

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та
розрахунок головних її параметрів»

зі спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав

студент гр. ЕТз-61с

_____ Б.О. Григор'єв

Керівник

к.т.н., доцент

_____ П.О. Василега

Суми – 2020

РЕФЕРАТ

с. 72, рис. 3, табл. 11, дод. 4.

Бібліографічний опис: Григор'єв Б.О. Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та розрахунок головних її параметрів [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Б.О.Григор'єв; керівник П.О. Василега. – Суми: СумДУ, 2020. – 72 с.

Ключові слова:

Електропостачання, насосна станція, градирня, трансформатор, струм, напруга, кабельна лінія, шинопровід, струм короткого замикання, мішалка, розрахунок, автоматичний вимикач;

Электроснабжение, насосная станция, градирня, трансформатор, ток, напряжение, кабельная линия, шинопровод, ток короткого замыкания, мешалка, расчет, автоматический выключатель;

Power supply, pumping station, cooling tower, transformer, current, voltage, cable line, busbar, short circuit current, stirrer, calculation, circuit breaker.

Об'єкт дослідження: електрична мережа 6/0,4 кВ насосної станції з градирнею.

Короткий огляд.

Проведено розрахунок електричних параметрів системи електропостачання насосної станції з градирнею. Для підстанції проведено вибір номінальної потужності трансформаторів, шинопроводу, обрано та перевірено перерізи кабелів мережі живлення 6 кВ та розподільчої мережі 0,4 кВ. Вибрано комутаційні апарати розподільчих шаф. Вказане вище здійснене на основі проведеного розрахунку навантажень на трьох рівнях електропостачання з врахуванням систем освітлення приміщення, а також струмів короткого замикання та пікових струмів.

Перелік умовних скорочень

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
КБ - конденсаторна батарея
КЗ - коротке замикання
ККД - коефіцієнт корисної дії
ККУ - комплектні конденсаторні установки
КСО - камера стаціонарна однобічного обслуговування
КТП - комплектна трансформаторна підстанція
КУ - конденсаторна установка
НН - низька напруга
ПС - підстанція
ПУЭ - Правила устрою електроустановок
РП - розподільний пункт
СВ - струмова відсічка
СД - синхронний двигун
СЕП - система електропостачання
СРШ - силова розподільна шафа
ТВ - тривалість вмикання
ТП - трансформаторна підстанція
ТС - трансформатор струму
ЦРП - центральний розподільний пункт
ЦТП - цехова трансформаторна підстанція
ШНВ - шафа низьковольтна вводу
ШНЛ - шафа низьковольтна лінійна
ШРА - шинопровід розподільний алюмінієвий
ЩРО - щиток робочого освітлення

Зміст

Вступ	6
1. Вихідні дані	7
2. Розрахунок електричних навантажень насосної станції	9
2.1. Розрахунок силового навантаження на першому рівні	11
2.2. Розрахунок силового навантаження на другому рівні	14
2.3. Розрахунок силового навантаження на третьому рівні	18
2.4. Навантаження загального електричного освітлення	21
2.5. Визначення розрахункового навантаження ТП	24
2.6. Розрахунок пікових струмів	28
3. Вибір номінальної потужності трансформаторів ТП	30
3.1. Вибір силових трансформаторів для насосної станції	31
3.2. Визначення потужності конденсаторних установок 0,4 кВ	31
4. Вибір перерізу провідників	32
4.1. Вибір перерізу КЛ 6 кВ	33
4.1.1. Вибір КЛ за нормальним режимом	33
4.1.2. Перевірка КЛ за максимальним режимом	34
4.1.3. Перевірка КЛ на термічну стійкість	36
4.2. Вибір перерізу провідників мережі живлення 0,4 кВ	39
4.3. Вибір перерізу провідників розподільної мережі 0,4 кВ	43
5. Розрахунок струмів короткого замикання	48
5.1. Розрахунок струмів трифазного КЗ	49
5.2. Розрахунок струмів однофазного КЗ	56
6. Вибір автоматичних вимикачів	61
6.1. Вибір автомата живильної мережі	65
Висновок	70
Список використаної літератури	71
Додаток А	73
Додаток Б	74
Додаток В	75
Додаток Г	76

					БР 5.6.141.078 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та розрахунок головних її параметрів Пояснювальна записка.	Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Григор'єв Б.О.							4	78
Керівник	Василега П.О.								
Консульт.									
Н.контроль									
Завтвер.	Лебединський І.Л.				СумДУ, ЕТЗ-61с				

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.

В даний час більшість споживачів одержує електричну енергію від існуючих енергосистем, складові яких вже давно вичерпали свій ресурс і потребують заміни на новітнє електротехнічне обладнання.

З розвитком електроспоживання системи електропостачання промислових підприємств ускладнюються. 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.

Головною проблемою в найближчому майбутньому з'явиться створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Вихідні дані

Насосна станція, що розглядається – об'єкт, призначений для забезпечення технологічного процесу виробництва пластмас водяними розчинами з додаванням мікродобавок та забезпечує технологічне обладнання водяним контуром охолодження з використанням градирні.

Комплексна система насосної станції становить собою будівлю головного корпусу, де розташовані ємності з насосами мікродобавок та мішалки приготування розчинів. Поруч з будівлею головного корпусу розташовані ємності відстійника охолоджуючого контуру та градирня для повітряного охолодження води.

Насосна станція має складний технологічний процес, в якому виконуються різноманітні операції з рідиною: перекачування по магістралям водопостачання, приготування розчинів та подача їх в технологічні лінії виробництв, очистку та охолодження технічної води охолоджуючих контурів та ін. Для забезпечення електропостачання використовуваного технологічного обладнання передбачено прибудоване до будівлі насосної приміщення трансформаторної підстанції (ТП).

Насосна станція живиться електроенергією від розподільчого пристрою (РП-6кВ). Відстань від РП до прибудованої ТП - 120 м. Напруга на РП - 6 кВ. Всі ЕП приєднані до мережі змінної трифазної напруги 380В.

Споживачі насосної мають 2 категорію надійності електропостачання. Грунт у районі насосної - чорнозем з температурою +20 °С.

Розміри будівлі насосної А x В x Н = 18 x 30 x 8 м.

Територія градирні з відстійником Аг x Вг = 24 x 18 м

План розміщення обладнання в наведений у додатку А.

Перелік технологічного устаткування насосної наведено у таблиці 1.1.

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Таблиця 1.1. Перелік струмоприймачів насосної станції.

№ за планом	Найменування ЕП	$P_{ном}, \text{кВт}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
H1-H4	Насоси мікродобавок	2,2	0,8	0,75
H5-H6	Насоси мікродобавок	1,5	0,8	0,75
H7-H12	Насоси мікродобавок	1,1	0,8	0,75
H13-H15	Насоси подачі розчину	4	0,8	0,75
H16-H18	Насоси мішалок	1,5	0,8	0,75
M1-M3	Мішалки	7,5	0,7	1,02
H19-H26	Насоси відстійника	5,5	0,8	0,75
H27-H28	Головні насоси градирні	22	0,8	0,75
H29-H30	Насоси форсунок	11	0,8	0,75
B1-B2	Вентилятори градирні	7,5	0,7	1,02

2. Розрахунок електричних навантажень насосної станції

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 завантаженою зміну використовують для визначення розрахункового навантаження.

Піковий струм - це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд. Піковим струмом для одного ЕП є пусковий струм ($I_{\text{пуск}}$), який виникає при вмиканні одного ЕД або зварювального трансформатора, при експлуатаційному КЗ при зварюванні на одній установці, плавці сталі у дуговій електропечі та ін. Для групи ЕП піковий струм ($I_{\text{пik}}$) 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;

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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:

$$P_n = P_{пасп} \quad (2.1)$$

де $P_{пасп}$ - номінальна потужність на валу ЕД, кВт;

- для ЕД повторно-короткочасного режиму роботи - паспортній потужності (кВт), приведений до відносної $TB = 1$,

$$P_n = P_{пасп} \cdot \sqrt{TB_{П}} \quad (2.2)$$

де $TB_{П}$ — паспортна тривалість вмикання, в.о;

- для зварювальних трансформаторів:

$$S_n = S_{пасп} \cdot \sqrt{PB_{П}}, \quad (2.3)$$

$$P_n = S_{пасп} \cdot \sqrt{PB_{П}} \cdot \cos \phi_{пасп}, \quad (2.4)$$

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

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

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_{n,i}, \quad (2.5)$$

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_{n,i} = \sum_{i=1}^n P_{n,i} \operatorname{tg} \phi_i, \quad (2.6)$$

де n - кількість ЕД крана;

$P_{n,i}$ - номінальна активна потужність i -го ЕП;

$\operatorname{tg} \phi_i$ - відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \phi_i$ i -го ЕП.

Рівні визначення розрахункових навантажень наведені на рисунку 2.1.

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

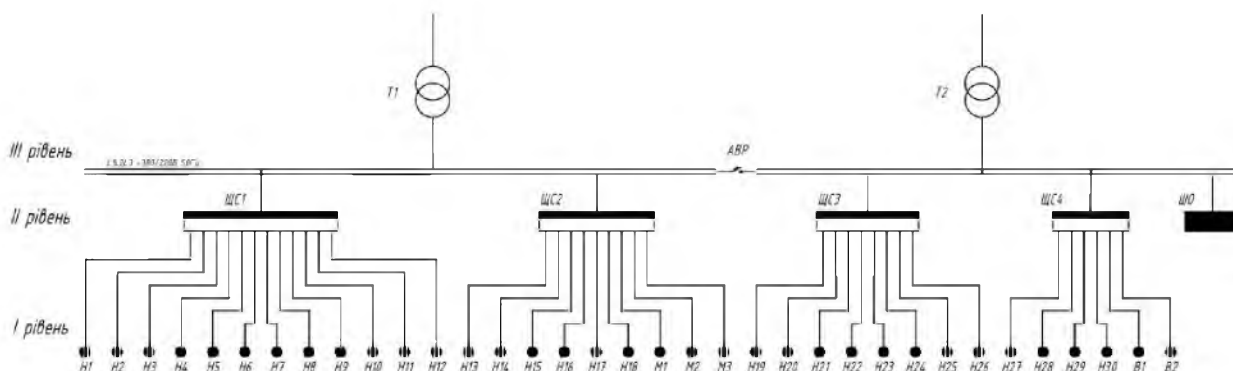


Рисунок 2.1 – Рівні визначення розрахункових навантажень

2.1. 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_3 ЕП розрахункові активні та реактивні навантаження першого рівня електропостачання визначаються за формулами:

$$p_{p.1} = k_3 \cdot p_{ном} \tag{2.7}$$

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

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

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

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_3 ЕП невідомий, то при проектуванні приймається $k_3 = 1$. Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність ЕП при $TВ = 1$.

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 $cos\phi_{ном.д}$ і $\eta_{ном.д}$ приймаються з каталогів заводів-виготовлювачів і довідників [16,17].

Доцільно для кожного ЕП обчислити його пусковий струм:

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

де $k_{пуск}$ - коефіцієнт пуску;

$I_{ном.ЕП}$ - номінальний струм ЕП.

