

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання та
електрозбереження механічного цеху
машинобудівного заводу
Development of the power supply and power saving
system of the mechanical workshop of the machine-
building plant»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-20-ЗСКЗ
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ В. Домрачев
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ І. Савеленко
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *центр заочної та дистанційної освіти*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Домрачеву В'ячеславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу*

Development of the power supply and power saving system of the mechanical workshop of the machine-building plant

2. Керівник роботи *Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доцент*

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Мета: розробка системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу*

Завдання: 1. Вступ; 2. Електричні навантаження в системі електропостачання; 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання цеху; 4. Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання; 5. Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій; 6. Розрахунок струмів к.з. та вибір електрообладнання і мереж системи електропостачання цеху; 7. Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження цеху; 8. Висновки; 9. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>12.04-17.04</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання цеху</i>	<i>17.04-24.04</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання</i>	<i>24.04-01.05</i>	
5	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій</i>	<i>01.05-08.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів кз та вибір електрообладнання і мереж системи електропостачання цеху</i>	<i>08.05-15.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ. Розробка системи електрозбереження цеху</i>	<i>15.05-22.05</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>22.05-24.05</i>	
9	<i>Перелік посилань</i>	<i>24.05-26.05</i>	
10	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів</i>	<i>26.05-01.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Савеленко І.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Домрачев В.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 83 с.; 13 рис.; 31 табл.; 8 джерел

Домрачев В. Ю. Розробка системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Бакалаврська робота присвячена розробці системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу.

Після проведення розрахунку електричних навантажень 0,4 кВ активна потужність по цеху склала 929,58 кВт, а реактивна – 823,37 кВар без компенсації реактивної потужності. Побудовані графіки електричних навантажень. Отримане значення часу використання максимального навантаження – 5141 год, а часу максимальних втрат – 3579 год.

Техніко-економічне порівняння схем внутрішнього електропостачання показало, що найбільш оптимальною є схема з силовими пунктами 0,4 кВ і встановленням двох трансформаторів ТМ 630/10 та компенсуючих пристроїв з боку низької напруги з сумарною реактивної потужністю 670 кВар. На ТП встановлюємо дві конденсаторні установки типу УКМ-0,38-335-67. До використання прийнята змішана схема електропостачання – магістрально-радіальна. Для виконання розподільчої мережі застосовано кабель марки АВВГ.

Спеціальним розділом в кваліфікаційній роботі є розробка системи електрозбереження для цеху. Розглянуті наступні заходи економії електричної енергії: в електродвигунах; в вентиляційних установках; в освітлювальних установках. Виконаний розрахунок економії електричної енергії при впровадженні автоматичного регулювання роботи трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції.

Ключові слова: електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, вибір електричного обладнання, система електрозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 83 p.; 13 Fig.; 31 tables; 8 sources

Domrachev V. Yu. Development of the power supply and power saving system of the mechanical workshop of the machine-building plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The bachelor's work is devoted to the development of the power supply and power saving system of the mechanical shop of the machine-building plant.

After calculating the electrical loads of 0.4 kV, the active power in the workshop was 929.58 kW, and the reactive power was 823.37 kVar without reactive power compensation. Graphs of electrical loads are constructed. The obtained value of the time of use of the maximum load is 5141 hours, and the time of maximum losses is 3579 hours.

Technical and economic comparison of internal power supply schemes showed that the most optimal is the scheme with 0.4 kV power points and installation of two TM 630/10 transformers and compensating devices on the low voltage side with a total reactive power of 670 kVar. We install two YKM-0.38-335-67 type condenser units on the transformer substation. A mixed scheme of power supply is adopted for use - trunk-radial. ABBГ brand cable was used for the distribution network.

A special section in the qualification work is the development of a power saving system for the workshop. The following measures to save electrical energy are considered: in electric motors; in ventilation installations; in lighting installations. The calculation of electrical energy savings during the introduction of automatic adjustment of the operation of transformers at a two-transformer substation was performed.

Key words: electrical loads, compensation of reactive power, choice of electrical equipment, power saving system

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	10
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В	10
1.2. Визначення освітлювальних електричних навантажень	11
1.3. Визначення електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В	18
1.4. Графіки електричних навантажень	18
2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ	24
2.1. Схема приєднання і вибір напруги живлення цеху	24
2.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання цеху.....	24
3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	25
3.1. Розрахунок балансу та вибір пристроїв для компенсації реактивної потужності.....	25
3.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	28
4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	29
5. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ І МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ	30
5.1. Розрахунок струмів КЗ в мережах 10 і 0,4 кВ.....	30
5.2. Вибір струмопровідних пристроїв для силових мереж	40
5.3. Розрахунок освітлювальної мережі цеху.....	45
5.4. Техніко-економічне порівняння варіантів внутрішнього електропостачання цеху	48
5.5. Вибір електричного обладнання.....	57
6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ЦЕХУ	63
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Домрачев В.Ю.				Розробка системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу Development of the power supply and power saving system of the mechanical workshop of the machine-building plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Савеленко І.В.						6	83
Н. Контр.	Савеленко І.В.					ЦНТУ гр. ЕЕ-20-ЗСКЗ		
Затв.	Плешков П.Г.							

