

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. і.С. Гурого  
Кафедра Електропостачання і електромедичного

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

(підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та електротехнології»

на тему: Розробка СЕП компресорної станції Воловець та розробка  
заходів із збільшення терміну експлуатації контакторів індуктив

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕП-4-3

Міжук Давид Степанович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

[Підпис]  
(підпис)

Керівник Семко Дмитро Михайлович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

[Підпис]  
(підпис)

Консультанти Сірик А.О.  
(прізвище та ініціали)

[Підпис]  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент Крищенко А.І.  
(прізвище та ініціали)

[Підпис]  
(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень із праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Здобувач [Підпис]  
(підпис)

Київ - 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІНІТІ ім. акад. І. С. Гучого  
Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту  
Освітній ступінь Бакалавр  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка  
(код і назва)  
Освітньо-професійна програма Електротехніка та електротехнології  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Шчук Федор Степанович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка СЕП компресорних станцій Волвець та розробка заходів із збільшення терміну експлуатації котла котлів і пускатрів

керівник роботи Семко Дмитро Михайлович К.Т.Н. 90ц  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи 31 травня 2021 р

3. Вихідні дані до роботи теплота підприємства, потужність споживачів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристика підприємства, побудова картogram, вибір систем нагріву, розрахунок розподільчої мережі, вибір апаратури, фреймшот записки

5. Перелік графічного матеріалу

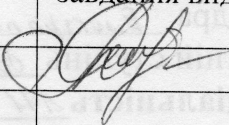
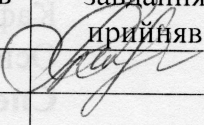
Теплота підприємства;

Схема електропостачання;

Схема освітлення;

Специфікація;

### 6. Консультанти розділів роботи

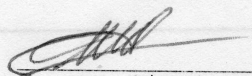
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОЛР	Доц Вірик А.О.		

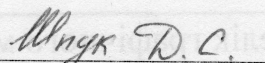
7. Дата видачі завдання 15.04.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

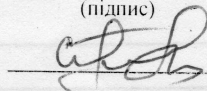
№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства	02.04 - 04.04	
2	Розрахунок електричних навантажень	05.04 - 07.04	
3	Побудова картосхеми	08.04 - 11.04	
4	Вибір потужності трансформаторів	12.04 - 14.04	
5	Вибір систем напруг	15.04 - 16.04	
6	Вибір схеми електропостачання	17.04 - 19.04	
7	Розрахунок розподільчих мереж	20.04 - 22.04	
8	Розрахунок струмів ВЗ	23.04 - 25.04	
9	Вибір апаратури	26.04 - 28.04	
10	Робочі заходи	29.04 - 30.04	
11	Вибір операційної струми	01.05 - 05.05	
12	Компенсація реактивної потужності	07.05 - 11.05	
13	Розрахунок силових мереж	12.05 - 15.05	
14	Індивідуальне завдання	16.05 - 19.05	
15	Охорона праці	20.05 - 24.05	

Здобувач

  
(підпис)

  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Семко А.О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Шпук Д.С. Розробка СЕП компресорної станції Воловець. Аналіз умов експлуатації контакторів і пускачів та рекомендації по збільшенню строку їх служби.

Національний Університет Харчових Технологій Київ 2021

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

У дипломній роботі розглянуто питання та розв'язані актуальні задачі в розробці системи електропостачання компресорної станції, а саме розкриті такі теми: розрахунок електричних навантажень цехових електроспоживачів; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; побудова графіків електричних навантажень; розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в низьковольтних мережах; вибір кількості та потужності трансформатора та місця розташування підстанцій; вибір схеми та розрахунок цехової мережі; розрахунок стумів короткого замикання; розрахунок релейного захисту та автоматики; обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання; організаційні та технічні заходи з охорони праці.

Окремим розділом проаналізовано умови використання та експлуатації контакторів та електроіагнітних пускачів, метою якого є вибір оптимальних варіантів схеми, параметрів електромережі і її елементів, що дозволяють забезпечити необхідну надійність електроживлення та безперебійної роботи компресорної станції .

**Ключові слова : компресорна станція, електричні споживачі, релейний захист, реактивна потужність, електромагнітні пускачі.**

## ANNOTATION

Shpuk D. S. Development of SEP compressor station Volovets. Analysis of operating conditions of contactors and launchers and recommendations for increasing their service life.

National University of Food Technology Kyiv 2021

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

The thesis considers the issues and solves the current problems in the development of the power supply system of the pumping station and methods of using renewable energy sources, namely the following topics: calculation of electrical loads of shop consumers; selection of voltage and electrical circuits of external and internal power supply; construction of schedules of electric loadings; calculation of reactive power balance and selection of compensating devices in low-voltage networks; selection of the number and power of the transformer and location of transformer substations; selection of the scheme and calculation of the shop network; calculation of short-circuit stumps; calculation of relay protection and automation; selection of complex systems of accounting and control of electricity consumption, multifunctional electronic meters; quality of electric energy in the power supply system; selection of the scheme and calculation of the chain; calculation of short-circuit stumps; calculation of relay protection and automation; substantiation of the decision on the placement of electrical equipment; organizational and technical measures on labor protection.

A separate section analyzed the conditions for the use and operation of contactors and electromagnetic starters, the purpose of which is to choose the best options for the scheme, power supply parameters and its elements, which allow to ensure the necessary reliability of power supply and uninterrupted operation of the compressor station.

**Keywords : compressor station, electrical consumers, relay protection, reactive power, electromagnetic starters.**

## ЗМІСТ

1. Характеристика підприємства	6
2. Розрахунок електричних навантажень насосної станції	8
3. Побудова картограми навантаження насосної станції	12
4. Вибір потужності підстанції для насосної станції	14
5. Вибір системи напруг, числа і потужності та характеристик елементів зв'язку	16
6. Вибір схеми електропостачання об'єктів споживання компресорної станції	17
7. Розрахунок розподільчої мережі та мережі живлення компресорної станції «Воловець	19
8. Розрахунок струмів короткого замикання в мережах 10 кВ та 0,4 кВ	23
9. Вибір апаратури в мережах 10 кВ	36
10. Релейний захист і автоматика	52
11. Вибір оперативного струму для елементів управління та автоматики	59
12. Компенсація реактивної потужності	61
13. РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ НА 0,4 КВ РЕМОНТНОГО БЛОКУ	63
14. Розрахунок освітлювальних навантажень	74
15. Список використаної літератури	77

## Характеристика підприємства

Компресорна станція «Воловець»

**Компресорна станція (КС)**— станція для отримання стиснутого повітря або іншого газу, до прикладу природного газу.

У газовій промисловості — використовується для збільшення енергії газу і перекачування його газопроводом.

Основними частинами компресорних станцій і компресорних агрегатів є накачувачі з приводами і обв'язкою, фільтруючі пристрої, охолоджувачі, пиловловлювачі, вузли редукування, агрегат попередньої підготовки палива та газу, вузли відключення і автоматизовані крани, відсіки запуску і прийому поршнів, маслогосподарство, резервуарний парк, контрольно-вимірвальний пункт, експлуатаційний блок, енергопідстанції, очисні споруди та виробничо-диспетчерський пункт.

- основні блоки КС:
- блок очистки і підготовки газу, що встановлюється на вході в КС;
- газоперекачувальні агрегати (ГПА), в яких відбувається збільшення тиску газу до величин, які визначаються міцністю труб і устаткування;
- блок охолодження газу;

Існує два види компресорних станцій:

- компресорні станції які, обладнані газомоторними поршневыми компресорами;
- компресорні станції які, обладнані відцентровими нагнітачами з приводом від газотурбінних двигунів або електродвигунів;

Компресорні станції з поршневыми газоперекачувальними агрегатами (ГПА) забезпечують високий ступінь стиснення газу завдяки чому їх широко застосовують на станціях підземного зберігання газу (СПЗГ).

Компресорні станції з газотурбінним приводом завдяки більшій продуктивності перекачування газу та вищого коефіцієнту корисної дії встановлені на більшості компресорних станцій .

Електроенергетична система (ЕС), нашої держави представляє собою унікальну технічну систему з багатоступінчатою структурою оперативно-технічного керування, заходи вищого рівня якого направлені на забезпечення вимог та потреб енергетичної безпеки нашої держави. ЕС забезпечує вироблення електроенергії з енергоносіїв та її передачу до споживачів. Оперативне диспетчерське керування, скероване на підтримання балансу між виробленням та споживанням електричної енергії, а також здійснення контролю за міждержавними обмінами енергії виконує Національна енергетична компанія України.

Україна має досить потужну енергетичну базу. До 2021 року загальна потужність електростанцій електроенергетичної системи склала близько 51 000 000 кВт.

Вдосконалення та місцезнаходження станцій можна охарактеризувати рядом особливостей, які залишили свій відбиток на формування електричних мереж України в цілому.

Проблемним питання залишається раціональне розподілення електричної енергії на підприємствах, які на сьогодні є одними із основних споживачів електричної енергії в нашій державі.

Зазначені завдання з часом ускладнюються у зв'язку із зростаючими вимогами до якості електроенергії та до надійності електропостачання, особливо на підприємствах з високими ступенями автоматизації.

Для ефективного функціонування підприємства, схема електропостачання має забезпечувати належний рівень надійності та безпеки. Розвиток приватного підприємництва припускає використання нових підходів, у створенні, розподілу і обліку електроенергії. Зокрема це теж стосується наявності кількох підприємств біля однієї виробничої зони (ділянки), що належать різним власникам.

## 2. Розрахунок електричних навантажень насосної станції

Електричні навантаження підприємства визначаються для здійснення вибору та перевірки провідників та трансформаторів, а також для здійснення розрахунку відхилень і коливань напруги, вибору захисних елементів та компенсуючих пристроїв.

Основною метою даного розрахунку є визначення розрахункової потужності підприємства.

Алгоритм розрахунку наводиться нижче.

Для прикладу розрахуємо навантаження ремонтного блоку:

Дані для розрахунку:

- кількість електроприймачів  $n = 32$ ;
- встановлена потужність усіх електроприймачів  $P_{\text{ном}} = 150$  кВт;
- коефіцієнт використання  $K_B = 0,6$  [1];
- коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,7$  [1].

Визначаємо коефіцієнт  $m$ :

$$m = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{макс}}}{P_{\text{ном}}^{\text{мін}}} = \frac{16,2}{0,6} = 27$$

Середня потужність за максимальну завантажену зміну:

$$P_{\text{СМ}} = K_B \cdot P_{\text{ном}} = 0,6 \cdot 150 = 90 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot \text{tg } \varphi = 90 \cdot 1,02 = 91,8 \text{ кВАр}.$$

Оскільки  $m > 3$  та  $K_B > 0,2$ , то ефективна кількість електроприймачів :

$$n_e = \frac{2 \sum P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}}^{\text{макс}}} = \frac{2 \cdot 150}{16,2} = 18,5$$

Залежно від  $n_e$  та  $K_B$  знаходимо коефіцієнт максимуму [1]:

$$K_M = 1,16$$

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM} = 1,16 \cdot 90 = 104,4 \text{ кВт};$$

так як  $n_e = 18,5 > 10$ , то реактивна складова визначається так:

$$Q_p = Q_{CM} = 91,8 \text{ кВАр.}$$

Аналогічно розраховується навантаження для інших блоків та приміщень насосної станції та результати заносимо у (табл. 2.1)

Сумарна потужність обладнання насосної станції:

$$P_{\Sigma \text{номНН}} = \sum_{i=1}^{14} P_{\text{ном}i}$$

$$P_{\Sigma \text{ном}} = 2540 + 3811 + 150 + 93 + 80 + 65 + 52 + 63 + 67 + 13 + 10 = 6944 \text{ кВт.}$$

Визначаємо сумарний коефіцієнт  $m$ :

$$m = \frac{P_{\Sigma \text{ном}}^{\text{макс}}}{P_{\Sigma \text{ном}}^{\text{ср}}} = \frac{16,2}{0,6} = 27$$

Сумарна середня потужність за максимальну завантажену зміну:

$$P_{\Sigma \text{срНН}} = \sum_{i=1}^{14} P_{\text{ср}i}$$

$$P_{\Sigma \text{ср}} = 1554,4 + 2286,6 + 90 + 55,8 + 48 + 39 + 31,2 + 37,8 + 40,2 + 7,8 + 51 = 4211,4 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\Sigma \text{срНН}} = \sum_{i=1}^{14} Q_{\text{ср}i}$$

$$Q_{\Sigma \text{ср}} = 1554,4 + 2332 + 91,8 + 56,9 + 48,9 + 39,78 + 31,8 + 38,5 + 41 + 7,95 + 52 = 4295 \text{ кВАр.}$$

Сумарна розрахункова потужність:

$$P_{p\text{НН}} = \sum_{i=1}^{14} P_{pi}$$

$$P_{\Sigma p} = 1661,2 + 2458,1 + 104,4 + 64,7 + 55,2 + 45,24 + 35,88 + 42,7 + 48,24 + 10,99 + 69,87 = 4596,5$$

$$Q_{p\text{НН}} = \sum_{i=1}^{14} Q_{pi}$$

$$Q_{\Sigma p} = 1554,4 + 2286,6 + 90 + 55,8 + 48 + 39 + 31,2 + 37,8 + 40,2 + 8,7 + 57,2 = 4248,9 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність підприємства:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{осе}})^2 + Q_p^2}$$

$$S_p = \sqrt{(4569,5 + 400,18)^2 + 4248,9^2} = 6558,9 \text{ кВА}$$

Таблиця 2.1.