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

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

Визначення розрахункових навантажень на першому рівні електропостачання для насосу відстійника Н17

Для насосу Н17 за формулою (2.7) при прийнятому $k_3 = 1$ розрахункове активне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$p_{p.1} = p_{ном.д} = 1 \cdot 7,5 = 5,5 \text{ кВт.}$$

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

$$q_{p.1} = q_{ном.д} = 5,5 \cdot 0,75 = 4,13 \text{ кВАр.}$$

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

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} = \sqrt{5,5^2 + 4,13^2} = 6,88 \text{ кВА}$$

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

$$I_{p.1} = \frac{6,88}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 10,45 \text{ А.}$$

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

Визначаємо пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск} = 5 \cdot 10,45 = 52,23 \text{ А.}$$

Отримані за формулами (2.7) - (2.12) результати розрахунків для насосу Н17, а також для інших ЕП насосної, зведено в таблицю 2.1.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Розрахункове силове навантаження на першому рівні

№ за планом	Найменування ЕП	$P_{ном}, кВт$	$\cos\phi$	$tg\phi$	$p.p.1, кВт$	$q.p.1, квар$	$s.p.1, кВА$	$I_p.1, А$	Іпуск, А
Н1-Н4	Насоси мікродобавок	2,2	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75	4,18	20,89
Н5-Н6	Насоси мікродобавок	1,5	0,8	0,75	1,5	1,13	1,88	2,85	14,24
Н7-Н12	Насоси мікродобавок	1,1	0,8	0,75	1,1	0,83	1,38	2,09	10,45
Н13-Н15	Насоси подачі розчину	4	0,8	0,75	4	3,00	5,00	7,60	37,98
Н16-Н18	Насоси мішалок	1,5	0,8	0,75	1,5	1,13	1,88	2,85	14,24
М1-М3	Мішалки	7,5	0,7	1,02	7,5	7,65	10,71	16,28	81,39
Н19-Н26	Насоси відстійника	5,5	0,8	0,75	5,5	4,13	6,88	10,45	52,23
Н27-Н28	Головні насоси ґридерні	22	0,8	0,75	22	16,50	27,50	41,78	208,91
Н29-Н30	Насоси форсунок	11	0,8	0,75	11	8,25	13,75	20,89	104,45
В1-В2	Вентилятори ґрадирні	7,5	0,7	1,02	7,5	7,65	10,71	16,28	81,39

2.2. Розрахунок силового навантаження на другому рівні

На другому рівні електропостачання навантаження на живильну лінію створюється групою ЕП, які приєднані до ПРЄ. Оскільки одночасно з максимальним навантаженням усі ЕП не працюють, то результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде більшим від середнього навантаження за максимально завантажену зміну (за малої кількості ЕП) або дорівнювати йому (за значної кількості ЕП), що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $K_{ра}$ і розрахункових реактивних навантажень $K_{рр}$.

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень K_p а залежить від ефективного числа ЕП n_e , середньовиваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{e,cb}$ та сталої часу нагрівання мережі T_o , яка на другому рівні електропостачання приймається $T_o = 10$ хв (розрахунковий інтервал часу $3T_o = 30$ хв).

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:

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

де n - кількість працюючих ЕП в групі;

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

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 ($p_{ном. макс} / p_{ном. мин} \leq 3$).

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

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

де k — кількість характерних груп ЕП;

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

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

Групове середнє активне навантаження за максимально завантаженою зміну i -ї групи ЕП визначається за формулою:

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

									Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.14.1.078 ПЗ				

де n - кількість ЕП в групі;

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

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

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

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

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

$$P_{p.2} = K_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^n k_{e.i} \cdot p_{ном.i} = K_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^n p_{см.i}, \quad (2.16)$$

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

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

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

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

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

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

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

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.078 ПЗ

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

де $n = 1-3$.

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається так:

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

При цьому розрахунковий струм:

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

Визначення розрахункового силового навантаження для ЩСЗ (як приклад розрахунку)

Від ЩСЗ живляться: вісім насосів відстійника Н19 – Н26.

Сумарна активна номінальна потужність трьох насосів визначається за формулою (2.5).

$$P_{ном.н.Σ} = 5,5 \cdot 8 = 44 \text{ кВт}.$$

Сумарна активна номінальна потужність для всіх ЕП ЩСЗ:

$$P_{ном.СРШЗΣ} = P_{ном.н.Σ} = 44 \text{ кВт}.$$

Для насосів, при даному технологічному рішенні приймається середнє значення коефіцієнта використання активної потужності $k_v = 0,8$. Середньозмінне активне навантаження крана мостового за формулою (2.15) дорівнює:

$$P_{см.н} = 8 \cdot 5,5 \cdot 0,8 = 35,2 \text{ кВт}.$$

Для насосів при прийнятому $\cos \phi = 0,8$, якому відповідає $\operatorname{tg} \phi = 0,75$, середньозмінне реактивне навантаження:

$$Q_{см.н} = 35,2 \cdot 0,75 = 26,4 \text{ кВАр}.$$

Сумарне середньозмінне реактивне навантаження для всіх ЕП ЩСЗ визначається так:

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{см.ЩСЗ\Sigma} = Q_{см.н.} = 26,4 \text{ кВАр.}$$

Величина ефективного числа ЕП ЩСЗ визначається за формулою (2.13)

$$n_e = \frac{44^2}{8 \cdot 5,5^2} = 8.$$

Приймається найближче менше ціле число $n_e = 8$ шт.

Середньовиважений коефіцієнт використання активної потужності для ЕП СРЩЗ визначається за формулою (2.14)

$$K_{в.св} = \frac{35,2}{44} = 0,8.$$

З таблиці джерела [2] $n_e = 8$ шт. і $K_{е св} = 0,8$ коефіцієнт розрахункового активного навантаження $K_{р.а} = 1$.

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

$$P_{р.2} = 1 \cdot 35,2 = 35,2 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_{р.2} = 1 \cdot 26,4 = 26,4 \text{ кВАр.}$$

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

$$S_{р.2} = \sqrt{35,2^2 + 26,4^2} = 44 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм ЕП ЩСЗ визначається за формулою (2.21)

$$I_{р.2} = \frac{44}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 66,85 \text{ А.}$$

Навантаження інших силових щитів ЩС визначається аналогічно.

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

2.3. Розрахунок силового навантаження на третьому рівні

На третьому рівні електропостачання кількість ЕП ще більша, ніж на другому рівні електропостачання. Результуюче навантаження завжди менше

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 завантаженою зміну, що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень $K'_{p.a}$ і розрахункових реактивних навантажень $K'_{p.p}$ [15].

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

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

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

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.

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

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

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

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

На третьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень $K'_{p.a}$ та коефіцієнт розрахункових реактивних

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажень $K'_{p,p}$ приймаються рівними ($K'_{p,a} = K'_{p,p}$), тому розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{p,3}$ визначається як:

$$Q_{p,3} = K'_{p,p} \cdot \sum_{i=1}^m k_{в,i} \cdot p_{ном,i} \cdot tg\phi_{ном,i} = P_{p,3} \cdot tg\phi_{св}, \quad (2.28)$$

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

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

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

При цьому розрахунковий струм:

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

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

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

$$n_e = \frac{2 \cdot (P_{ном,ЦС1} + P_{ном,ЦС2} + P_{ном,ЦС3} + P_{ном,ЦС4})}{p_{ном,макс.}}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot (18,4 + 39 + 44 + 81)}{22} = 16 \text{ шт.}$$

Приймається найближче менше ціле число $n_e = 16$ шт.

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

$$K_{в,св} = \frac{P_{см,ЦС1} + P_{см,ЦС2} + P_{см,ЦС3} + P_{см,ЦС4}}{P_{ном,\Sigma}}$$

$$K_{в,св} = \frac{13,8 + 37,05 + 35,2 + 76,95}{182,4} = 0,89.$$

Коефіцієнт розрахункового активного навантаження для обчислених вище $n_e = 16$ шт. і $K_{в,св} = 0,89$ з таблиці приймається $K'_{p,a} = 1$. За формулою (2.27) розрахункове силове активне навантаження на третьому рівні електропостачання:

$$P_{p,3} = 1 \cdot 163 = 163 \text{ кВт.}$$

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$Q_{p,3} = K_{p,p} \cdot (Q_{см.ЦС1} + Q_{см.ЦС2} + Q_{см.ЦС3} + Q_{см.ЦС4}),$$
$$Q_{p,3} = 1 \cdot (10,35 + 33,56 + 26,4 + 61,56) = 131,88 \text{ кВАр}.$$

Розрахункове силове повне навантаження визначається за формулою (2.29)

$$S_{p,3} = \sqrt{163^2 + 131,88^2} = 209,67 \text{ кВА}.$$

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

$$I_{p,3} = \frac{209,67}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 318,56 \text{ А}.$$

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

2.4. 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, 12, 18], але для цього слід розрахувати встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху $P_{уст.0}$, яке більш точно визначається світлотехнічним розрахунком (методом коефіцієнта використання світлового потоку). У попередніх розрахунках встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху можна визначити за формулою:

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$p_{п.0}$ - питома установлена потужність загального освітлення, Вт/м²

F - площа, яка підлягає освітленню, м² (розміри беруться з плану).

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

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається як:

$$P_{р.0} = K_{п.0} \cdot P_{уст.0}, \quad (2.32)$$

де $K_{п.0}$ - коефіцієнт попиту загального освітлення.

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

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається так:

$$Q_{р.0} = P_{р.0} \cdot tg\phi_0, \quad (2.33)$$

де $tg\phi_0$ відповідає значенню коефіцієнта потужності $cos\phi_0$ залежно від виду (типу) джерела світла.

При цьому коефіцієнт активної потужності для ламп розжарювання приймається рівним $cos\phi_0 = 1,0$, для ЛЛ низького тиску $cos\phi_0 = 0,95$, для ЛЛ високого тиску типу ДРЛ $cos\phi_0 = 0,5$.

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою:

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{P.O} = \sqrt{P_{P.O}^2 + Q_{P.O}^2}. \quad (2.34)$$

При цьому розрахунковий струм визначається як:

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

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення насосної

- розміри приміщення: 18 м x 30 м.
- розміри відкритого майданчика градирні 24 м x 18 м
- як джерела світла приймаються лампи типу ДРЛ.

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

Для ламп типу ДРЛ, які використовуються для освітлення відкритого майданчика градирні, приймається питома установлена потужність загального освітлення $p_{P.O} = 10 \text{ Вт/м}^2$, коефіцієнт $k = 1,1$. Установлене (номінальне) навантаження загального освітлення визначається за формулою (2.31)

$$\begin{aligned} P_{уст.0} &= (1,1 \cdot 15 \cdot 18 \cdot 30 \cdot 10^{-3}) + (1,1 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 18 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 8,91 + 4,752 = 13,66 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

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

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

$$P_{P.O} = 1 \cdot 13,66 = 13,66 \text{ кВт}.$$

Для ламп типу ДРЛ приймається коефіцієнт активної потужності $\cos \phi_0 = 0,5$, якому відповідає коефіцієнт реактивної потужності $\tan \phi_0 = 1,73$.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$Q_{P.O} = 13,66 \cdot 1,73 = 23,64 \text{ кВАр.}$$

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

$$P_{P.A} = 13,66 \cdot 0,15 = 2,05 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P.A} = 23,64 \cdot 0,15 = 3,55 \text{ кВАр.}$$

Загальне розрахункове навантаження освітлення:

$$P_O = P_{P.O} + P_{P.A} = 13,66 + 2,05 = 15,71 \text{ кВт.}$$

$$Q_O = Q_{P.O} + Q_{P.A} = 23,64 + 3,55 = 27,18 \text{ кВт.}$$

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

$$S_{P.O} = \sqrt{15,71^2 + 27,18^2} = 31,39 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм загального освітлення цеху визначається за формулою (2.35)

$$I_{P.O} = \frac{31,39}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 47,7 \text{ А.}$$

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

2.5. 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 $P_{p.з}$ і реактивного $Q_{p.з}$ навантажень силових ЕП слід додати розрахункові активне $P_{p.o}$ і реактивне $Q_{p.o}$ навантаження загального робочого освітлення та аварійного освітлення ($P_{p.a.o}$, $Q_{p.a.o}$).

При обчисленні загального розрахункового навантаження ТП з урахуванням розрахункового навантаження загального електричного

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітлення цеху приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_o=1,0$.

Необхідні розрахункові дані беруться з підрозділів 2.3 і 2.4.