ВСТУП

Дана кваліфікаційна робота за ступенем «бакалавр» присвячена розробці системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу. В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи потрібно розробити систему електрозбереження для даного цеху.

Проектування системи електропостачання включає розрахунок електричних навантажень, який є основою для вибору необхідного електрообладнання. Обране обладнання повинно пройти перевірку на витримку струмів короткого замикання. Проектування системи електропостачання, яке розглядається у даній роботі, повинно враховувати економічні аспекти, тобто вибір конкретного варіанту або рішення базується на техніко-економічному розрахунку. Розробка системи електропостачання для підприємства зазначеного цеху передбачає більш детальне вивчення електричної мережі саме до 1000 В, а також вибір та порівняння різних варіантів, як правило, внутрішнього електропостачання.

Розробка системи енергозбереження передбачає впровадження заходів зі зменшення споживання електроенергії на даному підприємстві. Комплексна система енергозбереження включає енергозберігаючі заходи для окремих споживачів, включаючи технологічні і технічні підходи. Для розробки такої системи необхідно вивчити заходи енергозбереження, що стосуються використовуваного обладнання у цьому цеху, а також елементів системи електропостачання, яку розробляють.

Для проектування системи електропостачання в даній кваліфікаційній роботі використано ремонтно-механічний цех заводу «Червона зірка». Перелік струмоприймачів, що є вихідними даними для розрахунку електричних навантажень в мережах до 1000 В приведений в табл. 1. Генеральний план цеху з нанесенням маркування обладнання представлений в презентації до даної кваліфікаційної роботи.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

Таблиця 1. Перелік струмоприймачів механічного цеху машинобудівного заводу.