№ п/п	Найменування	Км.	К-ТЬ ЕС	$P_{\text{ном осв.}}$	$P_{\text{ном (усіх)}}$	$P_{\text{(ном) мах}}$	$P_{\text{(ном) мін}}$	m	Кв	$\cos \phi$	$\text{tg}\phi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$n_e$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$
1	Корпус А та Б	1,09	51	125	2540	75	1	75	0,6	0,7	1,02	1524	1554,4	67,7	1661,2	1554,4	2367,8
2	Установка охолодження газу	1,075	53	17,8	3811	80	3	26,6	0,6	0,7	1,02	2286,6	2332	95,2	2458,1	2286,6	3370,25
3	Ремонтний блок	1,16	32	62,5	150	16,2	0,6	27	0,6	0,7	1,02	90	91,8	18,5	104,4	91,8	189,61
4	Гараж	1,16	10	8,9	93	10	0,5	20	0,6	0,7	1,02	55,8	56,9	18,6	64,7	55,8	92,36
5	Сховище	1,15	20	5,34	80	8	1	8	0,6	0,7	1,02	48	48,9	20	55,2	48	77,25
6	Склад оливи	1,16	21	1,78	65	8	2	4	0,6	0,7	1,02	39	39,78	16,2	45,24	39	61
7	Котельня	1,15	12	3,56	52	5	1	5	0,6	0,7	1,02	31,2	31,8	20,8	35,88	31,2	50,2
8	Адмінбудинок	1,13	17	89,2	63	4	1	4	0,6	0,7	1,02	37,8	38,5	31,5	42,7	37,8	137,2
9	Мотопомпа	1,2	9	0,5	67	9	2	4,5	0,6	0,7	1,02	40,2	41	14,8	48,24	40,2	63,17
10	Автоматична газорозподільна станція	1,41	5	0,6	13	5	1	5	0,6	0,7	1,02	7,8	7,95	5,2	10,99	8,7	14,49
11	Установка очистки газу	1,37	4	85	10	3	1	3	0,6	0,7	1,02	51	52	6,6	69,87	57,2	165,09
Разом:		—	234	400,18	6944	—	—	—	0,6	0,7	1,02	4211,4	4295	—	4596,5	4248,9	6558,9

### 3. Побудова картограми навантаження насосної станції

На генеральний план насосної станції наносимо картограму навантажень. Кола на картограмі навантажень відповідають в певному масштабі розрахунковому навантаженню. Площі кола пропорційні навантаженням, а центри збігаються з центрами навантажень по споживачам.

Радіус кола  $i$ -го цеха можна визначити за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma i}}{\pi m}},$$

де  $P_{p\Sigma i}$  - потужність  $i$ -го цеха;  $m$  – масштаб площі кола, який вибирається з міркувань наочності картограми.

Кола поділяються на сектори, площі яких у певному масштабі відповідають певному типу навантажень:

- a) розрахункове навантаження електроприймачів з  $U_{\text{ном}} \leq 1000$  В;
- b) розрахункове освітлювальне навантаження;
- c) розрахункове навантаження електроприймачів з  $U_{\text{ном}} > 1000$  В.

Кут, що обмежує сектор освітлювального навантаження:

$$\alpha^o = \frac{P_{p.O}}{P_{p\Sigma}} \cdot 360^o.$$

Кут, що обмежує сектор високовольтне навантаження:

$$\alpha^B = \frac{P_{p.B}}{P_{p\Sigma}} \cdot 360^o.$$

Для прядильного відділення:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma i}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1102,27}{\pi \cdot 2}} = 13 \text{ мм};$$

$$\alpha^o = \frac{P_{p.O}}{P_{p\Sigma}} \cdot 360^o = \frac{41,472}{1102,27} \cdot 360^o = 14^o,$$

Центри навантажень усіх приміщень визначаємо графічно. Аналогічно ведеться розрахунок для інших об'єктів. Результати розрахунків заносимо в табл. 3.1

Таблиця 3.1

№ п/п	Найменування	$P_{\text{осв. Вт/м}^2}$	$F, \text{ м}^2$	К-ть Пов.	$P_{\text{ном.}, \text{ кВт}}$	Кпоп.	$P_{\text{осв.}, \text{ кВт}}$	$P_{\text{роз.}, \text{ кВт}}$	$P_{\Sigma \text{роз.}, \text{ кВт}}$	$R, \text{ мм}$	Кут, град.
1	Корпус А та Б	10	7000	1	2540	1	125	1661,2	1786,2	6,7	25,1
2	Установка охолодження газу	10	1000	1	3811	0.9	17,8	2458,1	2475,9	7,9	2,5
3	Ремонтний блок	10	3200	1	150	0.9	62,5	104,4	166,9	2	134,8
4	Гараж	10	500	1	93	0.9	8,9	64,7	73,6	1,36	43,5
5	Сховище	10	300	1	80	0.9	5,34	55,2	60,5	1,23	31,77
6	Склад оливи	10	100	1	65	0.9	1,78	45,24	47,02	1	13,6
7	Котельня	10	200	1	52	0.9	3,56	35,88	39,44	0,99	32,4
8	Адмінбудинок	10	4300	1	63	0.9	89,2	42,7	131,9	1,82	243,4
9	Мотопомпа	10	22	1	67	0.9	0,5	48,24	48,74	1,11	3,6
10	Автоматична газорозподільна станція	10	30	1	13	0.9	0,6	10,99	11,59	0,54	18,6
11	Установка очистки газу	10	4000	1	10	0.9	85	69,87	154,87	1,98	197,58

#### 4. Вибір потужності підстанції для насосної станції

Визначаємо середню активну потужність за максимальну завантажену зміну з урахуванням потужності освітлення.

Для компресорної станції «Воловець»:

$$\sum P_{см} = P_{см} + P_{р.0}$$

$$\sum P_{см} = 4211,44 + 400,18 = 4611,62$$

Бажана розрахункова потужність трансформатора для насосної станції:

$$S_{н.розр} = \frac{\sqrt{\sum P_{см}^2 + Q_{см}^2}}{\beta} = \frac{\sqrt{4611,62^2 + 0^2}}{0,85} = 5425,43 \text{ кВА}$$

де  $\beta$  – коефіцієнт завантаження трансформатора всього підприємства.

Оскільки реактивну енергію ми компенсуємо на стороні НН 0,4 кВ, то при виборі КТП, вважаємо, що реактивна енергія скомпенсована і її не враховуємо.

Результати заносимо в табл. 4.1

Таблиця 4.1

№	Найменування	$P_{см}$ , кВт	$P_{р.0}$ , кВт	$S_{тррозр}$ , кВА
№ 1	Компресорна станція «Воловець»	4211,4	400,18	5425,43

Оскільки є в наявності електроприймачі II категорії надійності електропостачання необхідно встановлювати двотрансформаторну підстанцію.

Таблиця 4.2

№ пп	Номер вузла	$S_{т.розр}$ , кВА	$\Sigma S_{тр}$ , кВА	$S_{ном.тр}$ , кВА	$\beta_{факт}$
КТП	1	5425,43	5425,43	2x6300	0,85

Трансформатор вибрано з урахуванням подальшого збільшення навантаження та зменшення витрат на ремонт та обслуговування. На картограмі навантажень вказуємо місце розташування цехового КТП. На КТП вибираємо трансформатори типу ТМ-6300/10.

## **5. Вибір системи напруг, числа і потужності та характеристик елементів зв'язку**

### **5.1. Вибір напруги мережі живлення компресорної станції.**

Відповідно до умов проектування, живлення підприємства здійснюється від підстанції системи на відстані 3,5 км. Здійснимо оцінку рівня напруги зовнішнього електропостачання при передачі активної потужності:

Орієнтовно напругу мережі живлення можна визначити за формулою «Стілла»:

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P} = 4,34 \cdot \sqrt{3,5 + 0,016 \cdot 7,313} = 8,25 \text{ кВ},$$

Де  $L = 3500$  м – довжина лінії живлення до понижувальної підстанції;  
 $P$  – розрахункова потужність підприємства. З точки зору ТЕО та даних обрахунків, доцільно прийняти напругу живлення компресорної станції рівною 10 кВ. Таким чином, стандартний рівень напруги 10 кВ.

### **5.2. Вибір напруги розподільчої мережі компресорної станції «Воловець».**

Напруги 6 кВ та 10 кВ. На невеликих та середніх підприємствах, де відсутні високовольтні двигуни, рекомендується застосовувати напругу 10 кВ. Трансформатори ТП на напругу 6—10 кВ мало відрізняються за ціною, аналогічно можна зазначити про кабельні лінії та комутаційну апаратуру. Серед споживачів електроенергії компресорної станції знаходяться споживачі з номінальною напругою 380/220 В. Номінальною напругою внутрішньої мережі приймаємо напругу 10 кВ як більш економічну й універсальну.

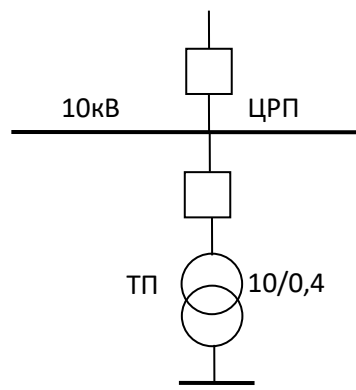


Рис. 5.1. Схема розподільчої мережі при напрузі 10кВ

## **6. Вибір схеми електропостачання об'єктів споживання компресорної станції**

Для живлення КТП вибираємо змішану схему. Для електропостачання цехових споживачів радіальні або магістральні схеми в чистому вигляді застосовуються рідко. Розповсюдження знаходять так звані змішані схеми

електричних мереж, які сполучають в собі елементи магістральних та радіальних схем.

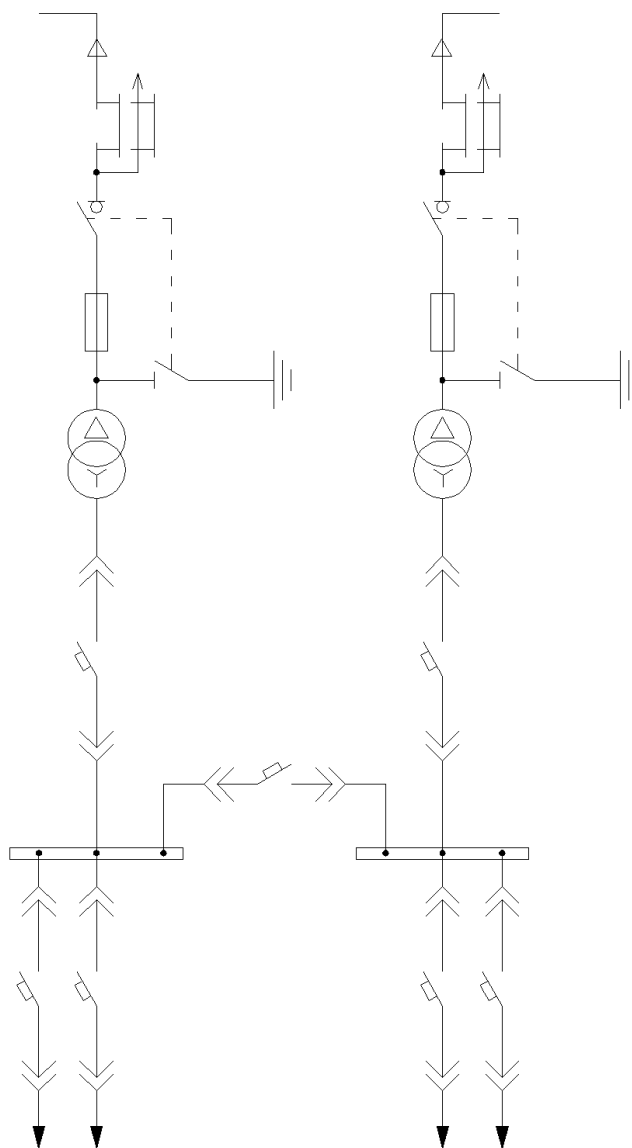


Рис. 6.1. Схема двотрансформаторної КТП

## 7. Розрахунок розподільчої мережі та мережі живлення компресорної станції «Воловець»

Робочий режим електроустановок характеризується струмами нормального та максимальних режимів.

Для значення напруг 6-35 кВ бажано використовувати кабельну лінію з паперовою ізоляцією і алюмінієвими жилами в свинцевій (С) або в алюмінієвій (А) оболонці.

Для прокладки в землі використовують кабель, броньований двома сталевими стрічками (Б) із захисним зовнішнім покритвом з поясною ізоляцією марок АСБ, ААБ. Для прокладання в каналах, тунелях і всередині приміщень застосовується такий же кабель, але без зовнішнього покритву (Г) марок АСБГ, ААВГ.

$$S_{ек} = \frac{I_n}{j_{ек}},$$

де  $I_n$  - струм нормального робочого режиму, А;  $j_{ек}$  – нормальне значення економічно вигідної густини струму, А/мм<sup>2</sup>.

Для шин, неізольованих проводів, а також кабельних ліній напругою 20...35 кВ,  $K_{нав} = 1$ , тобто їх перевантаження в максимальному режимі недопустиме і має виконуватись умова

$$I_{доп} \geq I_{макс}.$$

Для кабельних ліній, які мають напругу до 10 кВ з паперовою просоченою маслом ізоляцією, які частину доби мають навантаження менше за номінальне, може допускатися тимчасове перевантаження.

При протіканні струмів КЗ збільшуються втрати електроенергії в провідниках і контактах, що призводить до їх підвищеного, нагріву. Нагрів

може прискорити старіння і руйнування ізоляції, викликати зварювання і вигорання контактів, втрату механічної міцності шин і проводів і т.п. Провідники і апарати повинні без ушкоджень переносити на протязі заданого розрахункового часу нагрів струмами КЗ, тобто повинні бути термічно стійкими .

Протікання струмів короткого замикання супроводжується також значними електродинамічними зусиллями між провідниками . Якщо не прийняти належних заходів, то під дією цих зусиль струмоведучі частини і їх ізоляція можуть бути зруйновані. Струмоведучі частини, апарати і електричні машини повинні бути сконструйовані таким чином, щоб витримати, без ушкоджень зусилля, які виникають при КЗ, тобто повинні відповідати умові електродинамічної стійкості

На період ліквідації після аварійного режиму допускається перенавантаження для кабелів з поліетиленовою ізоляцією на 10%, з полівінілхлоридною ізоляцією на 15% від номінального на період максимуму навантаження, що триває не більше шістьох годин на добу протягом п'яти діб, якщо навантаження решту часу доби не перевищує номінальне.