Загальне розрахункове активне навантаження ТП визначається за формулою:

$$P_{p.ТП} = P_{p.з} + P_o \quad (2.36)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження ТП можна визначити як:

$$Q_{p.ТП} = Q_{p.з} + Q_o \quad (2.37)$$

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

$$S_{p.ТП} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2} \quad (2.38)$$

При цьому розрахунковий струм:

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

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

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

$$P_{p.ТП} = 163 + 15,71 = 178,71 \text{ кВт.}$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження ТП визначається за формулою (2.37)

$$Q_{p.цТП} = 131,88 + 27,18 = 159,06 \text{ кВАр.}$$

Загальне розрахункове повне навантаження ТП визначається за формулою (2.38)

$$S_{p.цТП} = \sqrt{178,71^2 + 159,06^2} = 239,24 \text{ кВА,}$$

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

$$I_{p.цТП} = \frac{239,24}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 363,49 \text{ А.}$$

Результати розрахунків наводяться в таблиці 2.2.

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків електричних навантажень

Найменування вузла, номер ЕП	Найменування ЕП	Кількість ЕП, п	Номінальна потужність, кВт		К-т використання КВ	Коефіцієнти потужності	
			одного	загальна		cos φ	tan φ
1	2	3	4	5	6	7	8
Н1-Н4	Насоси мікродобавок	4	2,2	8,8	0,75	0,8	0,75
Н5-Н6	Насоси мікродобавок	2	1,5	3	0,75	0,8	0,75
Н7-Н12	Насоси мікродобавок	6	1,1	6,6	0,75	0,8	0,75
Всього по ЩС1		12		18,4	0,75		
Н13-Н15	Насоси подачі розчину	3	4	12	0,95	0,8	0,75
Н16-Н18	Насоси мішалок	3	1,5	4,5	0,95	0,8	0,75
М1-М3	Мішалки	3	7,5	22,5	0,95	0,7	1,02
Всього по ЩС2		9		39	0,95		
Н19-Н26	Насоси відстійника	8	5,5	44	0,8	0,8	0,75
Всього по ЩС3		8		44	0,80		
Н27-Н28	Головні насоси гريدирні	2	22	44	0,95	0,8	0,75
Н29-Н30	Насоси форсунок	2	11	22	0,95	0,8	0,75
В1-В2	Вентилятори градирні	2	7,5	15	0,95	0,7	1,02
Всього по ЩС4		6		81	0,95		
3-й рівень		35		182,40	0,89		
робоче освітлення				13,66		0,5	1,7
аварійне освітлення (15%)							
Освітлення всього (шафа ШО)							
Усього							

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.6.141.078 ПЗ

Арк.

26

$K_{вРн}$	$K_{вРн}tgj$	Ефективна кількість ЕП, n_e	К-т розрахункового	Розрахункова потужність якщо $n_e > 10$ то $k=1$, якщо $n_e < 10$ то $k=1,1$			Розрахунковий струм, А
				Активна, кВт	Реактивна, кВАр	Повна, кВА	
9	10	11	12	13	14	15	16
6,60	4,95	19,4					4,18
2,25	1,69	4,5					2,85
4,95	3,71	7,26					2,09
13,80	10,35	10	1	13,80	10,35	17,25	26,21
11,40	8,55	48					7,60
4,28	3,21	6,75					2,85
21,38	21,81	169					14,24
37,05	33,56	6	1	37,05	33,56	49,99	75,95
35,20	26,40	242					10,45
35,20	26,40	8	1	35,20	26,40	44,00	66,85
41,80	31,35	968					41,78
20,90	15,68	242					20,89
14,25	14,54	113					14,24
76,95	61,56	4	1	76,95	61,56	98,55	149,73
163,00	131,88	16	1	163,00	131,88	209,67	318,56
				13,662	23,64	27,30	41,48
				2,05	3,55	4,09	6,22
			1	15,71	27,18	31,39	47,70
				178,71	159,06	239,24	363,49

2.6. Розрахунок пікових струмів

Піковий струм групи ЕП напругою до 1 кВ визначається як [8]

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + \sum_1^{n-1} I'_{ном} , \quad (2.40)$$

де $I_{пyск.макс}$ - 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 $TВ = 1$ [3]

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + (I_{p.2} - k_B \cdot I_{ном.макс}), \quad (2.41)$$

де $I_{p.2}$ - розрахунковий струм усіх ЕП групи (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

k_B - коефіцієнт використання ЕД з найбільшим пусковим струмом;

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

Найбільші пускові струми ЕД $I_{пyск.макс}$ 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:

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

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

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

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Від СРШ4 живляться, відповідно, 6 насосів фільтрації технологічної води Н12-Н17. Найпотужніший електроприймач цієї групи ЕП – $P_{номд} = 11,0 \text{ кВт}$, коефіцієнт активної потужності $\cos \phi = 0,8$, коефіцієнт використання $k_B = 0,5$.

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

$$I_{ном.макс} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 23,21 \text{ А},$$

а його пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск.макс} = 5 \cdot 23,21 = 116,05 \text{ А}.$$

З підрозділу 2.2 розрахунковий струм другого рівня електропостачання для ЕП СРШ4 $I_{p,2} = 70,15 \text{ А}$.

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

$$I_{пик} = 116,05 + (70,15 - 0,5 \cdot 23,21) = 174,6 \text{ А}.$$

Аналогічно розраховуються пікові струми інших груп ЕП.

Таблиця 2.3 - Розрахунок пікових навантажень

Назва	Дані найпотужнішого ЕП		Струм розрахунковий $I_{p,2}$, А	Коеф. використання k_B	Піковий струм $I_{пик}$, А
	Струм $I_{ном}$, А	пусковий струм $I_{пуск.макс}$, А			
ЩС1	26,21	195,19	26,21	0,75	192,12
ЩС2	75,95	48,23	75,95	0,95	115,02
ЩС3	66,85	79,13	66,85	0,80	133,32
ЩС4	149,73	132,64	149,73	0,95	257,16
ШО	47,70	132,18	47,70	1,00	127,01

3. Вибір номінальної потужності трансформаторів ТП

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 $Q_{р\text{ цтп}}$ 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_T за емпіричною формулою [5,18]

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

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.

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибирається найближча більша стандартна номінальна потужність трансформатора [2].

3.1. Вибір силових трансформаторів для насосної станції

Первинна напруга трансформатора 6 кВ.

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

За формулою (3.1)

$$S_{ном.Т} \geq S_{ном.Т.р} = \frac{239,24}{2 \cdot 0,7} = 170,89 \text{ кВА.}$$

Вибираємо трансформатор з номінальною потужністю $S_{ном.Т} = 250$ кВА типу ТМГ-250/6/0,4 (з гофрованими стінками без розширювального бака).

3.2. Визначення потужності конденсаторних установок 0,4 кВ

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

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot \beta_T \cdot S_{ном.Т})^2 - P_{рТП,квар}^2} \quad (3.2)$$

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

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

$$Q_{НК} = Q_{рТП} - Q_T, \text{ квар,} \quad (3.3)$$

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 [4]. Для застосування

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 $\beta_T = 0,7$ зі сторони 6 кВ у мережу напругою до 1 кВ передається така реактивна потужність:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 250)^2 - 178,71^2} = 300,94 \text{ кВАр.}$$

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

$$Q_{НК} = 159,06 - 300,94 = -141,88 \text{ кВАр.}$$

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

4. Вибір перерізу провідників

У даній роботі бакалавра вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельні лінії напругою 6кВ, які з'єднують трансформатори цехових ПС з шинами РП;
- усїєї 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

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги, електродинамічною стійкістю й механічною міцністю (природно, що ізоляція провідників має відповідати класу напруги) [8, 14].

4.1. Вибір перерізу КЛ 6 кВ

Вибір перерізу кабельної лінії напругою 6 кВ здійснюється за нормальним режимом навантаження, а перевірка вибраного перерізу - за максимальним режимом навантаження і на стійкість за аварійним режимом. Перевірку за умовами корони, а також на механічну міцність жил кабелів робити не потрібно, бо мінімальний переріз алюмінієвої жили для кабелів становить 2,5 мм², мідної — 1,5 мм², що відповідає мініимальному перерізу провідника.

4.1.1. Вибір КЛ за нормальним режимом

При виборі перерізу кабелю, який живить ТП з трансформатором (трансформаторами) 6/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{\text{норм}}$ при радіальній схемі незалежно від числа трансформаторів ЦТП (один або два) приймається номінальний первинний струм трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора за формулою:

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

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

$U_{\text{ном.Т.1}}$ - номінальна первинна напруга трансформатора, кВ.

Економічно вигідний переріз кабелів визначається як:

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

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

$J_{\text{ек}}$ - нормоване значення економічно вигідної густини струму, А/мм².

Розрахунковий економічно вигідний переріз $S_{\text{ек}}$ округляється до найближчого більшого або меншого стандартного перерізу $S_{\text{СТ}}$, мм².

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.2. 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 $I_{доп}$ та коефіцієнтів допустимого перевантаження $K_{пер}$, які наводяться в таблицях 1.3.1 і 1.3.2 ПУЕ, порівнюють зі струмом його форсованого режиму $I_{фз}$ з урахуванням коефіцієнта резервування $K_{рез}$:

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

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

Допустимий тривалий струм для кабелів напругою 6 кВ з урахуванням умов прокладки та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері визначається так:

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

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

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

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

Коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна також обчислити за формулою:

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

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 температури провідників у нормальному, форсованому та аварійному режимах

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

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

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

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

4.1.3. Перевірка 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:

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

де B_K - тепловий імпульс струму КЗ, $\text{А}^2\text{с}$;

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

$I_K = I_{II.0}$ - 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) $t_{\text{зах}}$, часу вимикання вимикача $t_{\text{вимик.в}}$ (можна прийняти $t_{\text{вимик.в}} = 0,05 \text{ с}$) і сталої часу аперіодичної складової струму КЗ ($T_a = 0,05 \text{ с}$)

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

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 $t = 0,2 \text{ с}$.

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 $t = 0,6 \text{ с}$.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 6 кВ від РП до ТП

Номинальна потужність трансформатора $S_{ном.Т} = 250$ кВА. Резервування на стороні передбачене. КТП розташовується в прибудованому до будівлі насосної станції приміщенні. Від КТП живляться ЕП 2-ї категорії. Тому приймається кількість годин використання максимуму навантаження за рік $T_{макс} = 5000$ год/рік, коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю $K_{пер} = 1$, марка кабелю ААБл, температура навколишнього середовища (землі) $T_{сер} = 20$ °С, початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ у максимальному режимі на шинах РП $I_{II,0} = 6$ кА.

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

$$I_{ном.Т.1} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 24,06 \text{ А.}$$

Для кабелів із паперовою ізоляцією з алюмінієвими жилами при $T_{макс} = 5000$ год/рік економічна густина струму $J_{ек} = 1,2$ А/мм². За формулою (4.2) економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи:

$$S_{ек} = \frac{24,06}{1,2} = 20,05 \text{ мм}^2.$$

Вибирається найближчий більший стандартний переріз кабелю $S_{СТ} = 35$ мм².

При нормованій тривало допустимій температурі кабелю марки ААБл напругою 6 кВ $T_{ж.н} = 65$ °С, нормованій тривало допустимій температурі

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища $T_{сер н} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ і фактичній температурі навколишнього середовища $T_{сер} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища за формулою (4.5)

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

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 прокладці в землі для трижильних кабелів марки ААБл напругою 6кВ і перерізом жили 35 мм^2 допустимий тривалий струм $I_{дон} = 121 \text{ А}$. За формулою (4.4)

$$I_{дон} = 0,95 \cdot 1 \cdot 121 = 114,95 \text{ А}.$$

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

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

$$1 \cdot 114,95 = 114,95 \text{ А} \geq 1,4 \cdot 24,06 = 33,68 \text{ А}.$$

$$114,95 \text{ А} \geq 33,68 \text{ А}$$

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

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

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

$$S_{мін} = \frac{6000 \cdot \sqrt{0,2}}{92} = 29,166 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, $S_{СТ} = 35 \text{ мм}^2 > S_{мін} = 29,166 \text{ мм}^2$, тому вибирається кабель ААБл-6 (3х35).