№ п/п	Найменування обладнання	Тип верстату	п	Р _н , кВт		Номер за планом	K _и	Cos
				Одного	Сумарна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перший поверх								
1	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	1	0,14	0,4
2	Подовжно-стругальний	1210	1	40	40,0	2	0,14	0,5
3	Зубофрезерний	5K328A	1	10	10,0	3	0,12	0,4
4	Радіально-свердлильний	PF31/9	1	9,7	9,7	4	0,12	0,4
5	Розточувальний верстат	W100	1	10	10,0	5	0,16	0,5
6	Координатно-розточувальний	2A450	1	20	20,0	6	0,2	0,6
7	Розточувальний верстат	2A622-1	1	15	15,0	7	0,16	0,5
8	Довбальний верстат	7Д430	1	12,2	12,2	8	0,12	0,4
9	Довбальний верстат	7Д430	1	12,2	12,2	9	0,12	0,4
10	Вертикально-свердлильний	2Н135	1	4	4,0	10	0,12	0,4
11	Гільйотинні ножиці	951	1	10	10,0	11	0,16	0,5
12	Подовжно-фрезерний	6М610Ф11	1	40	40,0	12	0,16	0,5
13	Токарно-гвинторізний	165	1	23,6	23,6	13	0,14	0,4
14	Токарно-гвинторізний	1М65	1	23,6	23,6	14	0,14	0,4
15	Токарно-гвинторізний	1М63МФ101	1	18,5	18,5	15	0,14	0,4
16	Токарно-гвинторізний	1М65	1	23,6	23,6	16	0,14	0,4
17	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	17	0,65	0,8
18	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	18	0,65	0,8
19	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	19	0,65	0,8
20	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	20	0,65	0,8
21	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	21	0,65	0,8
22	Прес гідравлічний	П6334А	2	22	44,0	22,23	0,65	0,8
23	Печь опору		8	40	320,0	25-32	0,7	0,85
24	Мостовий кран	Q=10 т	1	29,2	29,2	33	0,1	0,5
25	Прес гідравлічний	П6334А	1	22	22,0	25	0,65	0,8
Другий поверх								
1	Вертикально-фрезерувальний	6P13	1	10	10,0	34	0,17	0,5
2	Вертикально-фрезерувальний	6P12K	1	13	13,0	35	0,17	0,5
3	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	36	0,14	0,4
4	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	37	0,14	0,4
5	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	38	0,14	0,4
6	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	39	0,14	0,4
7	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	40	0,14	0,4
8	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	41	0,14	0,4
9	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	42	0,14	0,4
10	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	43	0,14	0,4
11	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	44	0,14	0,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	45	0,14	0,4
13	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	46	0,14	0,4
14	Токарно-гвинторізний	1K65	1	23,6	23,6	47	0,14	0,4
15	Вертикально-фрезерувальний	6P13	1	13	13,0	48	0,17	0,5
16	Вертикально-фрезерувальний	6P13	1	13	13,0	49	0,17	0,5
17	Вертикально-фрезерувальний	6T13Ф31	1	7,5	7,5	50	0,17	0,5
18	Вертикально-фрезерувальний	6P12	1	10	10,0	51	0,17	0,5
19	Вертикально-фрезерувальний	6P12	1	10	10,0	52	0,17	0,5
20	Подовжно-стругальний	1210	1	40	40,0	53	0,14	0,5
21	Подовжно-стругальний	1210	1	40	40,0	54	0,14	0,5
22	Подовжно-стругальний	1210	1	40	40,0	55	0,14	0,5
23	Токарно-гвинторізний	16K20	1	12,85	12,9	56	0,14	0,4
24	Токарно-гвинторізний	1K62Д	1	11	11,0	57	0,14	0,4
25	Токарно-гвинторізний	1K62	1	10	10,0	58	0,14	0,4
26	Зубофрезерний	625	1	6,2	6,2	59	0,12	0,4
27	Шліцефрезерувальний	5A352ПФ2	1	22	22,0	60	0,17	0,5
28	Зубофрезерний	5Д32	1	12	12,0	61	0,12	0,4
29	Зубофрезерний	5Д32	1	12	12,0	62	0,12	0,4
30	Зубодовбальний	514	1	3,4	3,4	63	0,17	0,5
31	Універсально фрезерувальний	ФАЧУ	1	9	9,0	64	0,14	0,5
32	Шліцефрезерувальний	5A352ПФ2	1	22	22,0	65	0,17	0,5
33	Зубостругальний	526	1	2,8	2,8	66	0,17	0,5
34	Усередині шліфувальний	3A228	1	10	10,0	67	0,15	0,4
35	Круглошліфувальний	3Б161	1	10	10,0	68	0,16	0,5
36	Плоскошліфувальний	3Л722	1	16	16,0	69	0,16	0,5
37	Круглошліфувальний	3A164	1	18,5	18,5	70	0,16	0,5
38	Плоскошліфувальний	3Е7118	1	8	8,0	71	0,16	0,5
39	Плоскошліфувальний	С827	1	4	4,0	72	0,16	0,5
40	Свердлильний верстат	2Н135	1	4	4,0	73	0,12	0,5
41	Свердлильний верстат	2Н135	1	4	4,0	74	0,12	0,5
42	Гідростенд	КИ4875М	1	40	40,0	75	0,65	0,8
43	Точильно-шліфувальний	3К623-Т	1	2,1	2,1	76	0,12	0,5
44	Точильно-шліфувальний	ТШ-400	1	2,8	2,8	77	0,12	0,5
45	Точильно-шліфувальний	ТШ-400	1	2,8	2,8	78	0,12	0,5
46	Вентилятор		1	80	80,0	79	0,8	0,8
47	Вентилятор		1	80	80,0	80	0,8	0,8
48	Вентилятор		1	80	80,0	81	0,8	0,8
49	Вентилятор		1	80	80,0	82	0,8	0,8
50	Кран-балка	Q=2 т	1	3	3,0	83	0,1	0,5
51	Кран-балка	Q=2 т	1	3	3,0	84	0,1	0,5
52	Кран-балка	Q=3,2 т	1	6	6,0	85	0,1	0,5

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

В даному проекті для визначення розрахункового електричного навантаження використовуємо метод впорядкованих діаграм відомий під назвою метод Каялова [1, 5-7].

1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

В якості прикладу, визначимо розрахункове електричне навантаження для силового пункту СП-1. Для цього спершу визначимо середньозінне навантаження для зубофрезерного верстата

$$P_{\text{см}} = P_{\text{н.сум}} \cdot K_{\text{и}} = 10 \cdot 0,12 = 1,2 \text{ кВт},$$

де $K_{\text{и}}$ – коефіцієнт використання. Знаходиться за довідковими таблицями [1, 5-7].

Середнє реактивне навантаження за зміню:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,2 \cdot 2,29 = 2,7 \text{ квар.}$$

де $\text{tg}\varphi$ визначається зі значення $\cos\varphi$ (коефіцієнту потужності), що наводиться в довідкових таблицях [1, 5-7].

Визначення середньозмінного активного та реактивного навантаження для інших споживачів СП-1 подібно. Результати відображені в табл. 1.1.