### 7.1. Вибір кабелю, що відходить від ЕС до головного розподільчого пристрою

Струм нормального робочого режиму для кабелю, що відходить від ЕС до ЦРП:

$$I_n^{ГРП} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{6558,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 180,53 \text{ А}$$

Економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{ек}^{ГРП} = \frac{I_n^{ГРП}}{j_{ек}^{к\tau}} = \frac{180,53}{1,4} = 128,95 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель типу ААШВ-10-3х150 [1], що прокладається в землі.

$$S_{ст}^{ГРП} = 150 \text{ мм}^2 > S_{ек}^{ГРП} = 128,95 \text{ мм}^2 ;$$

$$I_{доп}^{ГРП} = 275 \text{ А} < I_{макс}^{ГРП} = 402,14 \text{ А} ,$$

Умова виконується, тому нам підходить дана кабельна лінія

Активний та індуктивний погонні опори:

$$r_0 = 0,329 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,083 \text{ Ом/км}.$$

### 7.3. Вибір кабельної лінії, що живить трансформаторні підстанцію

Всі об'єкти споживання компресерної станції живляться за магістральною схемою. Струм нормального робочого режиму для кабелю, що живить ділянку від ГРП – ТП. Розрахункове навантаження на одну лінію, яка живить ТП складе:

$$S_{\Sigma \text{ ном. тр}} = S_{\text{ ном. тр1}} + S_{\text{ ном. тр2}} + S_{\text{ ном. тр4}}$$

$$I_{н1} = \frac{0,7 \cdot S_{\Sigma \text{ ном. тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{0,7 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 242,7 \text{ А}$$

Економічно вигідний переріз для кабельної лінії:

$$S_{ек1} = \frac{I_{н1}}{j_{ек}^{кл}} = \frac{242,7}{1,6} = 151,6$$

де  $j_{ек}^{кл} = 1,6 \text{ А/мм}^2$  –економічна густина струму кабельної лінії [1].

Вибираємо кабель типу ААШВ-10-3х160 [1], прокладений в землі, за такими умовами:

$$S_{ст1} = 160 \text{ мм}^2 > S_{ек1} = 151,6 \text{ мм}^2;$$

$$I_{доп} = 205 \text{ А} > I_{макс1} = 202,46 \text{ А},$$

Дійсну довжину КЛ визначається з картограми навантажень.

## **8. Розрахунок струмів короткого замикання в мережах 10 кВ та 0,4 кВ**

Точні методи розрахунку струмів короткого замикання дуже складні. Тому при розрахунках дозволяються такі припущення:

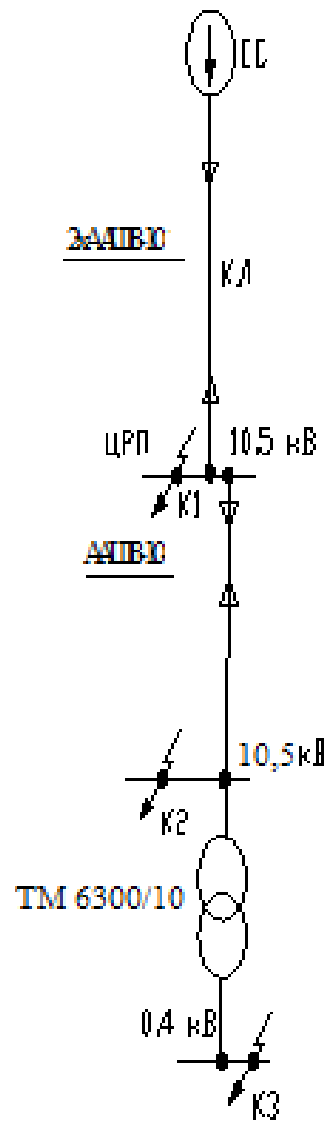
1. Активні опори враховують тоді, коли вони складають не менш як 30% реактивних.
2. Електрорушійні сили (ЕРС) джерел, що віддалені від місця короткого замикання, вважаються незмінними.
3. Вплив дрібних асинхронних та синхронних двигунів не враховують.
4. Не враховують струми намагнічування трансформаторів.

Незважаючи на вказані припущення точність методу достатня для перевірки апаратури та струмоведучих частин при коротких замиканнях.

Розрахунок струмів короткого замикання полягає у наступному:

1. Зведення елементів схеми електропостачання промислового підприємства до базисних умов.
2. Складання схеми заміщення.
3. Визначення розрахункових опорів кола короткого замикання і на основі їх – струмів короткого замикання.

Розрахуємо струми короткого замикання, коли електропостачання компресорної станції здійснюється від трансформатора зв'язку з системою.



Спрощена схема електропостачання компресорної станції наведена на рис.8.1.

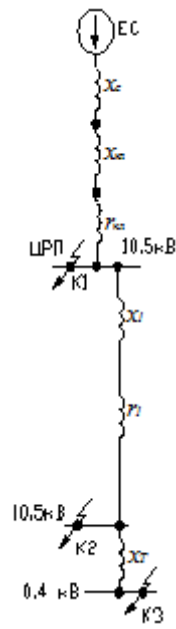


Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис.8.2.

**8.1. Розрахуємо струм короткого замикання для точки короткого замикання К1.**

Схема заміщення для точки К1 має вид:

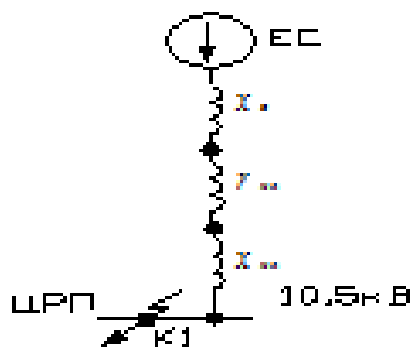


Рис.8.3. Розрахункова схема заміщення для точки короткого замикання К1

Для розрахунку необхідно вибрати базову потужність та базову напругу:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА};$$

$$U_{\sigma} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Базовий струм:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Знайдені опори схеми заміщення, приведені до базових умов.

Опір енергосистеми:

$$x_{c}^{*} = x'_{c} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{ном}^2} = 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,227,$$

Опір кабедної лінії між трансформаторами ЕС та шинами ЦРП 10 кВ:

$$x_{кл}^{*} = \frac{x_0 \cdot l_{кл} \cdot S_{\sigma}}{2 \cdot U_{ном}^2} = \frac{0,083 \cdot 3,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,132$$

$$r_{кл}^{*} = \frac{r_0 \cdot l_{кл} \cdot S_{\sigma}}{2 \cdot U_{ном}^2} = \frac{0,329 \cdot 3,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,522$$

Тоді заключний опір буде рівний:

$$z_{зак}^{*} = \sqrt{r_{кл}^{*2} + (x_{c}^{*} + x_{кл}^{*})^2} = \sqrt{0,522^2 + (0,227 + 0,132)^2} = 0,634$$

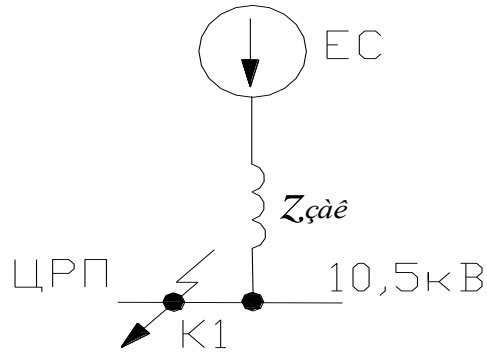


Рис.8.4. Розрахункова схема заміщення для точки короткого замикання К1 після спрощення

Надперехідне початкове значення періодичної складової струму короткого замикання для точки К1:

$$I_c = \frac{I_{\delta}}{z_{зак}} = \frac{5,5}{0,634} = 8,68 \text{ кА.}$$

Аперіодична стала часу для системи:

$$T_a^c = \frac{-0,01}{\ln(k_y - 1)} = \frac{-0,01}{\ln(1,8 - 1)} = 0,045 \text{ с.}$$

де  $k_y = 1,8$  – ударний коефіцієнт.

Час початку розмикання контактів вимикачем:

$$\tau_{np} = 0,01 + \tau_{ee} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с.}$$

Час протікання К1:

$$\tau_{кз} = \tau_{pz} + \tau_{пв} = 0,3 + 0,11 = 0,4 \text{ с,}$$

де  $\tau_{pz}$  – максимальний час спрацювання релейного захисту;  $\tau_{пв}$  – повний час спрацювання вимикача

Аперіодична стала схеми

$$T_a^{cx} = \frac{T_a^{CD} \cdot I_{CD} + T_a^c \cdot I_c}{I_n^{к1}} = \frac{0,05 \cdot 0,46 + 0,045 \cdot 8,68}{9,14} = 0,045 \text{ с.}$$

### Тепловий імпульс для точки К1

$$\begin{aligned} B_{\kappa}^{\kappa 1} &= (I_c)^2 \cdot (\tau_{\kappa.з.} + T_a^{cx}) + (I_{CD})^2 \cdot (0,5 \cdot T'_{CD} + T_a^{cx}) + 2 \cdot I_c \cdot I_{CD} \cdot (T'_{CD} + T_a^{cx}) = \\ &= (8,68)^2 \cdot (0,4 + 0,045) + (0,46)^2 \cdot (0,5 \cdot 0,07 + 0,045) + 2 \cdot 8,68 \cdot 0,46 \cdot (0,07 + 0,045) = \\ &= 42,75 \text{кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Перевіряємо кабелі:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}^{\kappa 1}}}{C} = \frac{\sqrt{42,75 \cdot 10^6}}{90} = 72,65 \text{мм}^2 > S_{\text{ст}}^{\kappa 1} = 50 \text{мм}^2,$$

Оскільки умова не виконується, то для обмеження струмів к.з. необхідно вибрати реактори.

Бажаний тепловий імпульс

$$\begin{aligned} B_{\text{баж}} &= (S_{\text{ст}}^{\kappa 1} \cdot C)^2, \\ B_{\text{баж}} &= (50 \cdot 90)^2 = 20,25 \text{кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Бажаний струм к.з.

$$\begin{aligned} I_{\text{баж}}'' &= \sqrt{\frac{B_{\text{баж}}}{\tau_{\kappa.з.} + T_a^{cx}}}, \\ I_{\text{баж}}'' &= \sqrt{\frac{20,25}{0,51 + 0,045}} = 6,04 \text{кА}. \end{aligned}$$

Бажаний опір

$$\begin{aligned} x_{\text{баж}} &= \frac{U_{\text{ном}}^{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{баж}}''}, \\ x_{\text{баж}} &= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 6,04} = 1 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Фактичний опір

$$\begin{aligned} x_{\phi} &= \frac{U_{\text{ном}}^{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_n^{\kappa 1}}, \\ x_{\text{фак}} &= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,14} = 0,66 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Розрахунковий опір реактора

$$\begin{aligned} x_{\text{роз}}^p &= x_{\text{баж}} - x_{\text{фак}}, \\ x_{\text{роз}}^p &= 1 - 0,66 = 0,34 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Вибираємо реактор РБ-10-630-0,35УЗ.

Опір реактора у в.о.

$$x_p^* = x_{ном}^p \cdot \frac{S_{\delta}}{(U_{ном}^{cp})^2}$$

$$x_p^* = 0,35 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,32$$

Вибір струмообмежуючого реактора типу РБ-10-630-0,35УЗ.

$U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}$	=	$U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}$
$I_{НОМ.Р} = 630 \text{ А}$	=	$I_{МАХ} = 402,14 \text{ А}$
$X_{НОМ.Р} = 0,35 \text{ Ом}$	>	$X_p = 0,34 \text{ Ом}$
$i_{длин} = 25 \text{ кА}$	>	$i_{уд.к1} = 16,96 \text{ кА}$
$(I_{\tau})^2 \cdot \tau = 9,83^2 \cdot 8 = 773 \text{ кА}^2 \text{ с}$	>	$B_{\kappa} = 17,8 \text{ кА}^2 \text{ с}$

### 8.1.1. Коротке замикання в точці К1 за реактором на шинах ЦРП

$$I_{\delta} = 5,5 \text{ кА}; U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Заключний опір з урахуванням реактора:

$$z_{зак}^* = \sqrt{r_{\kappa 1}^{*2} + (x_c^* + x_{\kappa 1}^* + x_p^*)^2} = \sqrt{0,522^2 + (0,227 + 0,132 + 0,32)^2} = 0,87$$

Надперехідне початкове значення періодичної складової струму к.з. від системи з урахуванням реактора:

$$I_c'' = \frac{1}{Z_{зак.к2}^*} \cdot I_{\delta} ,$$

$$I_c'' = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,2 \text{ кА.}$$

Струм к.з. з урахуванням двигунів

$$I_{\Sigma}'' = I_c'' + I_d'' ,$$

$$I_{\Sigma}'' = 6,2 + 0,46 = 6,66 \text{ кА.}$$

Аперіодична стала схеми

$$T_a^{ex} = \frac{T_a^{CD} \cdot I_{CD} + T_a^c \cdot I_c}{I_\Sigma''} = \frac{0,05 \cdot 0,46 + 0,045 \cdot 6,2}{6,66} = 0,045 \text{ с.}$$

Тепловий імпульс від системи з урахуванням підживлення к.з.

$$\begin{aligned} B_{\kappa}^{\kappa 31} &= (I_c'')^2 \cdot (\tau_{\kappa.з.} + T_a^{ex}) + (I_{CD}')^2 \cdot (0,5 \cdot T_{CD}' + T_a^{ex}) + 2 \cdot I_c'' \cdot I_{CD}' \cdot (T_{CD}' + T_a^{ex}) = \\ &= (6,2)^2 \cdot (0,4 + 0,045) + (0,46)^2 \cdot (0,5 \cdot 0,07 + 0,045) + 2 \cdot 6,2 \cdot 0,46 \cdot (0,07 + 0,045) = \\ &= 17,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \end{aligned}$$

Перевіряємо КЛ за умовою

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}^{\kappa 2}}}{C} < S_{cm}^{\kappa \text{Л}},$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{17,8 \cdot 10^6}}{90} = 46,9 \text{ мм}^2 < S_{cm}^{\kappa \text{Л}} = 50 \text{ мм}^2.$$

Ударний струм к.з.