					<i>БР 5.6.14.1.078 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. 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 допустима температура нагрівання провідників наведена в таблиці 4.1.

Вибір перерізу кабелів

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

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{p,2} A, \quad (4.8)$$

де $I_{p,2}$ - 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 $K_{\text{нопр}}$ так:

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості коефіцієнт поправки $K_{\text{пр}} = 1$, нормована температура середовища $T_{\text{сер}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

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:

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

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

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

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

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

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

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

де r_n і x_n - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

$l_{\text{кб}}$ - довжина кабелю, км.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 АВВГ 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 1.3.3 ПУЭ 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 ЩСЗ, $I_{р.2} = 66,85$ А.

З таблиці [2] для трижильного кабелю при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{ст} = 35$ мм² допустимий струм $I_{доп} = 98$ А. За формулою (4.9)

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 98 = 94,67A$$

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, $I'_{доп} = 94,67 \text{ A} \geq I_{p,2} = 66,85 \text{ A}$.

Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{p,2} = 35,2 \text{ кВт}$, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{p,2} = 26,4 \text{ кВт}$.

З таблиці [2] для кабелю з стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{ст} = 35 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори кабелю: $r_n = 0,894 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,0637 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{кб} = 32 \text{ м}$. Тоді за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб} = 0,894 \cdot 32 \cdot 10^{-3} = 0,034 \text{ Ом.}$$

$$X_{кб} = 0,0637 \cdot 32 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Ом.}$$

За формулою (4.10)

$$\Delta U_{кб} = \frac{35,2 \cdot 0,034 + 26,4 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,38^2} = 0,93\%.$$

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

Таким чином, вибирається чотирижильний кабель АВВГ-4х35.

Переріз кабелів живильної мережі до силових щитів насосної (ЩС1, ЩС2, ЩС3, ЩС4, ШО), вибирається аналогічно, як і до ЩС3. Розрахунок втрат напруги також проводиться аналогічно. Результати розрахунків зведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Вибір перерізу кабелів живильної мережі ділянок

Кабель до ...	$S_{ст}, \text{ мм}^2$	$I'_{доп}, \text{ А}$	$I_{p,2}, \text{ А}$	$\Delta U_{кб}, \%$	Тип кабелю	Довжина, м
До ШО	6	32,844	47,70	0,93	АВВГ 4х6	16
До ЩС1	10	44,436	26,21	1,27	АВВГ 4х10	42
До ЩС2	35	94,668	75,95	0,93	АВВГ 4х35	38
До ЩС3	35	94,668	66,85	0,73	АВВГ 4х35	32
До ЩС4	120	204,792	149,73	1,04	АВВГ 4х120	63

4.3. 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:

$$I'_{доп} \geq I_{p.1}, A, \quad (4.27)$$

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

Допустимий тривалий струм для проводів $I_{доп}$ з полівінілхлоридною ізоляцією з алюмінієвими жилами залежно від перерізу, способу прокладання, кількості проводів у трубі наводиться в таблиці 1.3.5 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 мм², мідних - 1,5 мм².

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається як:

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

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

R_{np} і X_{np} - активний і реактивний опори проводів відповідно, Ом;

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

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами:

$$R_{np} = r_n \cdot l_{np}, \quad (4.29)$$

$$X_{np} = x_n \cdot l_{np}, \quad (4.30)$$

де r_n і x_n - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

l_{np} - довжина кабелю, км.

Вибір проводів від ЩС до ЕП

Приймаємо марку 4-х жильного кабелю АВВГ, прокладення кабелів у сталевій трубі, фактичну температуру навколишнього середовища $T_{сер}=20^{\circ}\text{C}$.

Для кабелю марки АВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.1 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н}=65^{\circ}\text{C}$, нормована температура середовища при прокладенні в землі $T_{сер.н}=15^{\circ}\text{C}$. Тоді за формулою (4.5) поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища $K_{сер}=0,95$. З таблиці 1.3.3 ПУЕ або поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища також $K_{сер}=0,95$.

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

Для насосу Н27 з таблиці 2.1 $\cos \phi=0,8$, ККД (згідно даних заводу-виробника) приймається $\eta_{ном.д}=0,905$.

Номінальний струм визначається за формулою (2.11)

$$I_{ном.д} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 57,71 \text{ А.}$$

З каталогу заводу виробника Южкабель (часто буває, що дані на конкретну продукцію конкретного виробника відрізняються від значень ПУЕ, тому прийmemo менший допустимий струм), для АВВГ-4х25 допустимий струм для стандартних умов $I_{доп}=80\text{А}$. Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища й умов прокладення визначається за формулою (4.4)

$$I'_{доп} = 0,95 \cdot 1 \cdot 80 = 77,28 \text{ А.}$$

За формулою (4.27)

$$I'_{доп} = 77,28 \text{ А} \geq I_{р.1} = I_{ном.д} = 57,71 \text{ А.}$$

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова виконується.

Умова механічної міцності також виконується ($25 \text{ мм}^2 > 2,5 \text{ мм}^2$).

З таблиці [2] для кабелів зі струмопровідною жилою $S_{\text{СТ}} = 25 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори: $r_{\text{п}} = 1,25 \text{ мОм/м}$, $x_{\text{п}} = 0,0662 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю до насосу Н27 $l_{\text{пр}} = 20 \text{ м}$. Тоді за формулами (4.29) і (4.30)

$$R_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,025 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{пр}} = 0,0662 \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ Ом.}$$

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

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

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

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{22 \cdot 0,025 + 16,5 \cdot 0,001}{10 \cdot 0,38^2} = 0,38\%.$$

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 4.3.

План розміщення електричної мережі насосної наведений у додатку Б.

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 - Вибір перерізу проводів розподільної мережі від ЩС до електроприймачів

Лінія до ЕП	lр.1, А	l'доп	lдоп	Sст	Довжина	R	X	Rкаб	Xкаб	Втра ти	Марка кабелю	Тип двигуна	кпд
H1	6,53	18,35	19	2,5	11	12,5	0,104	0,138	0,001	0,21	АВВГ-4х2,5	АИР90L4	0,8
H2	6,53	18,35	19	2,5	13	12,5	0,104	0,163	0,001	0,25	АВВГ-4х2,5	АИР90L4	0,8
H3	6,53	18,35	19	2,5	15	12,5	0,104	0,188	0,002	0,29	АВВГ-4х2,5	АИР90L4	0,8
H4	6,53	18,35	19	2,5	17	12,5	0,104	0,213	0,002	0,33	АВВГ-4х2,5	АИР90L4	0,8
H5	4,54	18,35	19	2,5	15	12,5	0,104	0,188	0,002	0,20	АВВГ-4х2,5	АИР80В4	0,785
H6	4,54	18,35	19	2,5	13	12,5	0,104	0,163	0,001	0,17	АВВГ-4х2,5	АИР80В4	0,785
H7	3,43	18,35	19	2,5	11	12,5	0,104	0,138	0,001	0,11	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H8	3,43	18,35	19	2,5	13	12,5	0,104	0,163	0,001	0,12	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H9	3,43	18,35	19	2,5	15	12,5	0,104	0,188	0,002	0,14	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H10	3,43	18,35	19	2,5	17	12,5	0,104	0,213	0,002	0,16	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H11	3,43	18,35	19	2,5	19	12,5	0,104	0,238	0,002	0,18	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H12	3,43	18,35	19	2,5	21	12,5	0,104	0,263	0,002	0,20	АВВГ-4х2,5	АИР80А4	0,762
H13	11,28	18,35	19	2,5	18	12,5	0,104	0,225	0,002	0,62	АВВГ-4х2,5	АИР100L4	0,842
H14	11,28	18,35	19	2,5	16	12,5	0,104	0,200	0,002	0,56	АВВГ-4х2,5	АИР100L4	0,842
H15	11,28	18,35	19	2,5	14	12,5	0,104	0,175	0,001	0,49	АВВГ-4х2,5	АИР100L4	0,842
H16	4,81	18,35	19	2,5	14	12,5	0,104	0,175	0,001	0,18	АВВГ-4х2,5	АИР100L8	0,74
H17	4,81	18,35	19	2,5	13	12,5	0,104	0,163	0,001	0,17	АВВГ-4х2,5	АИР100L8	0,74
H18	4,81	18,35	19	2,5	12	12,5	0,104	0,150	0,001	0,16	АВВГ-4х2,5	АИР100L8	0,74
H19	15,24	18,35	19	2,5	17	12,5	0,104	0,213	0,002	0,81	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H20	15,24	18,35	19	2,5	18	12,5	0,104	0,225	0,002	0,86	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H21	15,24	18,35	19	2,5	31	12,5	0,104	0,388	0,003	1,48	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H22	15,24	18,35	19	2,5	32	12,5	0,104	0,400	0,003	1,53	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H23	15,24	18,35	19	2,5	16	12,5	0,104	0,200	0,002	0,77	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H24	15,24	18,35	19	2,5	17	12,5	0,104	0,213	0,002	0,81	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H25	15,24	18,35	19	2,5	26	12,5	0,104	0,325	0,003	1,24	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H26	15,24	18,35	19	2,5	27	12,5	0,104	0,338	0,003	1,29	АВВГ-4х2,5	АИР112М4	0,857
H27	57,71	77,28	80	25	20	1,25	0,066	0,025	0,001	0,38	АВВГ-4х25	АИР180S4	0,905
H28	57,71	77,28	80	25	20	1,25	0,066	0,025	0,001	0,38	АВВГ-4х25	АИР180S4	0,905
H29	29,54	32,84	34	6	18	5,21	0,09	0,094	0,002	0,72	АВВГ-4х6	АИР132М2	0,884
H30	29,54	32,84	34	6	18	5,21	0,09	0,094	0,002	0,72	АВВГ-4х6	АИР132М2	0,884
M1	23,39	25,12	26	4	21	7,81	0,095	0,164	0,002	0,85	АВВГ-4х4	АИР132М6	0,87
M2	23,39	25,12	26	4	21	7,81	0,095	0,164	0,002	0,85	АВВГ-4х4	АИР132М6	0,87
M3	23,39	25,12	26	4	19	7,81	0,095	0,148	0,002	0,77	АВВГ-4х4	АИР132М6	0,87
B1	23,39	25,12	26	4	15	7,81	0,095	0,117	0,001	0,61	АВВГ-4х4	АИР112М2	0,87
B2	23,39	25,116	26	4	15	7,81	0,095	0,117	0,001	0,61	АВВГ-4х4	АИР112М2	0,87

Вибір шинопровода

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

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

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

I_{ϕ} - 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.

Вибрати переріз ШМА, який живить ЕП 2-ї категорії надійності цеху. ШМА є продовженням розподільного пристрою НН двох-трансформаторної КТП з номінальною потужністю трансформаторів $S_{ном. Т} = 160$ кВА. Резервування на стороні НН не передбачене ($K_{рез} = 1,4$).

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

$$I_{ном.Т.2} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 379,84 A.$$

З [11] або таблиці Ж.6 додатка Ж [2] вибирається шинопровід типу ШМА4-1250-44-1УЗ. За формулою (4.14)

$$I_{ном.ШМА} = 1250 A \geq I_{\phi} = 1,4 \cdot 379,84 = A.$$

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

					БР 5.6.14.078 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комплектації шаф НКУ використовується високоякісне сучасне електрообладнання кращих світових виробників таких, як Schneider Electric.

5. Розрахунок струмів короткого замикання

Елементи СЕП, які потрапили в короткозамкнутий ланцюг, зазнають термічного й електродинамічного впливу струмів. Якщо величина цього впливу перевищує допустиму, елемент 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 виявляються 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

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

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].

5.1. 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 внутрішньоцехового електропостачання слід виконати достовірний розрахунок струмів КЗ.