Сумарне середньозмінне навантаження для СП-1 визначається додаванням середньозмінних навантажень окремих його споживачів. Результати розрахунку також наведені в табл. 1.1.

Ефективну кількість електроприймачів знайдемо за формулою:

$$n_{\text{Е}} = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н max}}} = 2 \cdot 55 / 23,6 = 5.$$

Оскільки отримане значення $n_{\text{Е}}$ менше за фактичну кількість електричних приймачів то приймаємо $n_{\text{Е}} = 12$.

Груповий коефіцієнт використання по СП-1:

$$K_{\text{и СП-1}} = P_{\text{см СП-1}} / P_{\text{н.сум СП-1}} = 24,8 / 181 = 0,14.$$

За значеннями $K_{\text{и СП-1}}$ і $n_{\text{Е}}$ з таблиць або номограм [1, 5-7] визначаємо $K_{\text{м}} = 2$. Отже, розрахункове активне навантаження для СП-1 складе:

						Арк.
						10
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{p\text{ СП-1}} = P_{cm\text{ СП-1}} \cdot K_M = 24,8 \cdot 2,0 = 49,6 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p\text{ СП-1}} = Q_{cm\text{ СП-1}} = 55,0 \text{ квар.}$$

так як $n_E > 10$.

Повна розрахункова потужність СП-1:

$$S_{p\text{ СП-1}} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{49,6^2 + 55,0^2} = 74,0 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм лінії, що живить СП-1:

$$I_{p\text{ СП-1}} = \frac{S_{p\text{ СП-1}}}{\sqrt{3}U} = \frac{74,0}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 106,8 \text{ А.}$$

Розрахунок електричного навантаження для інших силових пунктів подібний, результати цього розрахунку наведені в табл. 1.1.

1.2. Визначення освітлювальних електричних навантажень

Розрахунок освітлювальних електричних навантажень проведемо індексним методом за методикою наведеною в [3, 4].

Вибір розташування світильників для першого поверху.

Для приміщення роздягальні маємо:

$B = 6,4 \text{ м}$ – ширина приміщення,

$L = 7,1 \text{ м}$ – довжина приміщення,

$H = 8 \text{ м}$ – висота приміщення.

1. Розрахункова висота $h = H - h_p - h_c = 8 - 0,8 - 0,5 = 6,7 \text{ м}$.

де h_p – висота розрахункової поверхні над підлогою (приймаємо $h_p=0,8 \text{ м}$),

h_c – відстань від перекриття до світильників (приймаємо $h_c=0,5 \text{ м}$).

2. Вибираємо світильник РСР 05/Д03 з лампами ДРЛ.

3. Для обраного світильника знаходимо $\lambda_c = L_a/h = 1,6$ - освітлювач має косинусну криву сили світла (Д).

4. З даної формули знаходимо $L_a = 6,7 \cdot 1,6 = 10,72 \text{ м}$, прийmemo $L_a = 10 \text{ м}$.

5. При $L_a=10 \text{ м}$ в ряду можливо розташувати лише один світильник.

6. Приймаємо, що $L_B = L_a = 10 \text{ м}$.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р _н , кВт		К _и	Cos	tg	Середньозмінне		п _з	К _м	Розрахункове навантаження			
			Одного	Сумарна				Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВАр			Р _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Перший поверх															
	СП-1														
1	Зубофрезерний	1	10	10,0	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7						
2	Вертикально-свердильний	1	4	4,0	0,12	0,4	2,29	0,5	1,1						
3	Гільйотинні ножиці	1	10	10,0	0,16	0,5	1,73	1,6	2,8						
4	Довбальний верстат	2	12,2	24,4	0,12	0,4	2,29	2,9	6,7						
5	Токарно-гвинторізний	5	18,5- 23,6	112,9	0,14	0,4	2,29	15,8	36,2						
6	Радіально-свердильний	1	9,7	9,7	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7						
7	Розточувальний верстат	1	10	10,0	0,16	0,5	1,73	1,6	2,8						
	Всього по СП-1	12	4-23,6	181	0,14	0,41	2,22	24,8	55,0	12	2	49,6	55,0	74,0	106,8
	СП-2														
8	Прес гідравлічний	4	22,0	88	0,65	0,8	0,75	57,2	42,9						
9	Печь опору	4	40	160	0,7	0,85	0,62	112,0	69,4						
	Всього по СП-2	8	22-40	248	0,68	0,83	0,66	169,2	112,3	8	1,22	206,4	123,5	240,6	347,2
	СП-3														
10	Прес гідравлічний	4	22,0	88	0,65	0,8	0,75	57,2	42,9						
11	Печь опору	4	40	160	0,7	0,85	0,62	112,0	69,4						
	Всього по СП-3	8	22-40	248	0,68	0,83	0,66	169,2	112,3	8	1,22	206,4	123,5	240,6	347,2
	СП-4														
12	Подовжньо-стругальний	1	40	40	0,14	0,5	1,73	5,6	9,7						

