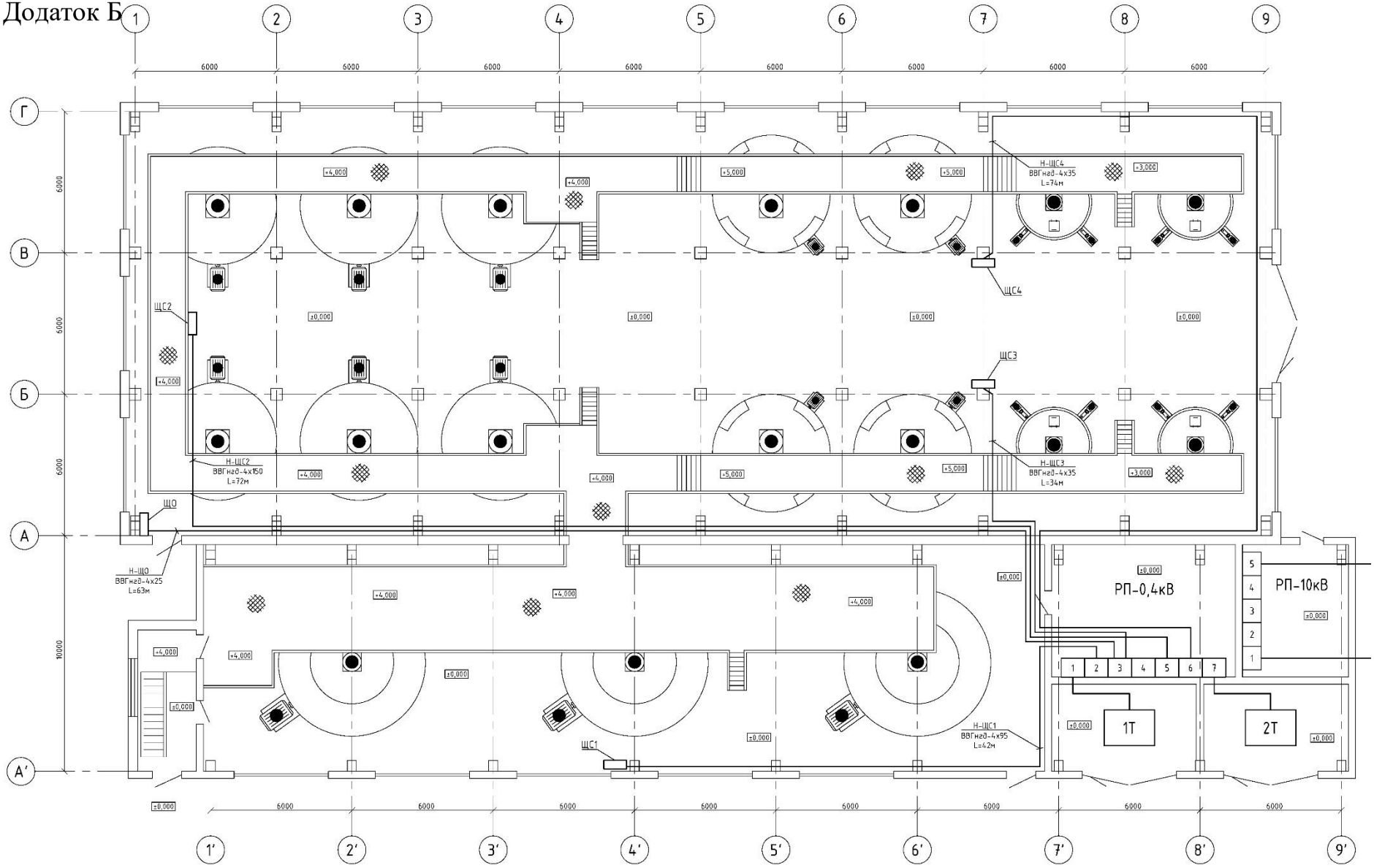
ДОДАТКИ

Додаток А



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР 5.8.141.351 ПЗ	Арк. 95