$$i_y = i_{y.c} + i_{y.d} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_c + \sqrt{2} \cdot k_y^{CD} \cdot I_{CD} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,2 + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,46 = 16,96 \text{ кА.}$$

Періодична складова струму к.з.

$$I_{\tau}^{CD} = \beta_c \cdot I_{CD}'',$$

$$I_{\tau}^{CD} = 0,6 \cdot 0,46 = 0,276 \text{ кА};$$

$$I_{\tau}^c = I_{c.\kappa 1}'' = 6,2 \text{ кА}$$

$$I_{\tau} = I_{\tau}^{CD} + I_{\tau}^c,$$

$$I_{\tau} = 6,2 + 0,276 = 6,476 \text{ кА,}$$

Аперіодична складова струму к.з.

$$i_a^c = \sqrt{2} \cdot I_{c.\kappa 1}'' \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{нб}}}{T_a}},$$

$$i_a^c = \sqrt{2} \cdot 6,2 \cdot e^{\frac{-0,11}{0,045}} = 0,76 \text{ кА};$$

$$i_a^{CD} = \sqrt{2} \cdot I_{CD}'' \cdot e^{\frac{-\tau_{\text{нб}}}{T_a^{CD}}},$$

$$i_a^{CD} = \sqrt{2} \cdot 0,46 \cdot e^{\frac{-0,11}{0,045}} = 0,056 \text{ кА};$$

$$i_a^{\Sigma} = i_a^c + i_a^{CD},$$

$$i_a^{\Sigma} = 1,38 + 0,79 = 2,17 \text{ кА.}$$

## 8.2. Розрахуємо струм короткого замикання для точки короткого замикання К2.

Схема заміщення для точки К2 має вид:

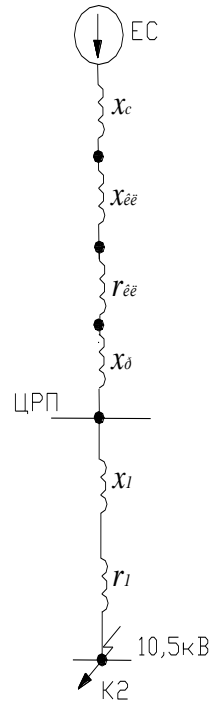


Рис.8.5. Розрахункова схема заміщення для точки короткого замикання К2  
Для розрахунку необхідно вибрати базову потужність та базову напругу:

$$S_б = 100 \text{ МВА};$$

$$U_б = 10,5 \text{ кВ.}$$

Базовий струм:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Знайдені опори схеми заміщення, приведені до базових умов.

Опір енергосистеми:

$$x_c^* = x_c' \cdot \frac{S_б}{U_{ном}^2} = 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,227,$$

Опір кабедьної лінії між трансформаторами ЕС та шинами ЦРП 10 кВ:

$$x_{кл}^* = \frac{x_0 \cdot l_{кл} \cdot S_{\sigma}}{2 \cdot U_{ном}^2} = \frac{0,083 \cdot 3,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,132$$

$$r_{кл}^* = \frac{r_0 \cdot l_{кл} \cdot S_{\sigma}}{2 \cdot U_{ном}^2} = \frac{0,329 \cdot 3,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,522$$

Опори кабельних ліній:

$$x_{кл1}^* = \frac{x_0 \cdot l_{кл1} \cdot S_{\sigma}}{U_{ном}^2} = \frac{0,083 \cdot 0,62 \cdot 100}{10,5^2} = 0,047$$

$$r_{кл1}^* = \frac{r_0 \cdot l_{кл1} \cdot S_{\sigma}}{U_{ном}^2} = \frac{0,329 \cdot 0,62 \cdot 100}{10,5^2} = 0,185$$

Тоді заключний опір буде рівний:

$$z_{зак2}^* = \sqrt{(r_{кл}^* + r_{кл1}^*)^2 + (x_c^* + x_{кл}^* + x_{кл1}^* + x_p^*)^2} = \sqrt{(0,522 + 0,185)^2 + (0,227 + 0,135 + 0,047 + 0,32)^2} = 1,02$$

Надперехідне початкове значення періодичної складової струму короткого замикання від системи для точки К2 з урахуванням реактора:

$$I_c = \frac{I_{\sigma}}{z_{зак}^*} = \frac{5,5}{1,02} = 5,4 \text{ кА.}$$

Ударний струм

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{c.к2}'' ,$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,4 = 13,75 \text{ кА.}$$

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{c.к2}'' \cdot e^{\frac{-\tau_{нс}}{T_a}} ,$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 5,4 \cdot e^{\frac{-0,11}{0,045}} = 0,66 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс

$$B_{к}^{к1} = (I_{c.к1}'')^2 \cdot (\tau_{к.з.} + T_a) ,$$

$$B_{к}^{к2} = (5,4)^2 \cdot (0,4 + 0,045) = 13 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Перевіряємо КЛ, яка йде від джерела за умовою

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}^{\kappa 2}}}{C} < S_{cm} ,$$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{13 \cdot 10^6}}{90} = 40 \text{ мм}^2 < S_{cm}^{\kappa 1} = 70 \text{ мм}^2 .$$

Отже кабельні лінії витримують теплові імпульси від короткого замикання в точці К2.

### 8.3. Розрахунок струмів к.з. на шинах НН ТП (точка К3)

Для енергосистеми коротке замикання в точці К3 є віддаленим.

Розрахунок проводимо в іменованих одиницях. Визначаємо опори елементів і приводимо їх до номінальної напруги НН трансформаторної підстанції, тобто до  $U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ}$ .

Опір контактів для цехових трансформаторних підстанцій  $r_{\kappa} = 20 \text{ мОм}$ .

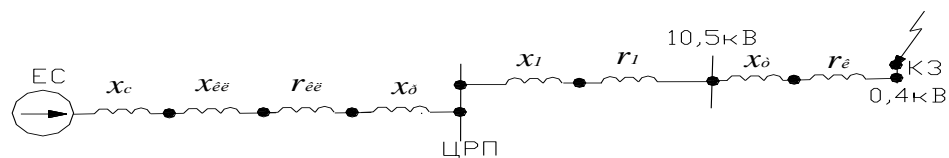


Рис.8.6. Розрахункова схема заміщення для точки короткого замикання  
К3

Для точки К3 на вторинній стороні трансформаторів до 6300кВ·А можна знехтувати взяти  $x_c = 0$ .

Опір реактора

$$x_p = x_{p, \text{ном}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ном}}^{\text{НН}}}{U_{\text{ном}}^{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$x_p = 0,56 \cdot \left( \frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 2,48 \text{ мОм.}$$

Знайдені опори схеми заміщення, приведені до базових умов.

Опори кабельних ліній, що йдуть від джерела:

$$r_{кл} = r_0 \cdot \frac{l_{кл}}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{НОМ}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$r_{кл1} = 0,329 \cdot \frac{3,5}{2} \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,836 \text{ мОм;}$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot \frac{l_{кл}}{n_{кб}} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{НОМ}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$x_{кл1} = 0,083 \cdot \frac{3,5}{2} \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,21 \text{ мОм.}$$

Опір кабельних ліній, що живлять ТП

$$r_{кл1} = r_0 \cdot l_{кл} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{НОМ}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$r_{кл1} = 0,447 \cdot 0,62 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,4 \text{ мОм;}$$

$$x_{кл1} = x_0 \cdot l_{кл} \cdot \left( \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{НОМ}^{BH}} \right)^2 \cdot 10^3 ,$$

$$x_{кл1} = 0,086 \cdot 0,62 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,077 \text{ мОм.}$$

Опір трансформаторів на ТП

$$r_{ТП} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{(S_{НОМ}^T)^2} \cdot (U_{НОМ}^{\sigma})^2 \cdot 10^3 ,$$

$$r_{ТП} = \frac{11 \cdot 10^3}{1000^2} \cdot (0,4)^2 \cdot 10^3 = 1,76 \text{ мОм};$$

$$x_{ТП} = \sqrt{\left(10 \cdot U_{\kappa}\right)^2 - \frac{\Delta P_{\kappa}}{\left(S_{НОМ}^T\right)^2} \cdot \frac{\left(U_{НОМ}^{\delta}\right)^2}{S_{НОМ}^T}} \cdot 10^3$$

$$x_{ТП} = \sqrt{\left(10 \cdot 5,5\right)^2 - \frac{11 \cdot 10^3}{\left(1000\right)^2} \cdot \frac{\left(0,4\right)^2}{1000}} \cdot 10^3 = 8,8 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори:

$$r_{\Sigma} = r_{\kappaЛ} + r_{\kappaЛ1} + r_{ТП} + r_{\kappa} = 0,21 + 0,4 + 1,76 + 20 = 22,37 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma} = x_p + x_{\kappaЛ} + x_{\kappaЛ1} + x_{ТП} = 2,48 + 0,21 + 0,077 + 8,8 = 11,57 \text{ мОм}.$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{\left(r_{\Sigma}\right)^2 + \left(x_{\Sigma}\right)^2} = \sqrt{\left(22,37\right)^2 + \left(11,57\right)^2} = 25,19 \text{ мОм}.$$

Початковий струм короткого замикання:

$$I_{\text{с.к.кз}}'' = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 25,19} = 9,17 \text{ кА}.$$

Ударний струм к.з.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{с.кз}}'',$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 9,1 = 12,87 \text{ кА}.$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 8.1

Таблиця 8.1

Точка КЗ	Місце КЗ	Заключ опір	Початкові струми	Аперіодична складова	Ударний струм	Тепловий імпульс	Мін. доп. період
		$z$	$I_{(c)}$	$i_a$	$i_{уд}$	$B_{\kappa\Sigma}$	$S_{\min}$
		в.о./мОм	кА	кА	кА	кА <sup>2</sup> ·с	мм <sup>2</sup>
К1	ЦРП	0,87	6,66	2,346	16,96	17,8	46,9
К2	ВН	1,02	5,4	1,85	13,75	13	40
К3	НН	25,19	9,17	-	12,87	-	-

## 9. Вибір апаратури в мережах 10 кВ

### 9.1. Вибір комутаційної апаратури

В даному розділі будемо вибирати високовольтну комутаційну апаратуру: високовольтні вимикачі, вимикачі навантаження та запобіжники.

Вимикач - це комутаційний апарат, який призначено для включення та відключення струму. Вимикач є основним апаратом в електричних установках, він служить для відключення і включення мережі в будь-яких режимах: довготривале навантаження, перевантаження, коротке замикання, холостий хід, несинхронна робота. Найбільш важкою і відповідальною операцією є відключення струмів КЗ і включення на існуюче коротке замикання. До вимикачів високої напруги пред'являються наступні вимоги :

- надійде відключення будь-яких струмів ;
- швидкодія, тобто найменший час відключення ;
- придатність для швидкодіючого автоматичного повторного включення, тобто швидке включення вимикача відразу після відключення ;
- легкість ревізії;
- вибухо- та пожежобезпека ;
- зручність транспортування і експлуатації.

Вимикачі високої напруги повинні витримувати протягом тривалого часу номінальний струм  $I_{ном}$  та номінальну напругу  $U_{ном}$ . У розподільчих пристроях 10,5 кВ використовуємо вакуумні вимикачі серії ВВ/TEL,

Вимикач навантаження автогазовий типу ВНМ-10/400 з пружинним приводом серії ПП-16. Вимикач навантаження автогазовий ВНМ-10/400 призначений для багаторазових включень і відключень під навантаженням ділянок ланцюгів трифазного струму напругою 10 кВ, частотою 50 Гц, а також заземлення відключених ділянок за допомогою ножів заземлення.

Вимикач навантаження встановлюється в комплектних трансформаторних підстанціях (КТП), камерах однобічного обслуговування (КСО), комплектних розподільчих пристроях (КРУ). Вимикач типу ВНМ-10 належить до комутаційних апаратів, забезпечених автогазовими дугогасними пристроями. Гасіння дуги здійснюється потоком газів, що виділяються із стінок дугогасної камери при впливі на них гасимої дуги.

Управління здійснюється окремим приводом, пов'язаним з вимикачем навантаження, що монтується на місці встановлення вимикача. Привід ПП-16 УХЛЗ виготовляється з пристроєм блокування головних і заземлюючих ножів, з дистанційним або місцевим управлінням. Вимикач ВНМ-10/400 забезпечений пристроєм автоматичного відключення при перегоранні одного із запобіжників. Переваги вимикачів навантаження типу ВНМ-10/400 :

- монолітний ізоляційний корпус дозволяє забезпечити високу точність зборки без додаткових регулювань, що значно збільшує надійність роботи апарату;
- монолітний корпус апарату витримує електродинамічні впливи струмів до 32 кА;
- конструкція пружинного приводу забезпечує високу швидкість при відключенні і включенні апарату;
- привід має виконання як для місцевого, так і для дистанційного управління вимикачем;
- час включення апарату не більше 0,2с, відключення - не більше 0,1с.

Вимикачі мають типовиконання з ножами заземлення і запобіжниками, що встановлюються як знизу, так і зверху, а також з ножами заземлення і запобіжниками, що встановлюються в різному поєднанні з їх взаємному розташуванні (ніж заземлення знизу, запобіжник зверху або навпаки).

Вимикач має типовиконання з запобіжниками, з обох кінців яких, встановлені ножі заземлення, що працюють синхронно від однієї рукоятки приводу. Вимикачі з запобіжниками мають типовиконання з пристроєм для подачі команди на автоматичне відключення і сигналізацію при перегорання одного із запобіжників.

Всі види комутаційних апаратів повинні відповідати умові оточуючого середовища за місцем їх установки. Номінальні параметри вибраної апаратури (струм, напруга, потужність відключення) повинні відповідати визначеним значенням в нормальному режимі та при короткому замиканні.

Високовольтні струмообмежуючі запобіжники ПКТ 104 призначені для захисту силових трансформаторів, повітряних і кабельних ліній в ланцюгах змінного струму частоти 50 і 60 Гц.