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	СП-8														
27	Зубостругальний	1	2,8	2,8	0,17	0,5	1,73	0,5	0,8						
28	Усередині шліфувальний	1	10	10	0,15	0,4	2,29	1,5	3,4						
29	Круглошліфувальний	2	10-18,5	28,5	0,16	0,5	1,73	4,6	7,9						
30	Плоскошліфувальний	3	4-16	28	0,16	0,5	1,73	4,5	7,8						
31	Свердлильний верстат	2	4	8	0,12	0,5	1,73	1,0	1,7						
32	Кран-балка	1	3	3	0,1	0,5	1,73	0,3	0,5						
33	Універсально фрезерувальний	1	9	9	0,14	0,5	1,73	1,3	2,2						
34	Гідростенд	1	40	40	0,65	0,8	0,75	26,0	19,5						
	Всього по СП-8	12	3-40	129,3	0,31	0,67	1,11	39,5	43,8	6	1,85	73,1	48,2	87,6	126,4
	СП-9														
35	Токарно-гвинторізний	6	23,6	141,6	0,14	0,4	2,29	19,8	45,4						
36	Зубодовбальний	1	3,4	3,4	0,17	0,5	1,73	0,6	1,0						
37	Точильно-шліфувальний	3	2,1-2,8	7,7	0,12	0,5	1,73	0,9	1,6						
38	Кран-балка	2	3-6	9,0	0,1	0,5	1,73	0,9	1,6						
	Всього по СП-9	12	2,1-23,6	161,7	0,14	0,41	2,23	22,2	49,6	12	2	44,5	49,6	66,6	96,1
	Всього по СП-8,9	24	2,1-40	291	0,21	0,55	1,51	61,8	93,4	15	1,6	98,8	93,4	136,0	196,2
	Всього по цеху	85	2,1-80	1878,35	0,41	0,72	0,95	767,7	729,5	47	1,14	875,2	729,5	1139,4	1644,5

$$L_a / L_b = 1 < 1,5$$

7. Загальна кількість світильників в приміщенні – 1 шт.

Розрахунок електричних навантажень освітлювальних електроприладів

1. По табл. 5.1. [4] знаходимо коефіцієнт відображення поверхні приміщення:

стеля $R_{\Pi} = 50\%$

полу $R_{\Pi л} = 10\%$

сгін $R_{\Pi} = 30\%$

2. Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{L \cdot B}{h(L + B)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{6,7(7,1 + 6,4)} = 0,5$$

3. Знаходимо коефіцієнт використання світового потоку, який є функцією індекса приміщення, табл. 5.9. [4] $\eta = 0,27$.

4. При $E_n = 150$ лк (нормі освітлення) $K_{\text{зап}} = 1,5$ (коефіцієнт запасу), табл. 4.1, 4.4 [4].

Знаходимо світовий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 45,4 \cdot 1,15}{1 \cdot 0,27} = 43508 \text{ лм},$$

де S – площа приміщення м^2 ,

Z – коефіцієнт мінімального освітлення для ламп ДРЛ $Z = 1,15$.

Вибираємо ближчі стандартні лампи ДРЛ-1000 зі світовими потоками $\Phi_n = 50000$ лм.

Обране значення Φ_n відрізняється від знайденого на $+15\%$, що лежить у межах $-10 \dots +20\%$

5. Знаходимо розрахункову потужність $P_{p.o}$, $Q_{p.o}$ освітлювальної мережі

$$P_{p.o} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{пра}} = 1 \cdot 0,8 \cdot 1,12 = 0,896 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg} \phi = 0,896 \cdot 1,73 = 1,55 \text{ кВар},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{0,896^2 + 1,55^2} = 1,79 \text{ кВА},$$

де K_c – коефіцієнт попиту із табл. 2.1 [4]; $K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт який враховує втрати потужності в ПРА для ДРЛ; $P_{\text{уст}}$ – встановлена потужність ламп.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Вибір розташування світильників для другого поверху.

Для приміщення роздягальні маємо:

$B = 6,4$ м – ширина приміщення

$L = 7,1$ м – довжина приміщення

$H = 6$ м – висота приміщення

1. Розрахункова висота $h = H - h_p - h_c = 6 - 0,8 - 0,5 = 4,7$ м
2. Вибираємо світильник РСП 05/Д03 з лампами ДРЛ.
3. З даної формули знаходимо $L_a = 4,7 \cdot 1,6 = 7,52$ м, прийmemo $L_a = 7$ м.
4. При $L_a = 7$ м в ряду можливо розташувати лише один світильник.
5. Приймаємо, що $L_b = L_a = 7$ м $L_a / L_b = 1 < 1,5$
6. Загальна кількість світильників в приміщенні – 1 шт.