Додаток Б



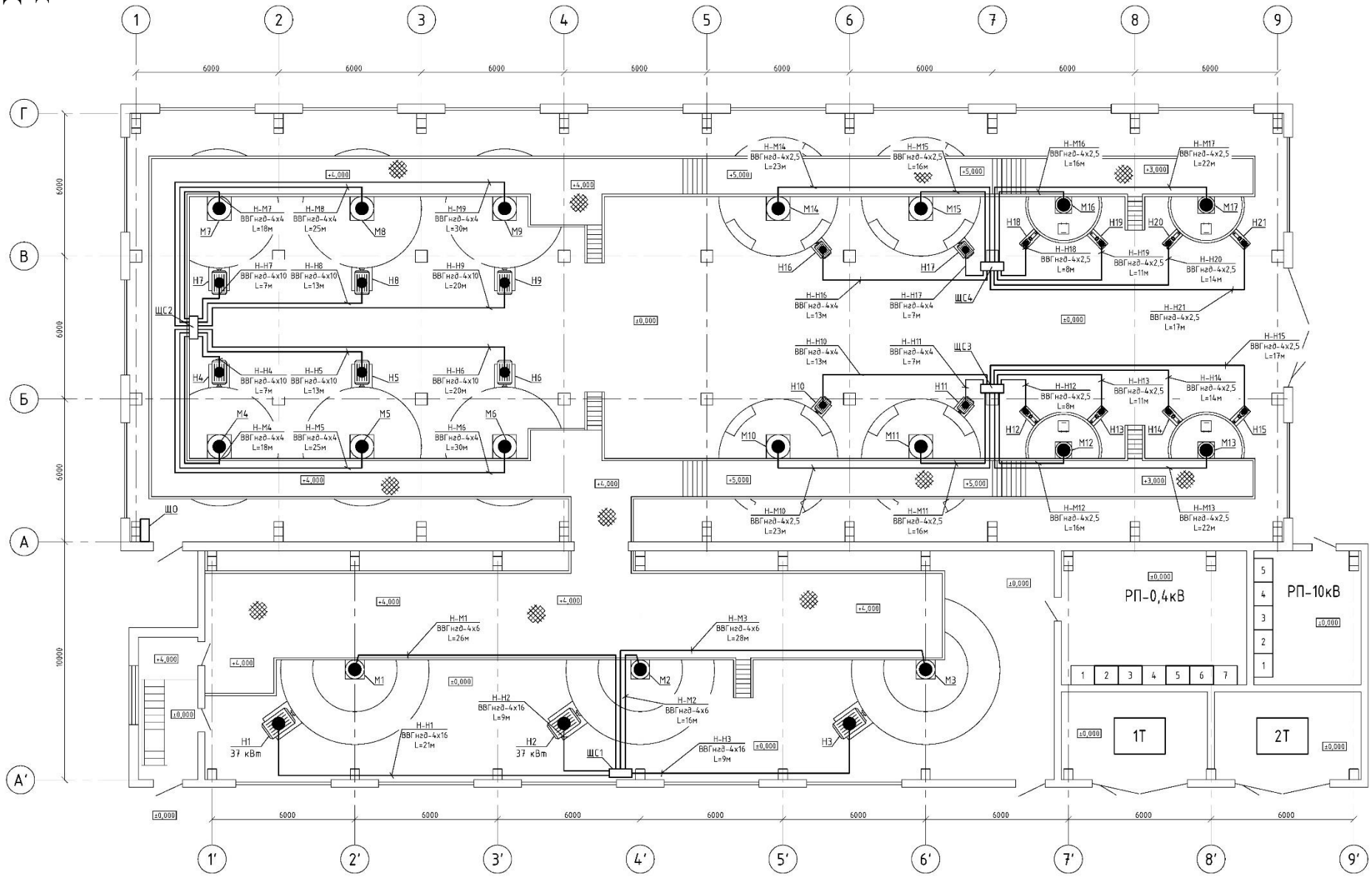
Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата

МР 5.8.141.351 ПЗ

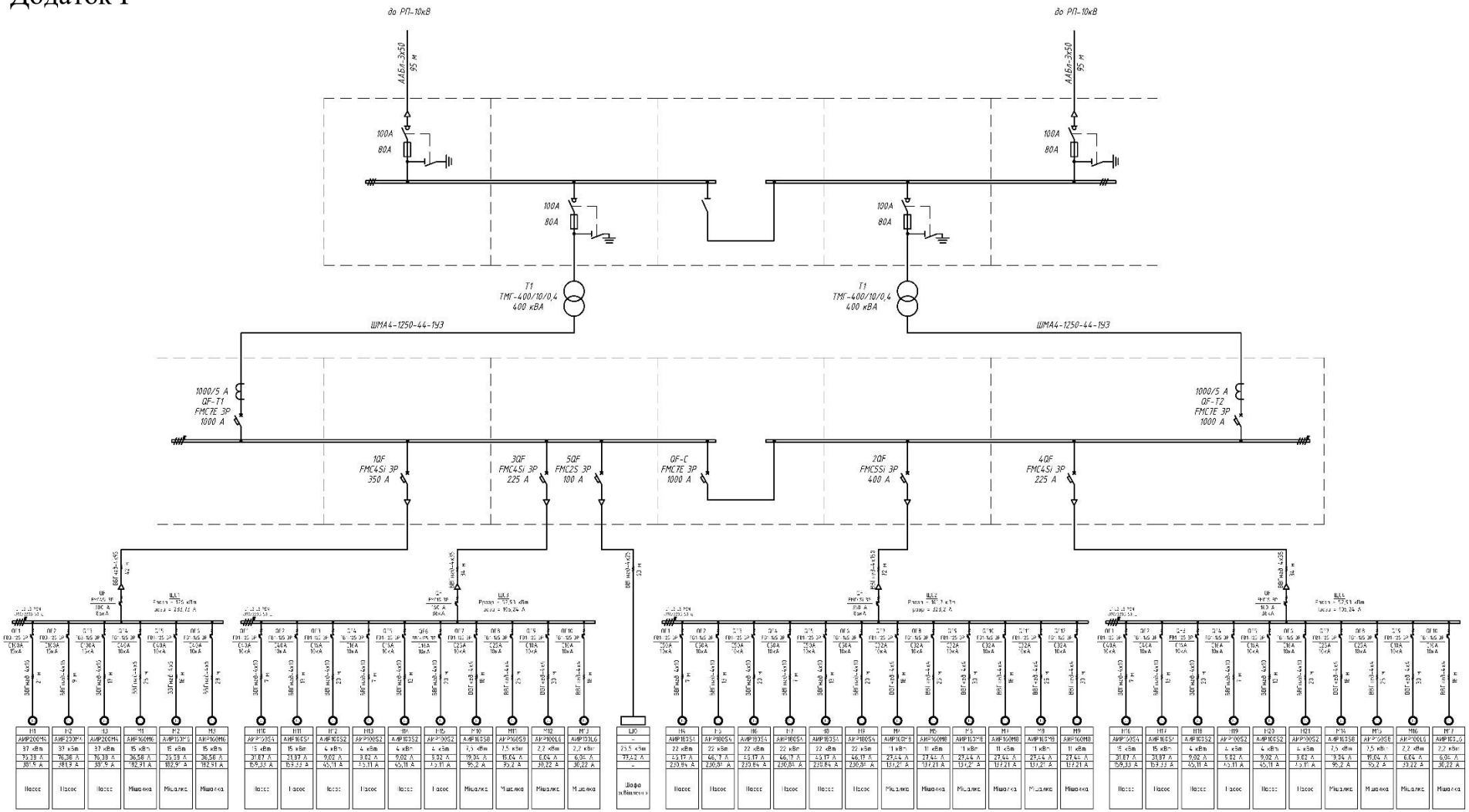
Арк.

96

Додаток В


1
2
3
4
5
6
7
8
9
Г
В
Б
А
А'
1'
2'
3'
4'
5'
6'
7'
8'
9'
6000
ШС1
ШС2
ШС3
ШС4
ЩО
РП-0,4кВ
РП-10кВ
1Т
2Т
Н1
37 кВт
Н2
37 кВт
Н3
Н-М1 ВВГнгд-4х6 L=26м
Н-М2 ВВГнгд-4х6 L=16м
Н-М3 ВВГнгд-4х6 L=28м
Н-Н1 ВВГнгд-4х16 L=21м
Н-Н2 ВВГнгд-4х16 L=9м
Н-Н3 ВВГнгд-4х16 L=9м
Н-М4 ВВГнгд-4х4 L=18м
Н-М5 ВВГнгд-4х4 L=25м
Н-М6 ВВГнгд-4х4 L=30м
Н-Н4 ВВГнгд-4х10 L=7м
Н-Н5 ВВГнгд-4х10 L=13м
Н-Н6 ВВГнгд-4х10 L=20м
Н-М7 ВВГнгд-4х4 L=18м
Н-М8 ВВГнгд-4х4 L=25м
Н-М9 ВВГнгд-4х4 L=30м
Н-Н7 ВВГнгд-4х10 L=7м
Н-Н8 ВВГнгд-4х10 L=13м
Н-Н9 ВВГнгд-4х10 L=20м
Н-М10 ВВГнгд-4х2,5 L=23м
Н-М11 ВВГнгд-4х2,5 L=16м
Н-М12 ВВГнгд-4х2,5 L=16м
Н-М13 ВВГнгд-4х2,5 L=22м
Н-Н10 ВВГнгд-4х4 L=13м
Н-Н11 ВВГнгд-4х4 L=7м
Н-Н12 ВВГнгд-4х2,5 L=8м
Н-Н13 ВВГнгд-4х2,5 L=11м
Н-Н14 ВВГнгд-4х2,5 L=14м
Н-Н15 ВВГнгд-4х2,5 L=17м
Н-М14 ВВГнгд-4х2,5 L=23м
Н-М15 ВВГнгд-4х2,5 L=16м
Н-М16 ВВГнгд-4х2,5 L=16м
Н-М17 ВВГнгд-4х2,5 L=22м
Н-Н16 ВВГнгд-4х4 L=13м
Н-Н17 ВВГнгд-4х4 L=7м
Н-Н18 ВВГнгд-4х2,5 L=8м
Н-Н19 ВВГнгд-4х2,5 L=11м
Н-Н20 ВВГнгд-4х2,5 L=14м
Н-Н21 ВВГнгд-4х2,5 L=17м

Додаток Г



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР 5.8.141.351 ГЗ