Запобіжники ПКТ 104-10-160-20У3 з кварцовим наповнювачем є струмообмежуючими. Відключення струму короткого замикання в запобіжниках з кварцовим піском забезпечується за рахунок інтенсивної деіонізації дуги, що виникає в місці пролягання плавкої вставки, у вузьких щілинах між піщинками наповнювача. Спрацювання патрона визначається в запобіжниках ПКТ 104-10-160-20У3 за вказівником спрацювання, висувається назовні під впливом пружини після перегорання ніхромового дроту.

Запобіжники високовольтні призначені для роботи в наступних умовах:

- 1) номінальні значення кліматичних факторів зовнішнього середовища по ГОСТ 15150-69 і ГОСТ 15543-70 для запобіжників ПКТ 104 - згідно кліматичному виконанню У категорій розміщення 1 і 3 (верхнє робоче значення температури навколишнього повітря плюс 40 °С (граничне плюс 45°С), нижнє робоче значення температури навколишнього повітря мінус 45 °С (граничне мінус 60 °С) для виконання ХЛ. Верхнє значення відносної вологості 98% при 25 °С для категорії розміщення 3 і 100% при 25 °С для категорії розміщення 4);
- 2) висота над рівнем моря - не більше 1000 м;
- 3) робоче положення в просторі - вертикальне;
- 4) навколишнє середовище - невибухонебезпечне, не містить струмопровідного пилу, агресивних газів і пари в концентраціях, що руйнують метали і ізоляцію;
- 5) відсутні різкі поштовхи, удари і вібрація;

б) місце установки захищене від попадання бризок масла, емульсії і т. п.

Розшифровка умовного позначення типовиконання запобіжників ПКТ 104, як приклад приведена для запобіжника ПКТ 104-10-160-20У1:

П - запобіжник;

К - з кварцовим наповнювачем;

Т - для силових трансформаторів;

1 - однополюсний, з покажчиком спрацьовування;

04 - конструктивне виконання контакту;

10 - номінальна напруга в кіловольтах;

160 - номінальний струм запобіжника в амперах;

20 - номінальний струм відключення в кілоамперах;

У-кліматичне виконання;

1 - категорія розміщення.

При виборі комутаційних апаратів порівнюємо розрахункові дані з допустимими значеннями.

Високовольтні комутаційні апарати вибирають за номінальними параметрами і перевіряють на комутаційну здатність, на динамічну та термічну стійкість до струмів аварійного режиму - режиму короткого замикання.

Методика вибору однакова для всіх комутаційних апаратів, проте найбільш повно її можна розглянути на прикладі вибору високовольтних вимикачів.

Відповідно до ГОСТ 687-78 високовольтні вимикачі вибирають за умовами, які наведені в таблиці 9.1

Номер умови вибору	Параметри вимикача	Умова вибору	Мережа
1	$U_{\text{ном}}$	$\geq$	$U_{\text{ном.мер}}$
2	$I_{\text{ном}}$	$\geq$	$I_{\text{макс}}$
3	$I_{\text{н.р}}$	$\geq$	$I_{\text{птр}}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.р}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right)$	$\geq$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{птр}} + i_{\text{атр}}$
5	$i_{\text{дин}}$	$\geq$	$i_{\text{уд}}$
6	$I_{\text{дин}}$	$\geq$	$I_{\text{по}}$
7	$I_{\tau}^2 \cdot \tau$	$\geq$	$B_{\text{к}}$

У лівій частині рівнянь указані параметри вимикачів, що наведені в довідниках, у правій – дані мережі та розрахункові дані по струмах максимального режиму та режиму короткого замикання.

Умови 1,2 відповідають вибору високовольтного вимикача за номінальними параметрами з номінальною напругою мережі й робочим струмом необмежено довгого за часом максимального режиму. Перевірці вимикача на комутаційну здатність при розмиканні кола відповідають умова 3 (на розмикання симетричної складової короткого замикання) та умова 4 (на розмикання повного струму з урахуванням аперіодичної частини струму короткого замикання):

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{птр}} ;$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.р}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{птр}} + i_{\text{атр}} ,$$

де  $I_{\text{н.р}}$  – номінальний струм розмикання вимикача;  $I_{\text{птр}}$  та  $i_{\text{атр}}$  – відповідно

періодична та аперіодична складові струму короткого замикання на момент початку розходження контактів вимикача, тобто на момент розмикання;  $\beta_n$  – нормований процентний вміст аперіодичної складової струму короткого замикання в струмі, що його розмикає вимикач.

Розрахунковий час початку розмикання струму короткого замикання вимикачем:

$$\tau_p = \tau_{p.z.min} + \tau_{o.p},$$

де  $\tau_{p.z.min}$  - найменший проміжок часу, за який спрацює релейний захист, приймається таким, що дорівнює 0,01 с;  $\tau_{o.p}$  - особистий час роз'єднання вимикача, тобто проміжок часу від моменту подачі команди релейним захистом на роз'єднання кола до моменту початку розходження головних контактів вимикача, с;  $\tau_{o.p}$  - залежить від типу вимикача та типу привода.

Умова 5,6:

$$i_{дин} \geq i_{уд};$$

$$I_{дин} \geq I_{по},$$

де  $i_{дин}$  – максимальне миттєве значення повного струму електродинамічної стійкості, який проходить через вимикач і не пошкоджує його, кА;  $I_{дин}$  – діюче значення повного струму електродинамічної стійкості, кА;  $I_{по}$  – струм у початковий момент режиму короткого замикання – діюче значення періодичної складової струму короткого замикання, кА.

Перевірці вимикача на термічну стійкість до струмів короткого замикання відповідає умова 7:

$$I_\tau \cdot \tau \geq B_k,$$

$I_\tau \cdot \tau$  - струм термічної стійкості, кА; за час  $\tau$ , с;  $B_k$  – розрахункове значення теплового імпульсу, кА<sup>2</sup>с.

Вибір комутаційних апаратів ведемо у табличній формі.

Номер умови вибору	Параметри вимикача ВВ/TEL-10-12,5/630 У2 на живлячій лінії	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
1	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном.мер}} = 10,5 \text{ кВ}$
2	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{макс}} = 402,14 \text{ А}$
3	$I_{\text{н.р}} = 12,5 \text{ кА}$	$>$	$I_{\text{птр}} = 6,04 \text{ А}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.р}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 12,5 \left( 1 + \frac{40}{100} \right) = 24,75 \text{ кА}$	$>$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{нтр}} + i_{\text{атр}} =$ $= \sqrt{2} \cdot 6,04 + 2,17 = 10,71 \text{ кА}$
5	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$	$>$	$i_{\text{уд}} = 16,96 \text{ кА}$
6	$I_{\text{дин}} = 12,5 \text{ кА}$	$>$	$I_{\text{по}} = 6,04 \text{ кА}$
7	$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$>$	$V_{\text{к}} = 17,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 9.3.

Номер умови вибору	Параметри вимикача ВВ/TEL-10-12,5/630 У2 на живлячій лінії	Умова вибору	Розрахункові параметри приєднання
1	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{\text{ном.мер}} = 10,5 \text{ кВ}$
2	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{макс}} = 201,07 \text{ А}$
3	$I_{\text{н.р}} = 12,5 \text{ кА}$	$>$	$I_{\text{птр}} = 6,04 \text{ А}$
4	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.р}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 12,5 \left( 1 + \frac{40}{100} \right) = 24,75 \text{ кА}$	$>$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{нтр}} + i_{\text{атр}} =$ $= \sqrt{2} \cdot 6,04 + 2,17 = 10,71 \text{ кА}$
5	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$	$>$	$i_{\text{уд}} = 16,96 \text{ кА}$
6	$I_{\text{дин}} = 12,5 \text{ кА}$	$>$	$I_{\text{по}} = 6,04 \text{ кА}$
7	$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$>$	$V_{\text{к}} = 17,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибираємо комплектний пристрій (КРУ/TEL-10-16/630-0111-У3) з високовольтними вимикачами. В приєднанні трансформаторів кожної ТП підприємства, до шин ЦРП вибираємо вимикачі типу ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Таблиця 9.4.

№	Умова вибору високовольтних вимикачів	РП 10 кВ				
		Дані мережі	Високовольтні вимикачі			
			Приєднання			
			ЖЛ	СВ	ТП	Суб. Спож.
	Тип апаратів	-	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2			
1	$U_{\text{ном.мер}} \leq U_{\text{ном}}$ , кВ	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
2	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$ , кА	$\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{402,14}{630}$	$\frac{201,1}{630}$	$\frac{221,7}{630}$	$\frac{31}{630}$
3	$I_{0,0} \leq I_{н.р.}$ , кА	6,04	12,5	12,5	12,5	12,5
4	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{пр}} + i_{\text{апр}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.р}} \cdot (1 + \frac{\beta}{100})$ , кА	11,33	24,75	24,75	24,75	24,75
5	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$ , кА	16,96	32		32	32
6	$I_{0,0} \leq I_{\text{дин}}$ , кА	6,04	12,5		12,5	12,5
7	$B_k \leq I_r^2 \cdot \tau$ , кА <sup>2</sup> · с	17,8	468,75		468,75	468,75

Таблиця 9.5.

№	Умова вибору вимикача навантаження	РП 10 кВ	
		Дані мережі	Вимикачі навантаження
			Приєднання
			ТП
	Тип апаратів	-	ВНМ-10/400-20зА УХЛЗ
1	$U_{\text{ном.мережі}} \leq U_{\text{ном}}$ , кВ	10,5	10,5
2	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$ , кА	$\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{402,1}{630}$
3	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$ , кА	16,96	51
4	$I_{0,0} \leq I_{\text{дин}}$ , кА	6,04	20
5	$B_k \leq I_r^2 \cdot \tau$ , кА <sup>2</sup> · с	17,8	400

Таблиця 9.6.

№	Умова вибору запобіжника в приєднанні трансформатора ТП до шин ГРП	РП 10 кВ	
		Дані мережі	Запобіжники
			Приєднання
			ТП 1
	Тип апаратів	-	ПКТ 104-10-100-20 УЗ
1	$U_{\text{ном.мережі}} \leq U_{\text{ном}}$ , кВ	10,5	10,5
2	$I_{\text{макс.}} \leq I_{\text{ном.вст.}}$ , кА	$\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{77}{100}$
3	$I_{\text{ном.вст.}} \leq I_{\text{ном.зап.}}$ , кА	$\frac{I_{\text{ном.вст.}}}{I_{\text{ном.зап.}}}$	$\frac{100}{100}$
4	$I_{0,0} \leq I_{\text{відкл}}$ , кА	6,04	20

На КТП встановлюємо вимикачі навантаження типу ВНМ-10/400-20зА УХЛЗ та запобіжники типу ПКТ 104-10-100-20УЗ.

## 9.2 . Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатори струму являють собою однофазні електричні пристрої і вибирають у двофазному чи трифазному виконанні для кожного приєднання усіх розподільчих пристроїв конкретної системи електропостачання. У зв'язку з цим вимірювальні трансформатори струму з'єднуються за схемою неповної або повної зірки.

Вибираємо вимірювальні трансформатори струму на ЦРП 10кВ живлячому ввіді від системи.

В приєднанні трансформатора на стороні низької напруги проходить  $I_{МАКС} = 402,14$  А.

Вибираємо трансформатор ТЛ 10-1У3.

Паспортні дані :

$$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{НОМ1} = 630 \text{ А};$$

$$I_{НОМ2} = 5 \text{ А};$$

$$z_{2N} = 0.4 \text{ Ом};$$

$$k_T = 0.5 .$$

Перевіряємо трансформатор по основним величинам:

Таблиця 9.7.

Паспортні дані трансформатора ТЛ10 –1У3 .	Умова	Розрахункові значення
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$>$	$U_{НОМ..} = 10 \text{ кВ}$
$I_{НОМ1} = 630 \text{ А}$	$=$	$I_{МАКС} = 402,14 \text{ А}$
$i_{ДИН} - 51 \text{ кА}$	$>$	$i_{ВД} = 16,96 \text{ кА}$
$I_T^2 \cdot \tau = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$>$	$B_K = 17,8 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Таблиця 9.8.

Прилад	Тип приладу	Ф."А", ВА	Ф."В", ВА	Ф."С", ВА
Амперметр	Э - 351	-	0.5	-
Ватметр	Д – 305	0.5	-	0.5
Варметр	Д – 305	0.5	0.5	0.5
Лічильник активної та реактивної енергії	"Альфа"	3.6	3.6	3.6
Разом		4.6	4.6	4.6

Визначаємо опір найбільш завантаженої фази:

$$z_{\Sigma \text{ПРИЛ}} = \frac{S_{\Sigma \text{ПРИЛ}}}{I_{\text{НОМ.2}}^2} = \frac{4,6}{5^2} = 0,184 \text{ Ом.}$$

Розрахунок максимального значення опору проводів, які з'єднують трансформатор струму з приладами при роботі його в заданому класі точності :

$$z_{\text{ПРИЛ}} = z_{\text{НОМ.2}} - z_{\Sigma \text{ПРИЛ}} - z_K, [\text{Ом}],$$

де  $z_K$  - опір контактів  $z_K = 0,1 \text{ Ом.}$

$$z_{\text{ПРИЛ}} = 0,4 - 0,184 - 0,1 = 0,116 \text{ Ом.}$$

$l_p$  – відстань від місця розташування трансформатора струму до вимірювальних приладів (довжина траси).

Мінімально можливий переріз з'єднувальних проводів

$$S_{\text{МИН}} = \frac{\rho \cdot I_p}{z_{\text{ПРИЛ}}} = \frac{0,028 \cdot 10 \cdot \sqrt{3}}{0,116} = 4,2 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо стандартний переріз  $6 \text{ мм}^2$ .

Перерахунок опору з'єднувальних проводів :

$$z_{\text{МИН}} = \frac{0,028 \cdot 10 \cdot \sqrt{3}}{6} = 0,08 \text{ Ом.}$$

Розрахунок навантаження лінії :

$$z_p = z_{\text{ПРИЛ}} + z_{\text{ПР}} + z_K = 0,116 + 0,08 + 0,1 = 0,3 \text{ Ом.}$$

Оскільки номінальне навантаження трансформатора струму більше ніж розрахункове:

$$Z_{НОМ} \geq Z_{РОЗ}, [Ом]$$

$$0.4 \text{ Ом} \geq 0.3 \text{ Ом},$$

то вибраний трансформатор струму працюватиме в даному класі точності .