Розрахунок електричних навантажень освітлювальних електроприладів

1. Знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{L \cdot B}{h(L + B)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{4,7(7,1 + 6,4)} = 0,71.$$

2. Знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,35$.

Знаходимо світовий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 45,4 \cdot 1,15}{1 \cdot 0,35} = 33563 \text{ лм}$$

Вибираємо ближчі стандартні лампи ДРЛ-700 зі світовими потоками $\Phi_n = 35000$ лм.

Обране значення Φ_n відрізняється від знайденого на +4 %, що лежить у межах – 10 – +20%

3. Знаходимо розрахункову потужність $P_{p.o}$, $Q_{p.o}$ освітлювальної мережі

$$P_{p.o} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{пра}} = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,12 = 0,627 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \tan \phi = 0,627 \cdot 1,73 = 1,08 \text{ кВар},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{0,627^2 + 1,08^2} = 1,25 \text{ кВА},$$

Розрахунки для інших приміщень обох поверхів подібні результати розрахунку наведені в табл. 1.2.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювального електричного навантаження.

Найменування приміщення	L, м	B, м	N _{св}	N _{ряд}	N	i	η	E _н , лк	K _{зап}	Φ _р , лм	Тип лампи	P _л , кВт	Φ _н , лм	ΔΦ, %	K _с	P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА
Перший поверх																		
Роздягальня	7,1	6,4	1	1	1	0,5	0,27	150	1,5	43508	ДРЛ-1000	1	50000	15	0,8	0,896	1,55	1,79
Приміщення ТП	7,1	6,4	1	1	1	0,5	0,27	100	1,5	29031	ДРЛ-700	0,7	35000	20	0,6	0,47	0,81	0,9
Приміщення цеху	20	50	5	3	15	5,3	0,68	300	1,5	50735	ДРЛ-1000	1	50000	-1	0,95	15,96	27,61	31,9
Другий поверх																		
Роздягальня	7,1	6,4	1	1	1	0,7	0,35	150	1,5	33563	ДРЛ-700	0,7	35000	4	0,8	0,63	1,09	1,3
Інструментальна комора	7,1	6,4	2	1	2	0,7	0,35	75	2	11198	ДРЛ-250	0,25	11000	-2	0,6	0,34	0,58	0,7
Приміщення цеху	20	57	8	3	22	3,2	0,62	300	1,5	43251	ДРЛ-1000	1	50000	13	0,95	23,41	0,00	23,4
Всього по цеху																41,70	31,64	52

1.3. Визначення електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Методика розрахунку електронавантаження вище 1000 В подібна до методики розрахунку електричного навантаження до 1000 В, що розглянутий вище. Відміною є те, що додатково обчислюються втрати електричної потужності в трансформаторах ТП. Методика розрахунку електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В подається в стандартному табличному вигляді та детально розглянута в [1, 5-7].

Каталожні параметри трансформаторів ТМ-630/10:

$$\Delta P_{xx} = 2,27 \text{ кВт} \quad I_{xx} = 2\%$$

$$\Delta P_{k3} = 7,6 \text{ кВт} \quad U_{k3} = 5,5\%$$

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (2,27 + 7,6 \cdot 0,731^2) = 12,67 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} S_H + \frac{U_{k3}}{100} S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{2}{100} 630 + \frac{5,5}{100} 630 \cdot 0,731^2 \right) = 62,26 \text{ кВар},$$

де коефіцієнт завантаження цехової ТП визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_{нтр}} = \frac{921,4}{2 \cdot 630} = 0,731.$$

Розрахунок електричного навантаження для мережі вище 1000В відповідно наведений в табл. 1.3.

1.4. Графіки електричних навантажень

Головною метою виконання цього пункту є визначення річного часу повних втрат – τ , що визначається з формули Кізевича [5-7]. Методика розрахунку та побудови графіків електричних навантажень, використаних в цьому пункті наведена в [1, 5-7]. При розрахунку прийняті наступні кількості робочих зимових днів – 147, зимових вихідних – 65, літніх робочих днів – 105, літніх вихідних – 48. При розрахунках та побудові графіків прийнято, що літнє навантаження складає 85% від зимового.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.3. Розрахунок електричних навантажень для мережі вище 1000 В.