Для вибору апаратури і захистів, перевірки селективності їх дії визначають максимальний струм трифазного металевих 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:

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 $I_{n(0)} = I_k^{(3)}$;

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

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

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

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

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

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) $-R_{K2} = 20$ мОм;

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

г) на затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів $- R_{к4} = 30 \text{ мОм}$ [2].

Алгоритм визначення струмів трифазного короткого замикання

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

Вихідні дані взяті з попередніх результатів розрахунків і наведені нижче.

Система: $I_{n(0)} = 6 \text{ кА}$, $U_{\text{НОМ.ВН}} = 6 \text{ кВ}$.

Трансформатор типу ТМГ-250/6/0,4: $S_{\text{НОМ Т}} = 250 \text{ кВА}$; $U_{\text{НОМ.ВН}} = 6 \text{ кВ}$;
 $U_{\text{НОМ.НН}} = 0,4 \text{ кВ}$.

Сучасні автоматичні вимикачі (виробництва «Schneider Electric» Німеччина):

QF1 LZMN3-AE630-I: $I_{\text{НОМ.а}} = 630 \text{ А}$;

QF2 EZC250N EasyPact: $I_{\text{НОМ.а}} = 160 \text{ А}$;

QF3 EZ9F34350 Easy9: $I_{\text{НОМ.а}} = 50 \text{ А}$.

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 400/5;

Кабельні лінії:

Мережа 6 кВ - ААБл-3х35; $I_{кб1} = 120\text{м}$;

Мережа 0,4 кВ - АВВГ-4х120; $I_{кб2} = 63\text{м}$;

Кабель до насосу Н27 - АВВГ-4х25; $I_{кб2} = 20\text{м.}$

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

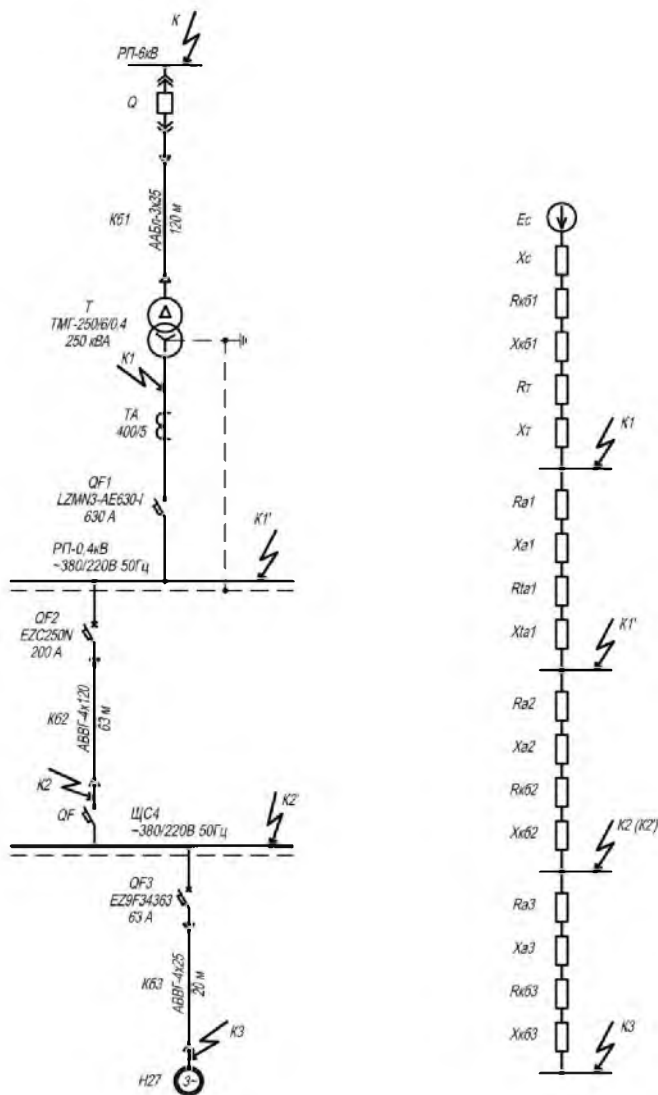


Рисунок 5.1 - Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів трифазного короткого замикання

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

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

1 етап: Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

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

$$X_C = \frac{U_{\text{ном.серНН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.ВН}} \cdot U_{\text{ном.серВН}}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 6300} = 2,44 \text{ мОм}.$$

2) У таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою 6 кВ (ААБл-3х35) питомі опори такі: $r_{\text{п}} = 0,894 \text{ мОм/м}$; $x_{\text{п}} = 0,087 \text{ мОм/м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{\text{кб.1}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб.1}} \frac{U_{\text{ном.серНН}}}{U_{\text{ном.серВН}}} = 0,894 \cdot 120 \frac{400}{6300} = 6,811 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{кб.1}} = x_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб.1}} \frac{U_{\text{ном.серНН}}}{U_{\text{ном.серВН}}} = 0,087 \cdot 120 \frac{400}{6300} = 0,663 \text{ мОм}$$

3) За паспортними даними трансформатора ТМГ-250/6/0,4кВ приймаються втрати КЗ $P_{\text{к.ном}} = 3,7 \text{ кВт}$, напруга КЗ $u_{\text{к}} = 4,5 \%$. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} \cdot U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{ном.Т}}^2} \cdot 10^6 = \frac{3,7 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 9,472 \text{ мОм};$$

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

$$= \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,7}{250} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 27,2 \text{ мОм}$$

4) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF1 (630А) приймається

$$R_{\text{а.1}} = 0,41 \text{ мОм}; X_{\text{а.1}} = 0,13 \text{ мОм}.$$

5) З таблиці Н.2 додатка Н [2] для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 400/5 для класу точності 1 приймається $R_{\text{та1}} = 0,11 \text{ мОм}$; $X_{\text{та1}} = 0,17 \text{ мОм}$.

6) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF2 (160А) приймається

$$R_{\text{а.2}} = 1,3 \text{ мОм}; X_{\text{а.2}} = 0,7 \text{ мОм}.$$

7) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (АВВГ-4х120) з однаковим перерізом питомі опори такі: $r_{\text{п}} = 0,261 \text{ мОм/м}$; $x_{\text{п}}$

										Арк.
										53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.14.1.078 ПЗ					

= 0,0602 мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб.2} = r_n \cdot l_{кб.2} = 0,261 \cdot 63 = 16,443 \text{ мОм};$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0,0602 \cdot 63 = 3,793 \text{ мОм}.$$

8) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF3 приймається

$$R_{a.3} = 7 \text{ мОм}; X_{a.3} = 4,5 \text{ мОм}.$$

9) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (АВВГ-4х25) з однаковим перерізом жил питомі опори такі: $r_{л} = 1,25 \text{ мОм/м}$; $x_{л} = 0,0662 \text{ мОм/м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (4.11) і (4.12)

$$R_{кб.3} = r_n \cdot l_{кб.3} = 1,25 \cdot 20 = 25 \text{ мОм};$$

$$X_{кб.3} = x_n \cdot l_{кб.3} = 0,0662 \cdot 20 = 1,32 \text{ мОм}.$$

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

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

$$R_{\Sigma K1} = R_{кб1} + R_T = 6,811 + 9,472 = 16,283 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{кб1} + X_T = 2,44 + 0,663 + 27,2 = 30,3 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = \sqrt{16,283^2 + 30,3^2} = 34,4 \text{ мОм}$$

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

$$I_{K1(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 34,4} = 6,71 \text{ кА}.$$

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

$$R_{\Sigma K1'} = R_{\Sigma K1} + R_{a1} + R_{ta1} + R_{к1} = 16,283 + 0,41 + 0,11 + 15 = 31,803 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1'} = X_{\Sigma K1} + X_{a1} + X_{ta1} = 30,3 + 0,13 + 0,17 = 30,6 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1'} = \sqrt{31,803^2 + 30,6^2} = 44,34 \text{ мОм}.$$

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.14.1.078 ПЗ				

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

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 44,34} = 5,21 \text{ кА.}$$

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

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к2} = 16,283 + 1,3 + 16,443 + 20 = 54,03 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1'} + X_{a2} + X_{кб2} = 30,64 + 0,7 + 3,79 = 35,14 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{54,03^2 + 35,14^2} = 64,45 \text{ мОм.}$$

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

$$I_{K2(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 64,45} = 3,58 \text{ кА.}$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2'.

Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к3} = 16,283 + 1,3 + 16,443 + 25 = 59,03 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2'} = X_{\Sigma K2} = 35,14 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{R_{\Sigma K2'}^2 + X_{\Sigma K2'}^2} = \sqrt{59,03^2 + 35,14^2} = 68,69 \text{ мОм.}$$

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

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 68,69} = 3,36 \text{ кА.}$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці К3.

Сумарні опори щодо точки К3 визначаються так:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma K3} &= R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{a3} + R_{np} + R_{кб3} = \\ &= 16,283 + 1,3 + 16,443 + 7 + 25 + 30 = 96,03 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{a3} + X_{np} = 35,14 + 4,5 + 1,32 = 40,96 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = \sqrt{96,03^2 + 40,96^2} = 104,4 \text{ мОм.}$$

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

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K3(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 104,4} = 2,21 \text{ кА.}$$

Результати розрахунку струмів трифазних КЗ у початковий момент часу в електричній мережі насосної в розрахункових точках зведені в таблиці 5.1.

5.2. 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 6 кВ, якщо захист у ланцюзі 0,38 кВ нечутливий).

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

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{\Pi T}}, \quad (5.25)$$

де U_ϕ - фазна напруга мережі, В;

$Z_{\Pi T}$ - 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:

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

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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/Y_N), у якій порівняно зі схемою "зірка - зірка з нейтраллю" (Y/Y_N) струм однофазного КЗ на шинах НН (до 1 кВ) у 3 рази більший, що сприяє надійному спрацьовуванню захисних апаратів (автоматів).

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

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

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

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

де $z_{n,пт,i}$ - 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 i -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

										Арк.
										57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.078 ПЗ					

активний і індуктивний опори петлі "фаза-нуль", що містять опори шинопроводів, апаратів і перехідних опорів, починаючи від нейтралі знижувального трансформатора, а також опір дуги.

З урахуванням опору мережі понад 1 кВ (опорів трансформатора і живильної мережі X_c і R_c), перехідних активних опорів контактів і опору дуги фактичне значення струму однофазного КЗ буде меншим, тому в разі необхідності більш точного визначення струму (наприклад, якщо його величина близька до уставок спрацьовування захисту) за будь-якої потужності живильної енергосистеми користуються формулою [21]

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_\Sigma^{(1)}}{3} + Z_{IT}} \quad (5.29)$$

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

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

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

Трансформатор типу ТМГ-250/6, схема з'єднання обмоток трансформатора "трикутник - зірка з нейтраллю" (Δ/Y_n).

Кабельні лінії:

К62: АВВГ-4х120; $l_{к62} = 63$ м;

Кабель до насосу Н27: АВВГ-4х25; $l_{к63} = 20$ м.

Розрахунок. З таблиці Н3 додатка Н [2] для трансформатора з номінальною потужністю 250 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора "трикутник - зірка з нейтраллю" (Δ/Y_n) повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)} = 86,3$ мОм. За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{86,3}{3}} = 7,65 \text{ кА.}$$

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З таблиці Н7 додатка Н [2] повні питомі опори $z_{п.пт}$ ланцюга "фаза - нуль" для чотирижильних кабелів та проводів з алюмінієвими жилами такі:
 $z_{п.пт.кб2} = 0,62 \text{ мОм/м}$; $z_{п.пт.кб3} = 2,96 \text{ мОм/м}$.