Таблиця 9.9.

№	Умова вибору ТС	РП 10 кВ				
		Дані мережі	Трансформатори струму			
			Приєднання			
			ЖЛ	ТП	Суб. Спож.	СВ
	Тип апаратів	-	ТЛ10-1У3			
1	$U_{МАКС} = 12 \text{ кВ}$	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
2	$I_{МАКС} \leq I_{НОМ}, \text{кА}$	$\frac{I_{МАКС}}{I_{НОМ}}$	$\frac{402,14}{630}$	$\frac{221,7}{300}$	$\frac{31}{50}$	$\frac{201}{200}$
3	$i_{уд} \leq i_{дин}, \text{кА}$	$\frac{i_{уд}}{i_{дин}}$	$\frac{16,96}{51}$	$\frac{16,96}{51}$	$\frac{16,96}{51}$	$\frac{16,96}{51}$
4	$B_K \leq I_T^2 \cdot \tau, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$\frac{B_K}{I_T^2 \cdot \tau}$	$\frac{17,8}{4800}$	$\frac{17,8}{1200}$	$\frac{16,96}{300}$	$\frac{16,96}{1200}$

### 9.3. Вибір вимірювального трансформатора напруги на ЦРП 10 кВ

Для живлення лічильників, вольтметрів та пристроїв релейного захисту застосуємо вимірювальний трансформатор напруги типу НТМИ–10–66У3 з додатковою обмоткою для контролю ізоляції і схемою з'єднання обмоток  $Y_0/Y_0/\Delta$  з  $U_H = 10 \text{ кВ}$ , номінальна напруга вторинної обмотки  $U_{H2} = 100 \text{ В}$ ,  $S_{H2} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Вимірювальний трансформатор напруги призначений для пониження високої напруги до стандартного значення – 100 або  $\sqrt{3} \cdot 100$ , від первинних кіл високої напруги для кіл вимірювання та релейного захисту.

Паспортні дані НТМИ-10:

$$U_{НОМ1} = 10\text{кВ}$$

$$U_{НОИМ2} = 100\text{ В}$$

$$S_{НОМ2} = 120\text{ ВА}$$

Розрахунок вимірювального трансформатора напруги типу НТМИ - 10-66У3. Трансформатори напруги встановлюємо на кожній секції збірних шин 10кВ.

Умова роботи вимірювального трансформатора напруги в класі точності 0.5 :

$$S_{НОМ2} \geq S_P, [\text{ВА}]$$

Таблиця 9.10.

Прилад	Тип приладу	Потужність однієї котушки, ВА	Кількість приладів,шт	Сумарна потужність ВА
Ватметр	Д-305	2	1	4
Лічильник активної та реактивної енергії	"Альфа"	3,7	10	37
Вольтметр	Э-335	2	1	2
Разом				43

Розраховуємо сумарне навантаження вторинних обмоток вимірювального трансформатора напруги.

$$S_{\Sigma 2} = S_{PP} + S_{P.3}, [\text{ВА}],$$

де  $S_{PP}$  – навантаження приладів;

$S_{P.3}$  – навантаження оперативних кіл.

$$S_{\Sigma 2} = 43 + 20 = 63 \text{ ВА}$$

Оскільки, умова:

$$S_{НОМ2} = 120 \text{ ВА} \geq S_P = 63 \text{ ВА}$$

виконується, то трансформатори напруги задовольняють умову перенавантаження і можуть бути прийняті до установки.

Визначаємо втрати напруги в з'єднувальних провідів.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot z_{PP}}{U_{N2}} \cdot 100\% \leq 0.5\%,$$

$$\text{де } I_N = \frac{S_{\Sigma 2}}{U_N} = \frac{63}{100} = 0,63 \text{ А};$$

$$z_{PP} = \frac{\rho \cdot l_P}{S_{СТ}} = \frac{0,028 \cdot 10}{6} = 0,047 \text{ Ом.}$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,63 \cdot 0,047}{100} \cdot 100\% = 0,05\% \leq 0,5\%$$

Оскільки умова:

$$\Delta U \leq 0.5\%$$

виконується приймаємо провід стандартним перерізом  $S_{СТ} = 6 \text{ мм}^2$

## 9.4. Вибір трансформаторів власних потреб ЦРП

Оскільки на ЦРП є споживачі власних потреб, то їх роботу забезпечує два трансформатора ВП. За орієнтуючими даними[(7), с.638] визначимо встановлену потужність власних потреб.

Таблиця 9.11

№ п/п	Найменування споживачів власних потреб	Встановлена потужність в кВт			cos φ	навантаженн я	
		Одного	Кількіс ть	Всього		P, кВт	Q, Квар
1	Підігрів шаф КРУ	1	23	23	1	23	-
2	Навантаження оперативних кіл	1	2	2	1	2	-
3	Зовнішнє освітлення території	2	1	2	1	2	-
4	Всього	-	-	-	-	27	0

Визначаємо встановлену потужність ТВП:

$$S_{\text{встан}} = \sqrt{27^2 + 0^2} = 27 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Розрахункова потужність споживачів ВП:

$$S_{\text{розр}} = K_c \cdot S_{\text{встан}} = 0,8 \cdot 27 = 21,6 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_{\text{роз тр}} = \frac{S_{\text{розр}}}{1,4} = \frac{21,6}{1,4} = 15,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Вибираємо ТВП за умовою:

$$S_{\text{ном тр}} > S_{\text{роз тр}}$$

Приймаємо ТВП : ТСЗ-16/10УЗ.

## 10. Релейний захист і автоматика

Для живлення релейного захисту та автоматики, управління вимикачами, аварійної і попереджувальної сигналізації вибираємо в якості джерела живлення постійний струм на номінальну напругу 220 В. для забезпечення надійного живлення оперативним струмом відповідних пристроїв мережа ділиться на різні ділянки, для того щоб пошкодження на одному з них не порушувало роботу інших.

Всі споживачі постійного оперативного струму діляться по ступеням їх відповідності на декілька категорій. Найбільш відповідальними із споживачів є ланцюги оперативного струму релейного захисту, автоматики та управління вимикачами.

При виборі типів релейного захисту (РЗ) слід керуватися тим, що пристрої РЗ мають забезпечувати автоматичне вимикання елемента, що захищається, на випадок його пошкодження, яке становить безпосередню безпеку для нього чи для всієї установки, а також у разі виникнення умов, що загрожують пошкодженням (різке зниження рівня масла у трансформаторі) або порушення нормального режиму роботи електроустановки. Якщо порушення нормального режиму роботи чи пошкодження не являють безпосередню безпеку для електроустановки, то пристрої релейного захисту мають забезпечувати сигналізацію, яка вказує на виникнення цих режимів.

При виборі джерел оперативного струму слід враховувати що постійний оперативний струм від акумуляторних батарей використовується на потужних підстанціях при наявності масляних вимикачів великої потужності, а також тоді, коли акумуляторні батареї необхідні крім живлення кіл оперативного струму для інших потреб.

Частіше використовується змінний оперативний струм. Як джерела змінного оперативного струму використовуються вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб. Трансформатори струму

можуть бути надійними джерелами живлення захистів тільки від коротких замикань, що супроводжуються значними струмами пошкодження та непридатні для живлення оперативних кіл у робочих режимах, в також однофазних замиканнях на землю. Трансформатори напруги та власних потреб, навпаки, непридатні для живлення захистів при коротких замиканнях і можуть застосовуватися для керування у нормальних режимах, в також для захисту в від пошкоджень, що не супроводжуються значними зниженнями напруги /перевантаження, виткові замикання трансформатора, зниження рівня масла/.

Для живлення кіл захисту у разі відсутності як напруги, так і струму у силових колах /наприклад, у паузу -АПВ/ використовують схеми з попередньо зарядженими конденсаторами. Зарядка конденсаторів здійснюється через зарядний пристрій від трансформаторів напруги чи власних потреб. Ці пристрої придатні для вимикання вимикачів практично а будь-якими приводами. Основним недоліком їх є імпульсність дії що обумовлює неможливість їх застосування для живлення елементів, які працюють зі значним уповільненням. В основному вони використовуються для вимкнення вимикачів і віддільників .

Як джерело випрямного оперативного струму використовуються випрямляючі блоки живлення, що являють собою пристрої, які підключають до трансформаторів струму, напруги чи власних потреб. Вони випрямляють струм і забезпечують постійну напругу, що використовується для живлення оперативних кіл. Бувають випрямлячі блоки живлення струму, напруги та комбіновані. Джерела випрямленого змінного струму можуть використовуватися для живлення захистів, що реагують на будь-які види пошкоджень і ненормальні режими роботи. Недоліками таких блоків є недостатня потужність для живлення котушок вмикання електромагнітних приводів і одночасного вимкнення кількох вимикачів а також неможливість їх використання при вимкненні джерела живлення.

При виборі схеми релейного захисту треба керуватися типовим схемними рішеннями. Проте слід пам'ятати про особливості конкретного РЗ, що накладаються використовуваною комутаційною апаратурою, фактичне джерело оперативного струму, віддаленість підстанції від джерела живлення тощо.

Методика вибору струмів спрацьовування захистів визначається типом захистів і вимогами, що ставляться до її чутливості й надійності. Наприклад, для спрацювання вибирається з умов відстроювання від кидків струму намагнічування при вмиканні трансформатора й небалансу за зовнішніх коротких замикань. Струм спрацьовування максимального струмового захисту відстроюється від максимальних струмів навантаження.

Витримка часу максимального струмового захисту вибирається з умови узгодження із захистом попередньої ділянки. При узгодженні із захистом, що має незалежну витримку часу, ступінь часу обирається 0,35...0,6 с при узгодженні із захистом, що має залежну характеристику, - 0,6 ...1 с. При узгодженні зі швидкодіючим захистом ступінь часу обирається 0,35...0,4 с.

Загальні принципи побудови диференційного струмового захисту силових трансформаторів.

Поздовжній диференційний струмовий захист - основний швидкодіючий захист трансформаторів з обмоткою ВН 3 кВ та вище.

Згідно з правилами влаштування електроустановок рекомендується використовувати диференційний захист на поодинокі працюючих трансформаторах потужністю  $S_{\text{тр}} \geq 10000 \cdot \text{кВА}$  і на трансформаторах потужністю  $S_{\text{тр}} \geq 10000 \cdot \text{кВА}$ , що працюють паралельно, Диференційний захист встановлюється також на трансформаторах потужністю  $S_{\text{тр}} = 10000 \cdot \text{кВА}$ . у випадку, якщо більш простий захист (струмова відсічка, максимальний струмовий захист) не задовольняє умовам чутливості або має більшу витримку часу (понад 0,5 с).

Розглянемо більш докладно релейний захист і автоматику знижувального трансформатора. Знижувальний трансформатор повинен мати

максимальний струмовий захист від надструмів, узгоджений за струмом і часом з наступними елементами схеми. Окрім максимального струмового захисту від надструмів силовий трансформатор, залежно від потужності повинен мати газовий захист, що забезпечує його вмикання при пошкодженні на стороні вищої напруги. Якщо на підстанції передбачене чергування персоналу чи передача попереджувальних і аварійних сигналів на який-небудь черговий пункт, то встановлюють захист трансформатора від перевантаження, який діє на сигнал з витримкою часу більшою за витримку часу інших захистів на об'єкті, як правило, 8...10с.

### 10.1. Максимальний струмовий захист

Максимальний струмовий захист (МСЗ)- Найпростіший і надійний захист, що широко застосовується для захисту трансформаторів.

Визначаємо номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{ном} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ A.}$$

Трансформатори струму прийняті з коефіцієнтом трансформації 75/5, схема захисту неповна зірка;  $K_{СХ}=1$ .

Струм спрацювання захисту:

$$I_{СЗ} = \frac{K_n \cdot (I_{ном} \cdot K_{сп} + I_{ном})}{K_{п}} = \frac{1,2 \cdot (55 \cdot 1,5 + 55)}{0,85} = 194,12 \text{ A,}$$

де  $K_n=1,2$ -коефіцієнт надійності;  $K_{сп}=1,5$ -коефіцієнт само запуску;  $K_{п}=0,85$ -коефіцієнт повернення реле.

Чутливість захисту при короткому замиканні на своїй ділянці:

$$I_{kmin}=9170 \cdot (0,4/10)=366,8 \text{ A}$$

$$K_{ч} = \frac{I_{kmin}}{I_{СЗ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 366,8}{194,12} = 1,64 > 1,5,$$

де  $I_{k \min}$  - мінімально ймовірне значення струму при короткому замиканні на стороні вищої напруги трансформатора.

Уставка реле струму:

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CX}}{K_{T,TC}} = \frac{194,12 \cdot 1}{15} = 12,94 A.$$

Обираємо реле типу РТ-40/20 з паралельним з'єднанням котушок.

Установка часу захисту (реле):

$$t_{c31} = t_{\max} + \Delta t.$$

Обираємо реле часу типу ЕВ-122 з напругою 110 В постійного струму.

$$\Delta t = 0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,1 = 0,42 \approx 0,4 \text{ с},$$

де 0,12- похибка двох реле ЕВ-122; 0,08 - час до згасання дуги на контактах вимикача; 0,1- запас часу.

Тоді:

$$t_{c31} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с};$$

$$t_{c32} = 1,6 + 0,4 = 2 \text{ с}.$$

## 10.2. Розрахунок миттєвого діючого струмового захисту

### (відсічки)

Максимальний номінальний струм на стороні 10 кВ:

$$I_{MAX} = \frac{1,4 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 77 A.$$

Відсічка – найбільш простий з диференційних захистів трансформаторів. Вона виконується за допомогою максимальних реле струму типу РТМ або РТ-40. При цьому відстройка захисту від піку струму намагнічування здійснюється за допомогою невеликої витримки. Справа в тому, що пік миттєвого значення струму намагнічення швидко знижується від

початкового рівня  $(6...8)I_{НОМ}$  до  $(2...3)I_{НОМ}$  усього за  $0,04...0,06$  с. Приблизно такий самий час потрібен для спрацювання реле прямої дії типу РТМ. Реле побічної дії типу РТ-40 спрацьовує швидше, і щоб зтягнути час спрацювання його доповнюють проміжним реле. В результаті приблизно з запасом 1,5 разів приймається

$$I_{C3} = 4,5 \cdot I_{MAX} = 4,5 \cdot 77 = 346,5 \text{ A.}$$

Вибір такого великого струму  $I_{C3}$ , як завжди, забезпечує також відстройку й від режиму зовнішнього короткого замикання.