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р _н , кВт		К _и	Cos	tg	Середнє		п _з	К _м	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
Перший поверх														
	СП-1	12	4-23,6	181	0,14	0,41	2,22	24,8	55,0	12	2	49,6	55,0	74,0
	СП-2	8	22-40	248	0,68	0,83	0,66	169,2	112,3	8	1,22	206,4	123,5	240,6
	СП-3	8	22-40	248	0,68	0,83	0,66	169,2	112,3	8	1,22	206,4	123,5	240,6
	СП-4	5	15-40	144,2	0,15	0,52	1,66	21,3	35,3	5	2,87	61,2	38,9	72,5
Другий поверх														
	СП-5	10	7,5-80	276,5	0,53	0,75	0,87	146,6	128,2	6,9	1,37	200,8	141,0	245,4
	СП-6	8	6,2-80	244,05	0,58	0,76	0,86	141,0	121,5	6,1	1,4	197,3	133,7	238,4
	СП-7	10	12-40	245,6	0,14	0,43	2,11	33,9	71,4	11	2	67,8	71,4	98,5
	СП-8	12	3-40	129,3	0,31	0,67	1,11	39,5	43,8	6,5	1,85	73,1	48,2	87,6
	СП-9	12	2,1-23,6	161,7	0,14	0,41	2,23	22,2	49,6	12	2	44,5	49,6	66,6
	Всього силова	85	2,1-80	1878,35	0,41	0,72	0,95	767,7	729,5	47	1,14	875,2	729,5	1139,4
	Освітлення цеху											41,70	31,64	52,3
	Всього по ТП											916,91	761,11	1191,6
	КП 0,4 кВ												670	
	Всього по ТП з КП											916,91	91,11	921,4
	Втрати в тр-рах ТП 2×630											12,67	62,26	
	Всього на шинах 10 кВ ТП											929,58	153,37	942,1

1. Активне розрахункове навантаження:

$$P_{\max} := 929.58 \quad \text{кВт}$$

2. Реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{\max} := 823.37 \quad \text{квар}$$

3. Задання графіка навантаження (в %) для кожної ступені графіка (1 - для активної потужності, 2 - для реактивної потужності):

Робочі дні

	1	2
1	73	90
2	62	78
3	45	68
4	45	68
5	41	64
6	48	66
7	43	65
8	78	90
9	85	98
10	100	100
11	83	95
12	78	90
13	85	95
14	95	98
15	100	98
16	80	95
17	63	78
18	75	85
19	78	88
20	78	88
21	70	85
22	78	88
23	83	90
24	71	...

Вихідні дні

	1	2
1	30	30
2	30	30
3	30	30
4	30	30
5	30	30
6	30	30
7	30	30
8	30	30
9	25	25
10	25	25
11	25	25
12	25	25
13	25	25
14	25	25
15	25	25
16	25	25
17	25	25
18	25	25
19	28	28
20	28	28
21	30	30
22	30	30
23	30	30
24	30	30