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

$$Z_{nm.2} = Z_{nm.кб2};$$

$$Z_{nm.2} = 0,62 \cdot 63 = 39,06 \text{ мОм}.$$

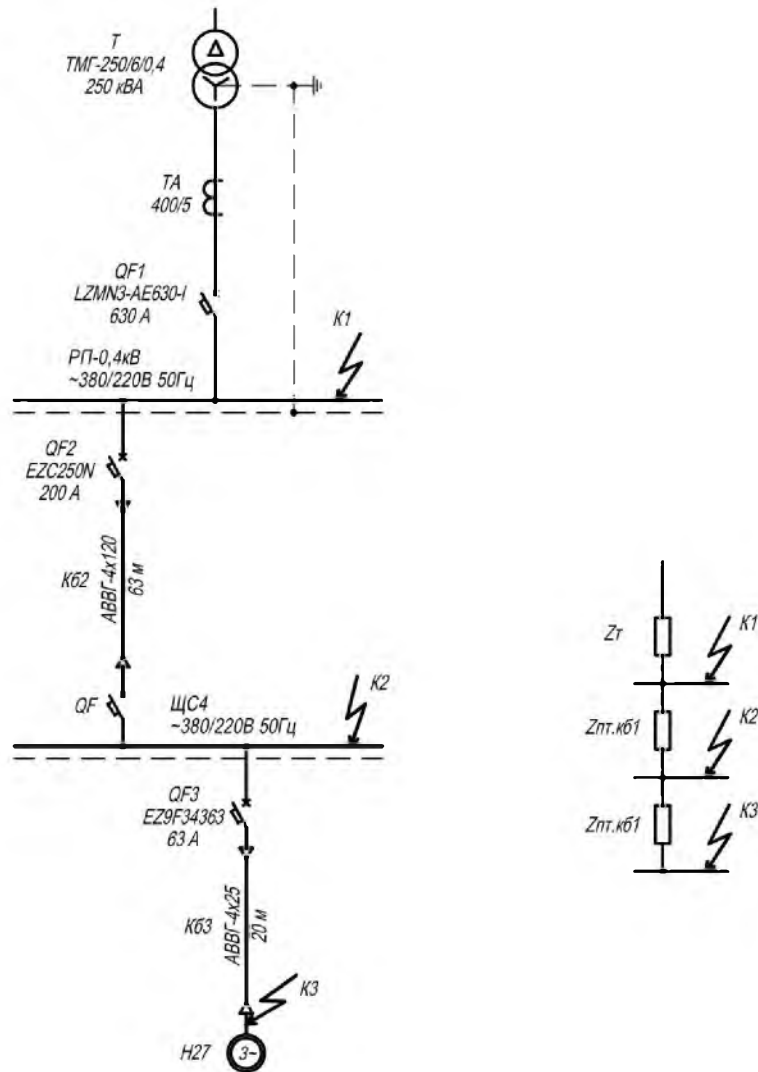


Рисунок 5.2 - Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів однофазного короткого замикання

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

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{86,3}{3} + 39,06} = 3,24 \text{ кА}.$$

Повний опір петлі "фаза - нуль" до точки К3 визначається за формулою:

									Арк.
									59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$Z_{nm.3} = Z_{nm.k62} + Z_{nm.k63};$$

$$Z_{nm.3} = 39,06 + 2,96 \cdot 20 = 98,26 \text{ МОм.}$$

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

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{135}{3} + 98,26} = 1,54 \text{ кА.}$$

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку струмів КЗ у різних точках електричної мережі насосної

	№ ЕП	Струм трифазного КЗ, кА					Струм однофазного КЗ, кА		
		К3	К2'	К2	К1'	К1	К3	К2	К1
ЩС1	H1	0,70	1,26	1,29	5,21	6,71	0,55	4,01	
	H2	0,65					0,48		
	H3	0,61					0,43		
	H4	0,57					0,38		
	H5	0,61					0,43		
	H6	0,65					0,48		
	H7	0,70					0,55		
	H8	0,65					0,48		
	H9	0,61					0,43		
	H10	0,57					0,38		
	H11	0,54					0,35		
	H12	0,51					0,32		
ЩС2	H13	0,73	2,68	2,83	5,21	6,71	0,37	4,20	4,89
	H14	0,79					0,41		
	H15	0,86					0,45		
	H16	0,86					0,45		
	H17	0,90					0,48		
	H18	0,95					0,52		
	M1	0,89					0,48		
	M2	0,89					0,48		
M3	0,95	0,52							
ЩС3	H19	0,77	2,85	3,01	5,21	6,71	0,39	4,53	
	H20	0,74					0,37		
	H21	0,49					0,22		
	H22	0,47					0,22		
	H23	0,80					0,41		
	H24	0,77					0,39		
	H25	0,56					0,26		
	H26	0,54					0,25		

ЩС4	H27	2,21	3,36	3,58			1,54	3,24	
	H28	2,21					1,54		
	H29	1,36					0,72		
	H30	1,36					0,72		
	B1	1,20					0,61		
	B2	1,20					0,61		

6. 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 $U_{ном.е.а}$ 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:

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

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

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

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

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

5) струм електродинамічної стійкості $EА_{д}$

									Арк.
									61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.078 ПЗ				

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (6.3)$$

де i_y - розрахунковий ударний струм;

б) 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_K і t - розрахункові параметри струму КЗ і дійсного часу вимикання КЗ відповідно.

Таким чином, номінальна напруга цих автоматів вибирається як:

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

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

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_\phi, \quad (6.6)$$

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_\phi \quad (6.7)$$

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 $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$

Струм форсованого режиму визначається за формулою:

$$I_\phi = K_{\text{рез}} \cdot I_p, \quad (6.8)$$

де $K_{\text{рез}}$ - коефіцієнт резервування;

I_p - розрахунковий струм (береться залежно від місця знаходження ЕА в схемі електропостачання).

Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{c.n}$ (уставка струму теплового розчеплювача $I_{y.t.p}$) вибирається за умови:

$$I_{c.n} = I_{y.t.p} \geq K \cdot I_p, \quad (6.9)$$

де K - 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.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У формулі (6.9) для автомата вводу QF1 як розрахунковий струм приймається струм форсованого режиму трансформатора I_{ϕ} ; для автомата QF2 - розрахунковий струм другого рівня електропостачання $I_{p,2}$; для автомата QF3 — розрахунковий струм першого рівня електропостачання одного ЕП $I_{p,1}$ (номінальний струм ЕП $I_{ном.ЕП}$ при $k_3 - 1$).

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:

$$I_{c.n} = I_{y.m.p} \geq 1,3 \cdot I_{p.o}, \quad (6.10)$$

де $I_{p.o}$ - розрахунковий струм лінії освітлення, А.

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

$$I_{c.n} = I_{y.m.p} \geq I_{p.o}. \quad (6.11)$$

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 $I_{c.в}$ визначається за формулою:

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

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

У формулі (6.12) більші кратності приймаються для трансформаторів з малою номінальною потужністю ($S_{ном.Т} \leq 400$ 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 $I_{c.в}$ (уставки

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струму електромагнітного розчеплювача $I_{y.e.p}$) більше цих струмів відповідно не менш ніж на 25 %, тому що похибка від розкиду характеристик може досягати до 15 %

$$I_{c.v} = I_{y.e.p} \geq 1,25I_{пик}, \quad (6.13)$$

$$I_{c.v} = I_{y.e.p} \geq 1,25I_{пуск}, \quad (6.14)$$

де $I_{пик}$ 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:

$$I_{c.v} = I_{y.e.p} \geq 1,3I_{ном.ККУ}, \quad (6.15)$$

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

Як комутаційний апарат автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{ном.в.а} \geq I_{n.o} = I_k^{(3)}, \quad (6.16)$$

де $I_{ном.в.а}$ - номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{n.o} = I_k^{(3)}$ - 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_k .

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:

					<i>БР 5.6.14.1.078 ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

та при струмі до 100 А включно:

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

— для розчеплювача уповільненої дії:

$$I_K^{(1)} \geq 3I_{c.в} \quad (6.19)$$

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

6.1. Вибір автомата живильної мережі

Вибір автомата вводу QF1: $S_{ном.Т} = 250кВА$. Вибираємо автомат LZMN3-AE630-I струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

За формулою (6.5) номінальна напруга автомата вибирається як:

$$660 \geq 380В.$$

За формулою (4.15) визначимо номінальний вторинний струм трансформатора:

$$I_{ном.Т2} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 379,84А.$$

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

$$I_{\phi} = 1,4 \cdot 379,84 = 531,76 А.$$

					<i>БР 5.6.141.078 ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді за формулою (6.6) номінальний струм автомата LZMN3-AE630-I 630A:

$$I_{ном.а} = 630 > I_{\phi} = 531,76 \text{ A.}$$

Для автомату LZMN3-AE630-I 630A номінальний струм теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ 630 А. Тоді за формулою (6.7) номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{ном.т.р} = 630 \geq I_{\phi} = 531,76 \text{ A.}$$

Для автомату LZMN3-AE630-I 630A 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 0,5-1. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = I_{ном.т.р} = 630 \text{ A.}$$

За формулою (6.9)

$$I_{у.т.р} = 630 \text{ A} > 1,1 \cdot 363,49 = 399,84 \text{ A.}$$

Для автомату LZMN3-AE630-I 630A у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічки $I_{с.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р} / I_{ном.т.р}$) становить 2-8. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача)

$$I_{с.е} = I_{у.е.р} = 8 \cdot I_{ном.т.р} = 8 \cdot 630 = 5040 \text{ A.}$$

За формулою (6.12)

$$I_{с.е} = 5040 \text{ A} > 6 \cdot 363,49 = 2181 \text{ A.}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу береться струм трифазного КЗ у точці К1 (без урахування R_k) з таблиці 5.1 $I_{К1(0)} = 7,65$ кА. Для автоматів LZMN3-AE630-I 630A вимикаюча гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а} = 630$ А становить $I_{ном.в.а} = 50$ кА. За формулою (6.16)

$$50 \text{ кА} > 7,65 \text{ кА.}$$

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Остаточно вибирається автомат LZMN3-AE630-I 630A з такими параметрами:

$$U_{\text{ном.а}} = 415\text{В}; I_{\text{ном.а}} = 630\text{А}; I_{\text{ном.т.р}} = 630\text{А}; I_{\text{у.т.р}} = 630\text{А}; I_{\text{у.е}} = 5040\text{ А}; I_{\text{ном.в.а}} = 50\text{кА}.$$

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 QF1

Умови вибору	Каталожні дані автомата LZMN3-AE630-I 630A	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 415\text{В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380\text{В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = 630\text{А}$	$I_{\phi} = K_{\text{рез}} \cdot I_{\text{ном.т}} =$ $= 379,84 \cdot 1,4$ $= 531,76\text{А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.р}} = 630\text{А}$	$I_{\phi} = K_{\text{рез}} \cdot I_{\text{ном.т}} =$ $= 379,84 \cdot 1,4$ $= 531,76\text{А}$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 630\text{А}$	$I_{\text{ном.р}} = 630\text{А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{с.л}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\phi}$	$I_{\text{у.т.р}} = 1 \cdot I_{\text{ном.т.р}} =$ $= 1 \cdot 630 = 630\text{А}$	$1,1I_{\phi} = 1,1 \cdot 363,49 =$ $= 399,84\text{А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{\text{с.в}} \geq (6 - 10)I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{с.е}} = I_{\text{у.е.р}} = 8 \cdot I_{\text{ном.т.р}} =$ $= 8 \cdot 630 = 5040\text{А}$	$I_{\text{с.е}} = 6I_{\text{ном.т}} =$ $= 6 \cdot 363,49 = 2181\text{А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 50\text{кВ}$	$I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)} = 7,65\text{кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25I_{\text{с.в}}$	$1,25I_{\text{с.в}} =$ $= 1,25 \cdot 5,04 = 6,3\text{кА}$	$I_{\text{к}}^{(1)} = 7,65\text{кА}$

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

					БР 5.6.14.1.078 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальні параметри автоматичних вимикачів, що встановлюються в низьковольтному комплектному пристрої «Дніпро» - вибираються аналогічні, але на один стандартний ступінь номінального струму вище – для забезпечення селективності захисту. Параметри цих вимикачів приведені на схемі в додатку В.