Перевіримо коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{k \min}}{I_{C3}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1394}{346,5} = 3,48 > 2.$$

Знаходимо вторинний струм:

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CX}}{K_{T,TC}} = \frac{346,5 \cdot 1}{15} = 23,1 \text{ A.}$$

Так як,  $K_{\text{ч}} > 2$  диференційна струмова відсічка прийнята.

### 10.3. Захист від перевантажень

Струм спрацювання сигналізації:

$$I_{CC} = \frac{K_{ВД} \cdot K_{C3п}}{K_{II}} \cdot I_{MAX} = \frac{1,05 \cdot 1,35}{0,85} \cdot 77 = 128,4 \text{ A.}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{CP} = \frac{I_{CC} \cdot K_{CX}}{K_{T,TC}} = \frac{128,4 \cdot 1}{15} = 8,56 \text{ A.}$$

Час спрацювання сигналізації:

$$t_{cc} = t_{c3}^{MC3} + \Delta t = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ с,}$$

де  $\Delta t = 0,4$  с- ступінь селективності.

Таблиця 10.1 .

Струм спрацювання		Коефіцієнт	Час спрацюва ння захисту
захисту	реле		
I <sub>сз</sub>	I <sub>сп</sub>	К <sub>ч</sub>	t <sub>сз</sub>
A	A	-	с
Відсічка			
346,5	23,1	3,48	-
Максимальний струмовий захист ( МСЗ )			
194,12	12,94	1,64	2
Захист від перевантажень ( з дією на сигнал )			
128,4	8,56	-	2,4

## 11. Вибір оперативного струму для елементів управління та автоматика

При виборі джерел оперативного струму слід враховувати, що постійний оперативний струм від акумуляторних батарей використовується на потужних підстанціях при наявності масляних вимикачів великої потужності, а також тоді, коли акумуляторні батареї необхідні крім живлення кіл оперативного струму для інших потреб (наприклад, на заводських ТЕЦ).

Частіше використовується змінний оперативний струм. Як джерела змінного оперативного струму використовується вимірювальні трансформатори струму, напруги та власних потреб. Трансформатори струму можуть бути надійними джерелами живлення захистів тільки від коротких замикань, що супроводжуються значними струмами пошкодження та непридатні для живлення оперативних кіл у робочих режимах, а також для захисту від пошкоджень, що не супроводжуються значними зниження напруг (перенавантаження, виткові замикання трансформатора, зниження рівня масла).

Для живлення кіл захисту у разі відсутності як напруги, так і струму у силових колах (наприклад, у паузах при автоматичному повторному включенні) використовують схеми з попередньо зарядженими конденсаторами. Зарядка конденсаторів здійснюється через зарядний пристрій від трансформаторів напруги чи власних потреб. Ці пристрої придатні для вимикання вимикачів практично з будь-яким приводом. Їх основним недоліком є імпульсність дії, що обумовлює неможливість їх застосування для живлення елементів, які працюють із значним уповільненням. В основному вони використовуються для вимкнення вимикачів та віддільників.

Як джерело випрямленого оперативного струму використовується випрямлячі блоки живлення, що являють собою пристрої, які підключають до трансформаторів струму, напруги чи власних потреб.

Вони випрямляють струм і забезпечують постійну напругу, що використовується для живлення оперативних кіл. Джерела випрямленого оперативного струму можуть використовуватись для живлення захистів, що реагують на будь-які види пошкоджень та ненормальні режими роботи. Недоліками таких блоків є недостатня потужність для живлення котушок вмикання електромагнітних приводів і одночасного вимкнення кількох вимикачів, а також неможливість їх використання при вимкненні джерела живлення.

Скориставшись вищенаведеними рекомендаціями, в якості джерела постійного струму використовуємо акумуляторні батареї для живлення ланцюгів управління, сигналізації, автоматики, аварійного освітлення, а також для електропостачання найбільш відповідальних механізмів (масло насоси змащення, пожежні насоси, системи регулювання роботи турбогенератора).

Всі споживачі енергії, що живляться від акумуляторних батарей, діляться на три групи:

1. Постійно ввімкнені споживачі (апарати пристроїв управління, блокування, сигналізації та релейного захисту, які постійно обтікають струмом, а також постійно ввімкнена частина аварійного освітлення).
2. Тимчасово ввімкнені споживачі. З'являються під час аварійного режиму. Це струми навантаження аварійного освітлення та електродвигунів постійного струму. Тривалість такого навантаження для електростанцій, що мають зв'язок з енергосистемою, приймається рівним 0,5 год.
3. Короткочасні ввімкнені споживачі (не більше 5 с). Таке навантаження створюється струмами включення та відключення приводів вимикачів і автоматів, а також пусковими струмами електродвигунів, струмами навантаження апаратів управління, блокування, сигналізації та релейного захисту, які тимчасово обтікають струмом.

### 13. Компенсація реактивної потужності

Розрахункова реактивна потужність всього підприємства

$$Q_p = 4248,9 \text{ квар.}$$

Так як вимогою системи є повна компенсація реактивної потужності, то вибираємо конденсаторні установки. Активна потужність рівна 4250 кВт, можемо порахувати скільки вони компенсують.

Скомпенсована  $Q_p$ :

$Q_p = P_{сд} \cdot \text{tg}\varphi = 4250 \cdot (-0.484) = -2057 \text{ квар}$ , а це  $\approx 40\%$  максимальної реактивної енергії, що споживає наше підприємство. Тому при виборі компенсаторних установок в цехах, враховуємо, що 30% компенсують СД. В якості КП використовуємо регульовані конденсаторні батареї напругою 0,4 кВ, потужності в місцях установки яких, приблизно, дорівнюють споживаємим максимальним реактивним потужностям.

Вибираємо КП за умовою:

$$Q_{кп} > Q_p$$

Приймаємо до встановлення установки типу ККУ-0,4 з такими потужностями:

Табличка 13

№ п/п	Найменування	Qp, кВАр	Qкку, кВАр
№ 1	КТП	4248,9	4250

## 12 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ НА 0,4 КВ РЕМОНТНОГО БЛОКУ

Всі електроприймачі 0,4 кВ розраховані трифазний змінний струм. За категорією надійності електропостачання вони відносяться до 2-ї категорії і встановлюються стаціонарно.

Всі електродвигуни для технологічного обладнання вибрано в закритому виконанні з короткозамкненим ротором. Для пуску електродвигунів використано магнітні пускачі і кнопки керування. Вихідні дані електроприймачів ремонтного блоку приведені в табл. 12.1

Таблиця 12.1.

№ п/п	Назва	Потужність, кВт	Кв	Cos φ
1	Преобразивний апарат	7	0,16	0.5
2	Трубозгинальний в-т.	4,5	0.16	0.5
3	Точило	0,6	0,16	0.5
4	Вентилятор	4,5	0,65	0.8
5	Зубофрезерний в-т.	7	0,16	0.5
6	Вертикально-фрезерний в-т.	3,53	0,16	0.5
7	Стенд для збірки 1	0,6	0,16	0.5
8	Стенд для збірки 2	4,5	0,16	0.5
9	Точило	0,6	0,16	0.5
10	Вертикально-свердлувальний в-т.	4,5	0,16	0.5
11	Вертикально-свердлувальний в-т.	0,6	0,16	0.5
12	Горизонтально-фрезерний в-т.	6,2	0,16	0.5
13	Продольно-стругальний в-т.	16,2	0,16	0.5
14	Вертикально-свердлувальний в-т.	10	0,16	0.5
15	Кран-Балка ПВ=40%	2,8	0,16	0.5
16	Верстаки	4,5	0,16	0.5
17	Продольно-стругальний в-т.	10	0,16	0.5

### 12.1. Визначення розрахункової потужності групи електроприймачів

Розрахунок подамо в табличній формі (таблиця 2.1). Приклад розрахунку покажемо на прикладі преобразивного апарату :

З довідникових даних  $K_B = 0,16$  та  $\cos \varphi = 0,5$ .

Визначаємо номінальну потужність споживачів:

$$P_{\text{ном} \sim} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ном}} = 1 \cdot 7 = 7 \text{ кВт}$$

Визначаємо середню потужність підгрупи споживачів

$$P_{\text{см}} = K_B \cdot P_{\text{ном}}$$

$$Q_{\text{см} \sim} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi$$

$$P_{\text{см}} = 0,16 \cdot 7 = 1,12 \text{ кВт}$$

$$\text{tg} \varphi = \text{tg}(\arccos 0,5) = 1,73$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi$$

$$Q_{\text{см}} = 1,12 \cdot 1,73 = 1,93 \text{ кВАр}$$

Груповий коефіцієнт використання

$$K_g = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{ном}}}$$

$$K_g = \frac{32,8}{179,1} = 0,18$$

Ефективна кількість споживачів

Визначається ефективне число електроприймачів  $n_e$ ;

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}^2} = 20$$

якщо при цьому виходить  $n_e > n$ , то приймають  $n_e = n$ ;

За таблицею 2.1 знаходиться значення розрахункового коефіцієнту  $K_M$  у функції  $K_B$  і  $n_e$ .

Коефіцієнт максимуму

$K_M = f(K_B, n_e)$  визначається за табл. 2.1 ст.28 (1)

$K_B$	
$n_e$	0,18
20	1,59

Отже  $K_M = 1,59$

Підраховуються розрахункові значення навантажень  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$  за формулами:

$$P_p = K_M \times P_{\text{см.}\Sigma} ;$$

$$P_{p\sim} = 1,59 \cdot 32,8 = 52,1 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1,1 \times Q_{\text{см.}\Sigma}, \text{ якщо } n_e \leq 10; \quad Q_p = Q_{\text{пр.}\Sigma} \text{ якщо } n_e > 10;$$

$$\text{То } Q_{p\sim} = 50,64 \text{ кВАр}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2};$$

$$S_p = \sqrt{52,1^2 + 50,64^2} = 72 \text{ кВА}$$

### Обчислення пікових струму та пікової потужності

Піковий струм групи споживачів визначається, виходячи з таких умов: всі двигуни крім найпотужнішого працюють в нормальному режимі, а найпотужніший запускається.

Виходячи з цього можна записати формулу для визначення пікового струму:

$$\tilde{I}_{\text{пик}} = I_{n(\text{дв})}^{\text{макс}} + (\tilde{I}_p - K_B \cdot I_{\text{ном}(\text{дв})}^{\text{макс}}),$$

де  $I_{n(\text{дв})}^{\text{макс}}$  - пусковий струм найпотужнішого двигуна в групі;

$\tilde{I}_p$  - розрахунковий струм усіх електроприймачів в групі, що працюють за змінним графіком навантаження;

$K_B$  - коефіцієнт використання для пресу холодного видавлювання

$I_{\text{ном}(\text{дв})}^{\text{макс}}$  - номінальний струм найпотужнішого двигуна в групі.

$$I_{\text{ном}}^{\text{макс}} = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}$$

$$I_{\text{ном}}^{\text{макс}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{16,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,95} = 51,8 \text{ А}$$

Пусковий струм:

$$I_{\text{п}}^{\text{макс}} = 5 \cdot I_{\text{ном}}^{\text{макс}} = 5 \cdot 51,8 = 259 \text{ А}$$

де  $K_{\text{п}}=5$  - кратність пускового струму.

$$I_p^{\text{макс}} = \frac{P_p^{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{16,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,8} = 61,6 \text{ А}$$

Тоді, піковий струм для СП1:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}^{\text{макс}} + (I_p - K_B \cdot I_{\text{ном}}^{\text{макс}}) = 259 + (110,7 - 0,16 \cdot 51,8) = 361,4 \text{ А}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 12.2.

№ п/п	Найменування	Кіл ькіс ть	P, кВт		K <sub>B</sub>	cos φ	tg φ	η <sub>c</sub>	P <sub>CM</sub> , кВт	Q <sub>CM</sub> , квар	K <sub>M</sub>	P <sub>P</sub> , кВт	Q <sub>P</sub> , квар	S <sub>P</sub> , кВ·А	I <sub>P</sub> , А
			P <sub>BCT</sub>	P <sub>НОМ</sub>											
1	Преобразивний в-т.	1	7	7	0,16	0,5	1,73		1,12	1,93					
2	Трубозгинальний в-т.	1	4,5	4,5	0,16	0,5	1,73		0,72	1,2					
3	Точило	2	0,6	1,2	0,16	0,5	1,73		0,19	0,32					
4	Вентилятори	2	4,5	9	0,65	0,8	0,75		5,8	4,3					
5	Зубофрезерний в-т	1	7	7	0,16	0,5	1,73		1,12	1,93					
6	Вертикально-фрезерний в-т.	1	3,53	3,53	0,16	0,5	1,73		0,56	0,96					
7	Стенд для збірки 1	1	0,6	0,6	0,16	0,5	1,73		0,09	0,15					
8	Стенд для збірки 2	1	4,5	4,5	0,16	0,5	1,73		0,72	1,2					
9	Точило	5	0,6	3	0,16	0,5	1,73		0,48	0,83					
10	Вертикально-свердлувальний в-т.	2	4,5	9	0,16	0,5	1,73		1,44	2,4					
11	Вертикально-свердлувальний в-т.	3	0,6	1,8	0,16	0,5	1,73		0,28	0,48					
12	Горизонтально-фрезерний в-т.	1	6,2	6,2	0,16	0,5	1,73		0,99	1,7					
13	Продольно-стругальний в-т.	2	16,2		0,16	0,5	1,73		0,51	8,8					
14	Вертикально-свердлувальний в-т.	1	10	10	0,16	0,5	1,73		1,6	2,7					
15	Кран- балка	1	1,4	1,4	0,16	0,5	1,73		0,2	0,34					
16	Верстаки	4	4,5	18	0,16	0,5	1,73		2,8	4,8					

17	Продольно-стругальный в-т.	3	10	30	0,16	0,5	1,73		9,6	16,6					
<i>Сума</i>		--		<i>149,1</i>	<i>0,18</i>	<i>-----</i>	<i>-----</i>	<i>20</i>	<i>32,8</i>	<i>50,64</i>	<i>1,59</i>	<i>52,1</i>	<i>50,64</i>	<i>72</i>	<i>110,7</i>

Табличка 12.2

## Вибір автоматичного вимикача (АВ) від ТП до групи електроприймачів

Вибір автоматичного вимикача (АВ) від ТП до групи електроприймачів:

Умови вибору АВ:

$$U_{\text{НОМ}}^{\text{АВ}} \geq U_{\text{НОМ}}^{\text{мережі}}$$

$U_{\text{НОМ}}^{\text{мережі}}$  – номінальна напруга мережі, в якій застосовується вимикач.

Номінальний струм розчеплювача:

$$I_{\text{НОМ розч}} \geq I_{\text{розр}}$$

Номінальний струм АВ:

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{АВ}} \geq I_{\text{НОМ розч}}$$

Перевірка АВ за струмом спрацювання розчеплювача миттєвої дії

$$I_{\text{спрац}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пік}}$$

Автоматичні вимикача вибираємо з табл.12.3 стор.324[2]

Для кабельних ліній вибираємо АВ типу **А3716Б**

Таблиця 12.3.

АВ- А3716Б		
паспорт	умова	факт.
$U_{\text{НОМ}}^a = 380 \text{ В}$	=	$U_{\text{НОМ}}^M = 380 \text{ В}$
$I_{\text{НОМ}}^P = 160 \text{ А}$	>	$I_p = 155,1 \text{ А}$
$I_{\text{НОМ}}^a = 160 \text{ А}$	=	$I_{\text{НОМ}}^P = 160 \text{ А}$
$I_{\text{спр}} = 1600 \text{ А}$	>	$1,25 \cdot I_{\text{пік}} = 1,25 \cdot 578,45 \text{ А} = 723,06 \text{ А}$

### **Вибір кабельної лінії від ТП до групи силових пунктів**

Вибираємо КЛ типу АВВГнг напругою до 1кВ, прокладка в землі  
Розрахунковий струм всіх електроприймачів:

$$I_p = 155,1 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель для споживачів змінного струму за умовою:

$$I_{\text{каб}} \geq I_z \frac{K_3}{K_n}$$

$$I_z = 320 \text{ А} \text{ – струм апарату захисту (автоматичного вимикача).}$$

Кратність струму для кабельної лінії відносно струму апарату захисту

$$K_3 = 1,25$$

Так, як цех має II категорію надійності електропостачання, то обираємо 2 кабельні лінії. Щоб в аварійному випадку відбувалося надійне ел. Постачання. В нормальному випадку, один з ввідних автоматів розімкнений і живлення здійснюється по 1-й кабельній лінії.

Коефіцієнт прокладання  $K_n = 0,9$

$$I_z \frac{K_3}{K_n} = 160 \frac{1,25}{0,9} = 222,2 \text{ А}$$

Отже, вибрали кабель АВВГнг-4х120 з  $I_{\text{доп}} = 241 \text{ А}$ .

$241 \text{ А} > 222,2 \text{ А}$  – умова виконується, кабель вибрано вірно.

## Вибір автоматичних вимикачів

### Вибір апаратів захисту електроприймачів

Умови і вибір автоматичного вимикача наведені в таблиці.

Таблиця. Вибір автоматичних вимикачів

Паспорт	Умова вибору	Факт	Одиниці
380	$U_{\text{НОМ}}^A \geq U_{\text{НОМ}}^M$	380	В
14	$I_{\text{НОМ}}^P \geq I_H$	13,2	А
20	$I_{\text{НОМ}}^a \geq I_{\text{НОМ}}^P$	14	А
250 А	$I_{\text{СПР}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{ПІК}}$	82	А

У якості апаратів захисту вибираємо автоматичні вимикачі. Для прикладу виберемо АВ в приєднанні *преобразивного апарату*.

Визначаємо номінальний струм

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 13,2 \text{ А}$$

Отже, вибираємо [ABB SH203 B25/3](#)  $I_{\text{НОМ}}^a = 14 \text{ А}$

Таблиця . Вибір автоматичних вимикачів силової мережі

№	Найменування	Кількість	Електроприймач			Автоматичний вимикач			
			$P_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$ , А	$\cos \varphi$	$1,25 \cdot I_{\text{П}}$	$I_{\text{НОМ}}^P$ , А	$I_{\text{НОМ}}^a$ , А	Тип
1	Па	1	7	13,2	0,85/ 0,95	82	20	14	Abb SH 203B25/1
2	Тв	1	4,5	8,4	0,85/ 0,95	52	16	9	Abb SH 203B25/3
3	Т-ло	2	0,6	1,1	0,85/ 0,95	6,8	16	2	Abb SH 203B25/3
4	В-ри	2	4,5	8,4	0,85/ 0,95	52	16	9	Abb SH 203B25/3
5	Зв	1	7	13,2	0,85/ 0,95	82	20	14	Abb SH 203B25/3

6	ВФВ	1	3,53	6,6	0,85/ 0,95	41,2	16	7	Abb SH 203B25/3
7	Стенд1	1	0,6	1,1	0,85/ 0,95	6,8	16	2	Abb SH 203B25/3
8	Стенд2	1	4,5	8,4	0,85/ 0,95	52	16	9	Abb SH 203B25/3
9	Т-ло	5	0,6	1,1	0,85/ 0,95	6,8	16	2	Abb SH 203B25/3
10	ВСВ1	2	4,5	8,4	0,85/ 0,95	52	16	9	Abb SH 203B25/3
11	ВСВ2	3	0,6	1,1	0,85/ 0,95	6,8	16	2	Abb SH 203B25/3
12	ГФВ	1	6,2	11,9	0,85/ 0,95	74	20	12	Abb SH 203B25/3
13	ПСВ	2	16,2	30,5	0,85/ 0,95	190	36	32	Abb SH 203B25/3
14	ВСВ	1	10	18	0,85/ 0,95	112	40	20	Abb SH 203B25/3
15	К-Б	1	1,4	1,8	0,85/ 0,95	11,2	16	2	Abb SH 203B25/3
16	В-ки	4	4,5	8,4	0,85/ 0,95	52	16	9	Abb SH 203B25/3
17	ПСВ	6	10	18	0,85/ 0,95	112	40	20	Abb SH 203B25/3

## **ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЩО ЖИВЛЯТЬ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ.**

Електроенергія в цеху розподіляється кабельними лініями, шинопроводами чи проводом у трубі.

Мережі напругою до 1кВ підлягають перевірці за економічною густиною струму при кількості годин використання максимуму навантаження понад 4000...5000 год.

Переріз провідників у цехових мережах визначають, виходячи з двох умов:

1. за умовою нагріву розрахунковим струмом:

$$I_{пр} \geq \frac{I_{розр}}{\kappa_{прок}};$$

2. за умовою відповідності максимального струмового захисту апаратові:

$$I_{пр} \geq \frac{\kappa_3 \cdot I_3}{\kappa_{прок}},$$

де  $\kappa_{прок}$  - коефіцієнт прокладки,  $\kappa_3$  - кратність струму для провідника відносно струму апарата захисту;  $I_3$  - струм апарата захисту.

Вибір провода покажемо на прикладі *преобразивного апарату*.

Для даного варіанту приймаємо  $\kappa_3 = 1$  та  $\kappa_{п} = 1$ .

$$1) I_{пр} = 15 \text{ А} > \frac{I_{розр}}{\kappa_{п}} = 15 \text{ А}$$

2)  $I_3 = 14 \text{ А}$ , де  $I_3$ - струм апарату захисту

$$I_{пр} = 15 \text{ А} = I_3 \frac{\kappa_3}{\kappa_{п}} = 14 \text{ А}$$

Приймаємо провід типу ПВ 500 в перерізом  $S_{ст} = 2 \text{ мм}^2$  та діаметром жили  $d_{ж} = 4 \text{ мм}$ .

Таблиця 10. Вибір провідників

№	Найменування	Кількість	Електроприймач			Провід ПВ-500		
			$P_{ном}$	$I_{пр}$ , А	$I_{ав. ном}$	$I_{доп}$ , А	$S_{ст}$ , мм <sup>2</sup>	$d_{ж}$ , мм <sup>2</sup>
1	Па	1	7	13,2	14	15	2	4
2	Тв	1	4,5	8,4	9	10	2	4
3	Т-ло	2	0,6	1,1	2	10	2	4
4	В-ри	2	4,5	8,4	9	10	2	4
5	Зв	1	7	13,2	14	15	2	4

6	ВФВ	1	3,53	6,6	7	10	2	4
7	Стенд1	1	0,6	1,1	2	10	2	4
8	Стенд2	1	4,5	8,4	9	10	2	4
9	Т-ло	5	0,6	1,1	2	10	2	4
10	ВСв1	2	4,5	8,4	9	10	2	4
11	ВСв2	3	0,6	1,1	2	10	2	4
12	ГФВ	1	6,2	11,9	12	15	2	4
13	ПСв	2	16,2	30,5	32	32	10	16
14	ВСв	1	10	18	20	23	4	6,2
15	К-Б	1	1,4	1,8	2	10	2	4
16	В-ки	4	4,5	8,4	9	10	2	4
17	ПСв		10	18	20	23	4	6,2

### **Розрахунок освітлювальних навантажень**

Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок проведемо методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Освітлення застосовуємо рівномірне, використовуючи світлодіодні лампи . Розрахунок ведеться методом коефіцієнту використання.

Вихідні данні:

- висота цеху  $H = 7$  м
- довжина x ширина 84 x 70
- нормативне освітлення для машинного відділення 300Лк [4.4 (8)],
- висота робочої поверхні 0,8 м
- звіс світильників 0,5 м
- приймаємо, що в цеху чиста побілена стеля і стіни при незавішених вікнах. Тоді, коефіцієнти відбиття –  $\rho_c=0,5$ ;  $\rho_s=0,3$ ;  $\rho_p=0,1$ . За таб. 5.1[8]

Знаходимо розрахункову висоту світильників:

$$H_p = H - h_c - h_p$$

$$H_p = 7 \text{ м.}$$

За формулою вираховуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}$$

$$i := \frac{84 \cdot 50}{7 \cdot 134} = 5,4$$

За формулою знаходимо необхідну кількість світильників в приміщенні

$$N_{св} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot A \cdot B \cdot z}{\Phi_{треб.} \cdot u} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 84 \cdot 50 \cdot 1,1}{24200 \cdot 0,53} = 162$$

де  $N_{св}$  - необхідна кількість світильників;

$E_n$  - нормована освітленість;

$Z$  - відношення  $E_{ср}/E_{min}$ ;

$u$  – коефіцієнт використання для даного приміщення.

Обираємо 16 світильників, що являється достатньою умовою і складає , що не виходить за межу +20%/-10%.

$$\frac{300 \cdot \frac{162}{162}}{300} = 1,00 \quad \%$$

Фактична освітленість буде наступна:

$$E_{факт.} = E_n \cdot \frac{\Phi_n}{\Phi_{треб.}} = 300 \frac{162}{162} = 300 \text{ Лк.}$$

Встановлена потужність робочого освітлення:

$$P_p = 162 \cdot 15 = 2430 \text{ Вт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2430 \cdot 1,441 = 3501 \text{ вар}$$

Таким чином розраховуємо освітлення для інших приміщень. Розрахунок заносим у таблицю

#### Розрахунок освітлення приміщень

Приміщення	Розміри АхВ м	Норм. Осв. Лк	Індекс	Кількість ламп	Потужність Вт.
Ремонтний цех	84x50	300	5,4	162	2430
Приміщення №1	6x10	300	1,4	3	45
Приміщення №2	6x10	300	1,4	3	45
Приміщення №3	10x10	300	1,6	4	60
Приміщення №4	6x10	300	1,4	3	45

#### Розрахунок аварійного освітлення

Нормативну освітленість аварійного освітлення приймемо  $E_H = 30$  Лк. На плані вибираємо 11 ламп відповідно до приміщень. Розрахунок ведеться так само як для робочого освітлення.

$$\Phi_{л} = \frac{30 \cdot 1056 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{11 \cdot 0,53} = 7770,5 \text{ Лк.}$$

Обираємо лампу розжарювання Г-220-500 потужністю 200 Вт та світловим потоком 8300Лк.

Фактична освітленість буде

$$E_{\text{факт.}} = E_H \cdot \frac{\Phi_{л}}{\Phi_{\text{треб.}}} = 30 \cdot \frac{8300}{7770,5} = 32 \text{ Лк.}$$

Виконання аварійного освітлення показано в таблиці 6:

Приміщення	Виконання	Чергування фаз
Група 1 (верстатне відділення)	11 ламп	А
Група 2	11 лампи	В

Встановлена потужність аварійного освітлення  $P_{\text{в}}=22*15=330$  Вт;

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 656
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
3. Соловей О.І., Денисенко М.А. Дипломне проектування для спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання». – Київ, 2007. – 140с.
4. А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Изд-во ТПУ, 2006-248 с.
5. Кнорринг Г.М. Справочник по проектированию электрического освещения. - Л.: Энергия, 1991.
6. Промэлектроавтоматика. Конденсаторные установки. Каталог 2012.  
<http://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/low-voltage-krm/>
7. Правила улаштування електроустановок /Міненерговугілля України. - Київ-2014.
8. Кабели силовые с бумажной пропитанной и пластмассовой изоляцией. Закрытое акционерное общество «Завод «Южкабель». Каталог 2013, г.Харьков, Украина.
9. Сірій О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник – К.:ІСДОУ, 1993 – 592 с.

					<b>ЛП 2021</b>				
									<b>141</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Література</b>	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		<i>Шпук Д.С.</i>							
Перевір.		<i>Семко Д.М.</i>							
Реценз.									
Н. контр.									
Затверд.		<i>Балюта С.М.</i>							
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3			