Таблиця 6.2 - Результати вибору ввідних автоматів в ЩС та ШО

Лінія живлення	Тип автомата	Uном, В	Iном, А	Iном.т.р, А	Iу.т.р, А	Iу.в.р, А	Iном.в.а, кА
ШО	Easy9 EZ9F34350	400	50	50	50	250	4,5
ЩС1	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	160	4,5
ЩС2	Easypact EZC100N	690	100	80	80	640	9
ЩС3	Easypact EZC100N	690	100	80	80	640	9
ЩС4	Easypact EZC250N	690	250	160	160	1600	12,5

Однолінійна схема живлення обладнання цеху з позначенням ТП і лінійних автоматів наведена у додатку В. У додатку Г наведена принципова схема розподільчої мережі від КТП до ЕП цеху.

Таблиця 6.3 - Результати вибору автоматів до ЕП

Лінія живлення	Тип автомата	Uном, В	Iном, А	Iном.т.р, А	Iy.т.р, А	Iy.в.р, А	Iном.в.а, кА
H1	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	50	4,5
H2	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H3	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H4	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H5	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H6	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H7	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H8	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H9	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H10	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H11	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H12	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H13	Easy9 EZ9F34316	400	16	16	16	160	4,5
H14	Easy9 EZ9F34316	400	16	16	16	160	4,5
H15	Easy9 EZ9F34316	400	16	16	16	160	4,5
H16	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H17	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H18	Easy9 EZ9F34310	400	10	10	10	100	4,5
H19	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H20	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H21	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H22	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H23	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H24	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H25	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H26	Easy9 EZ9F34320	400	20	20	20	200	4,5
H27	Easy9 EZ9F34363	400	63	63	63	630	4,5
H28	Easy9 EZ9F34363	400	63	63	63	630	4,5
H29	Easy9 EZ9F34340	400	40	40	40	400	4,5
H30	Easy9 EZ9F34340	400	40	40	40	400	4,5
M1	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	320	4,5
M2	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	320	4,5
M3	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	320	4,5
B1	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	320	4,5
B2	Easy9 EZ9F34332	400	32	32	32	320	4,5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.6.14.1.078 ПЗ

Арк.

69

Висновок

Результатом виконання даної роботи є розрахунок параметрів розподільчої електричної мережі насосної станції з градирнею.

Розраховано навантаження на трьох рівнях системи електропостачання, що, в свою чергу, дозволило провести вибір та перевірку трансформаторів для вбудованої ТП насосної – обрано два трансформатори типу ТМГ-250/6/0,4, що виготовляються з гофрованим баком без розширювального бачка для масляної системи охолодження. В якості РП-0,4 кВ обрано комплектний низьковольтний пристрій вітчизняного виробництва.

Проведено вибір кабелів. Для живлення прибудованої ТП насосної від розподільчого пристрою обрано кабель типу ААБл-6 3х35 – силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами, з паперовою просоченою ізоляцією, в алюмінієвій оболонці, броньований двома сталевими стрічками.

Для розподільчої мережі обрано тип кабелю АВВГ-1,0 – силовий з алюмінієвими струмопровідними жилами з ПВХ ізоляцією в зовнішній загальній оболонці з ПВХ пластикату. Перерізи жил окремих ліній відповідають розрахованим груповим навантаженням (для кабелів від ТП до ЩС) та одиничним навантаженням окремих споживачів (для кабелів від ЩС до ЕП).

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

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

В якості автоматичних вимикачів вибрано комутаційні апарати серій EasyPact та Easy9 німецького виробника «Schneider Electric», що відрізняються високою якістю та надійністю роботи.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

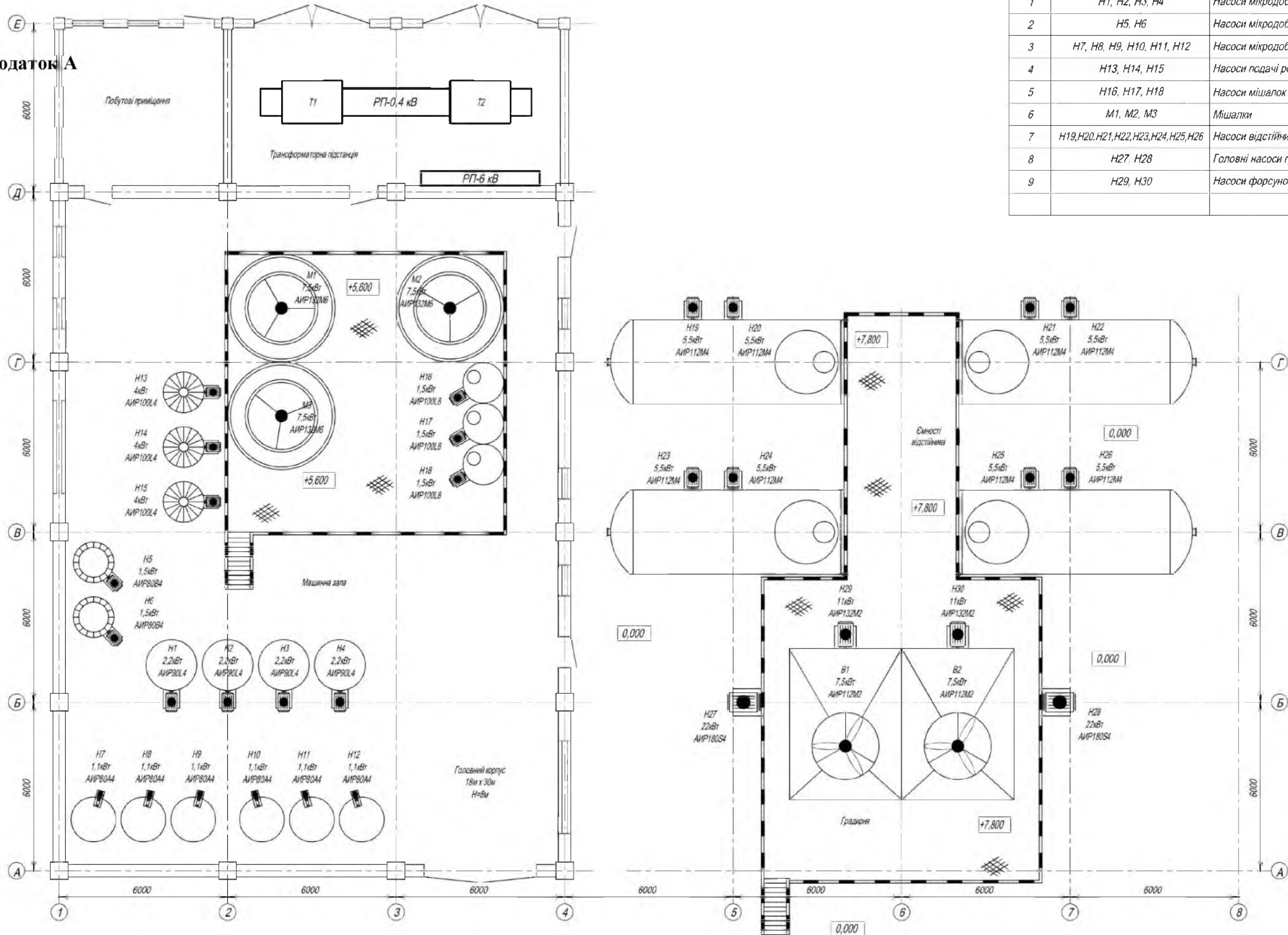
1. Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт / Укладачі: М.А. Никифоров, І.Л. Лебединський.– Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 74 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.-280 с.
3. Дирацу В.С и др. Электроснабжение промышленных предприятий. - К.: Вища шк., 1974. - 280 с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2005. - 324 с
6. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 208 с.
7. Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок: Учеб. для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 424 с.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособ. для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
9. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.: Справочник электромонтажника / Под ред. А.Д. Смирнова и др. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 192 с.
10. Лигерман И.И. Конструирование электроустановок промпредприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 168 с.
11. Правила устройства электроустановок.-Х.: Изд-во «Форт», 2009.-704 с.

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1984. - 472 с.
13. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92 / Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. - 1992. - № 7-8. - С. 4-28.
- 14.ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ.
15. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».
- 16.Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Кнорринг Г.М, И.М. Фадин, В.Н.Сидоров – 2-е изд, перераб и доп – СПб.: Энергоатомизд, Санкт- Петербургское отд-ние 1992. - 448 с.
17. Офіційний сайт Інтернет-магазину «Легор» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: <https://www.avtomats.com.ua/3012-io-500.html>
18. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: Учеб. Пособие.-Мн.: НПООО «ПИОН», 2001.-292 с.
- 19.Вільна енциклопедія «Вікіпедія» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>
- 20.Василега П.О. Електропостачання – Суми: Вид-во СумДУ, 2019. - 521 с

					БР 5.6.141.078 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

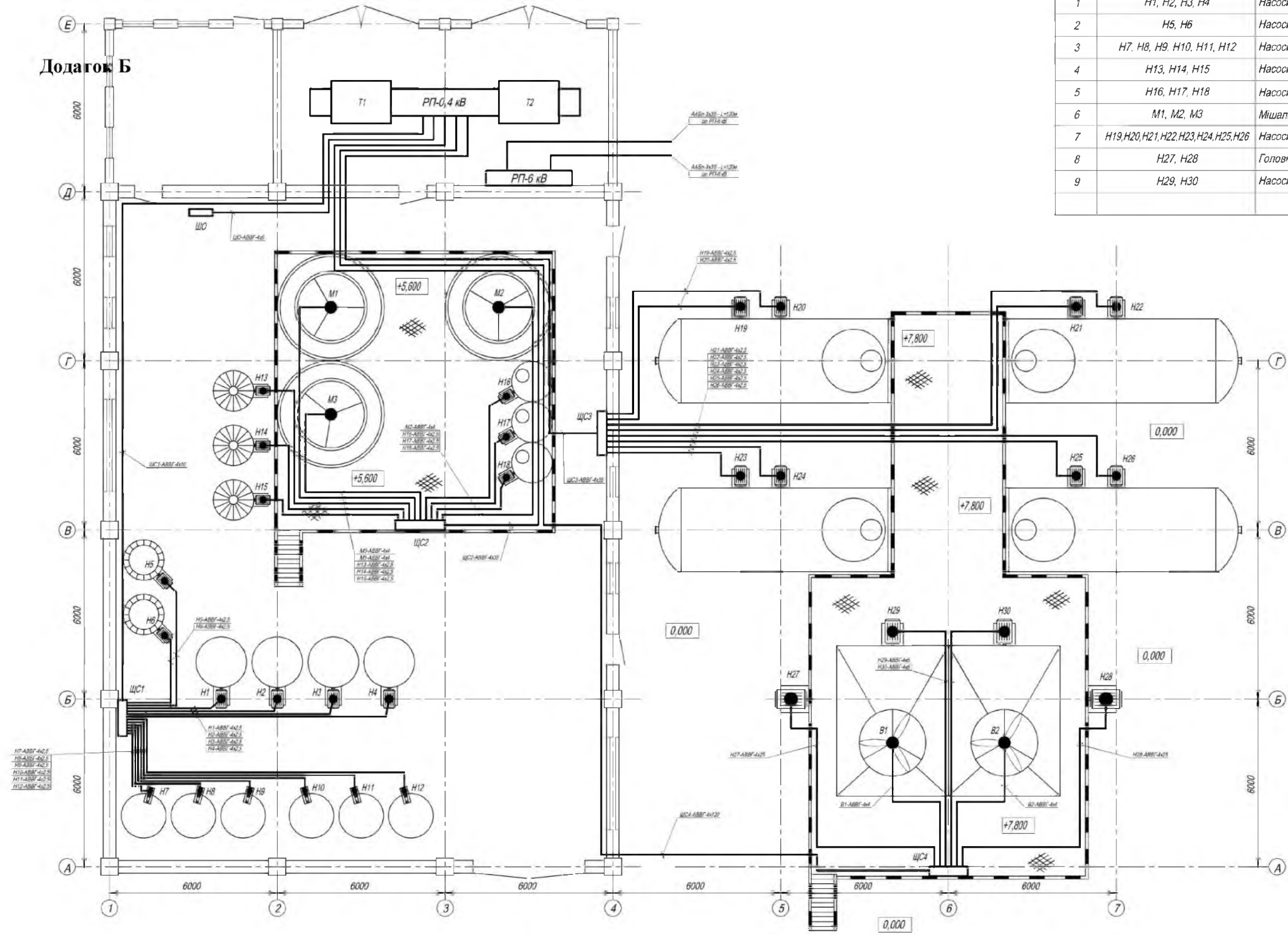


Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Маса од. к.	Прим.
1	H1, H2, H3, H4	Насоси мікродобавок	4		2,2 кВт
2	H5, H6	Насоси мікродобавок	2		1,5 кВт
3	H7, H8, H9, H10, H11, H12	Насоси мікродобавок	6		1,1 кВт
4	H13, H14, H15	Насоси подачі розчину	3		2,2 кВт
5	H16, H17, H18	Насоси мішалок	3		1,5 кВт
6	M1, M2, M3	Мішалки	3		7,5 кВт
7	H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26	Насоси відстійника	8		5,5 кВт
8	H27, H28	Головні насоси градирні	2		22 кВт
9	H29, H30	Насоси форсунок	2		11 кВт

Показано
 Зам. № 04
 Підпис: Дата
 Інв. № 04

БР 5.6.141.078 ПЗ					
Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та розрахунок головних її параметрів					
Зм	Кільк	Арх	Модок	Підпис	Дата
Розробив	Григор'єв				
Керівник	Василега				
Консульт.					
Н.Контр.					
Затверд.	Лебедінський				
Додаток А				Стадія	Архив
План насосної станції				БР	Архив
СумДУ, ЕТЗ-61с					

Додаток Б



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Маса од., кг	Прим.
1	H1, H2, H3, H4	Насоси мікродобавок	4		2,2 кВт
2	H5, H6	Насоси мікродобавок	2		1,5 кВт
3	H7, H8, H9, H10, H11, H12	Насоси мікродобавок	6		1,1 кВт
4	H13, H14, H15	Насоси подачі розчину	3		2,2 кВт
5	H16, H17, H18	Насоси мішалок	3		1,5 кВт
6	M1, M2, M3	Мішалки	3		7,5 кВт
7	H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26	Насоси відстійника	8		5,5 кВт
8	H27, H28	Головні насоси градирні	2		22 кВт
9	H29, H30	Насоси форсунок	2		11 кВт

Головний

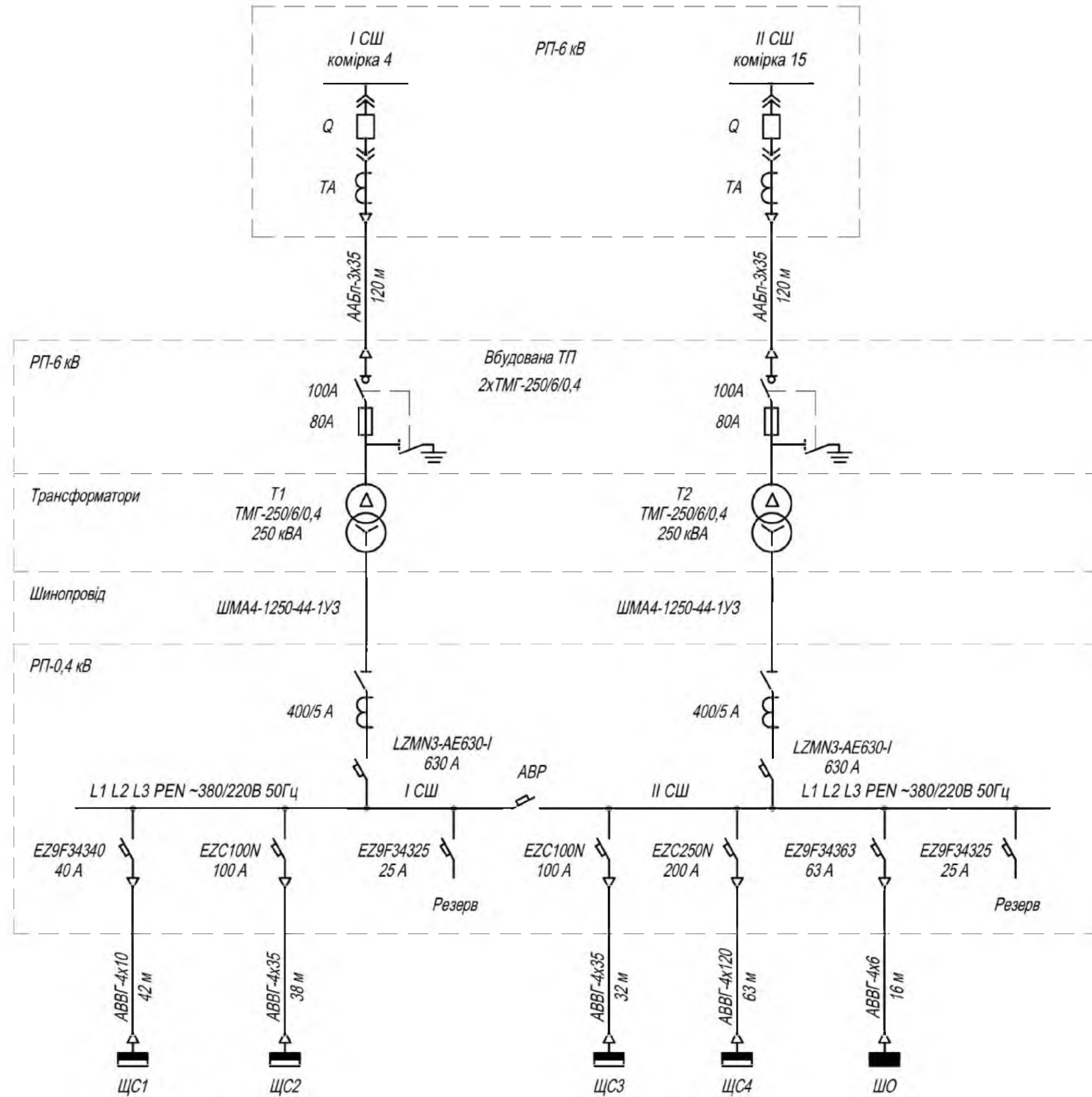
Зам. №

Підпис і дата

Ім'я № од.

БР 5.6.141.078 ПЗ					
Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та розрахунок головних її параметрів					
Зм.	Кільк.	Арх.	Нижок.	Підпж.	Дата
Розробив	Григор'єв				
Керівник	Василєга				
Консульт.					
Н.Контр.					
Затверд.	Лебедюкський				
Додаток Б				Стадія	Архив
План системи електропостачання				БР	Архив
СумДУ, ЕТЗ-61с					

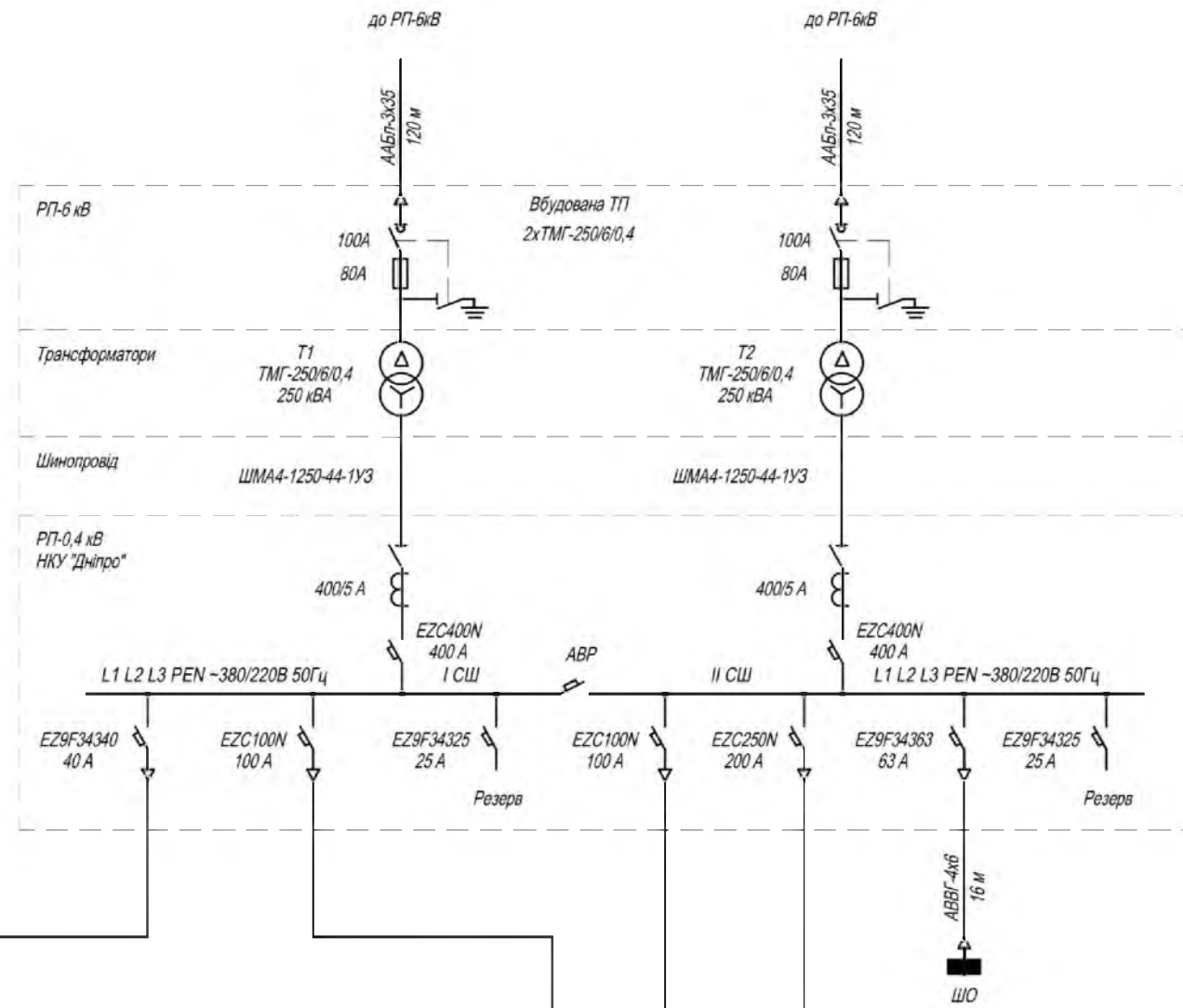
Додаток В



Головний	
Зам. №	
Листів	
№	

						БР 5.6.141.078 ПЗ				
						Аналіз роботи системи електропостачання насосної станції та розрахунок головних її параметрів				
Зм	Кільк	Арк	Вішок	Підпис	Дата	Додаток В		Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Григор'єв					Схема однолінійна мережі живлення		БР		
Керівник	Василега							СумДУ, ЕТЗ-61с		
Консульт.										
Н.Контр.										
Затверд.	Лебедінський									

Додаток Г



Заказ на проектування		Виконавець		Об'єкт		Місце		Дата	
№	кв.	№	кв.	№	кв.	№	кв.	№	кв.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

БП 5.6.141.078 ПЗ					
Аналіз роботи системи електропостачання навантаженої станції та розрахунок головних її параметрів					
№	кв.	Арх.	Маск.	Підпис.	Дата
Розробив	Григор'єв				
Керівник	Василенко				
Консульт.					
Н.Контр.					
Затверд.	Ліберман				
Додаток Г				Станція	Архив
Схема однолінійна розподільчої мережі				БП	
				СумДУ, ЕТЗ-61с	