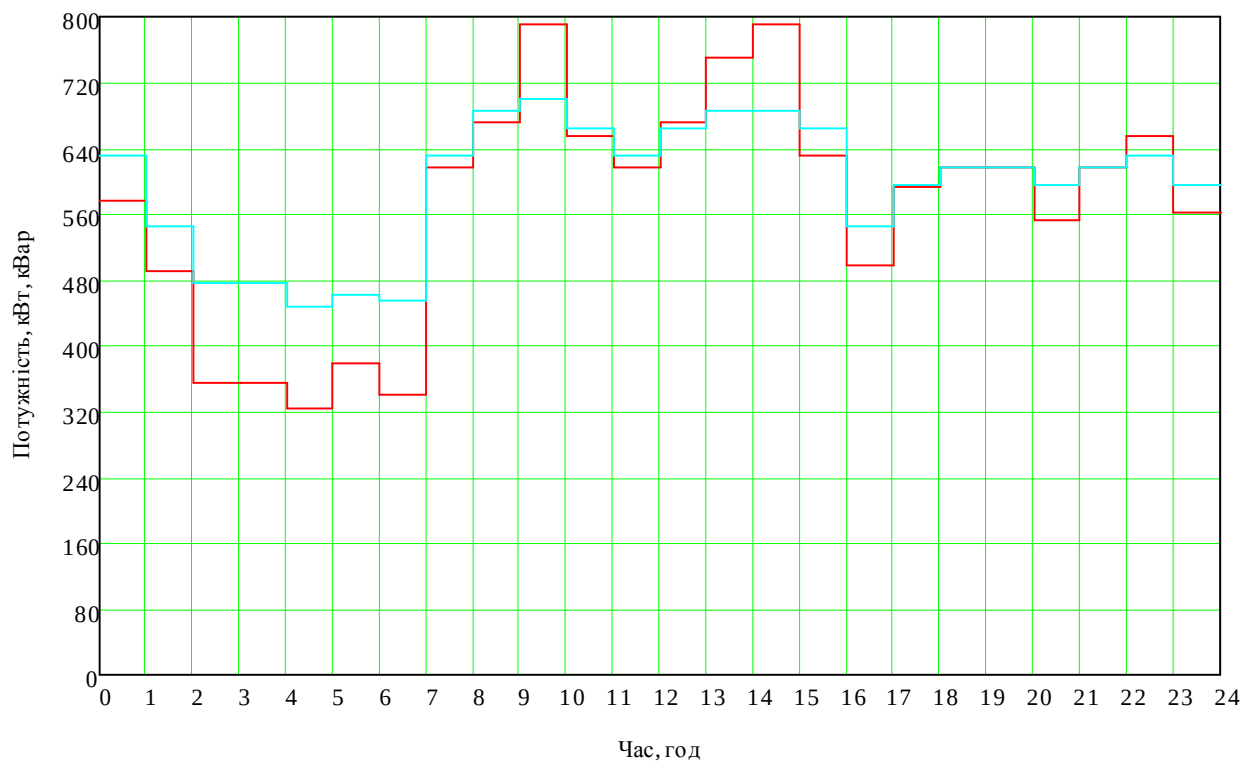


Рис. 1.1. Добовий графік активної і реактивної потужності в літній робочий день

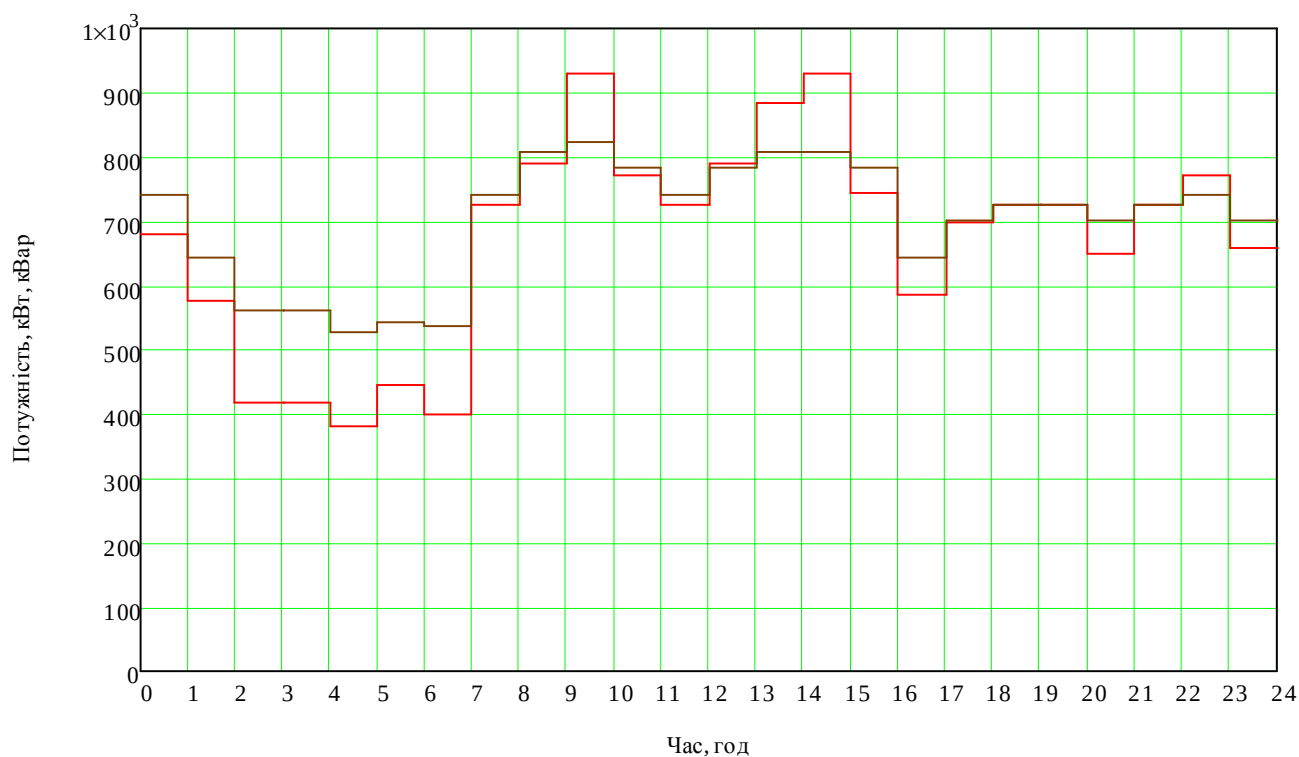
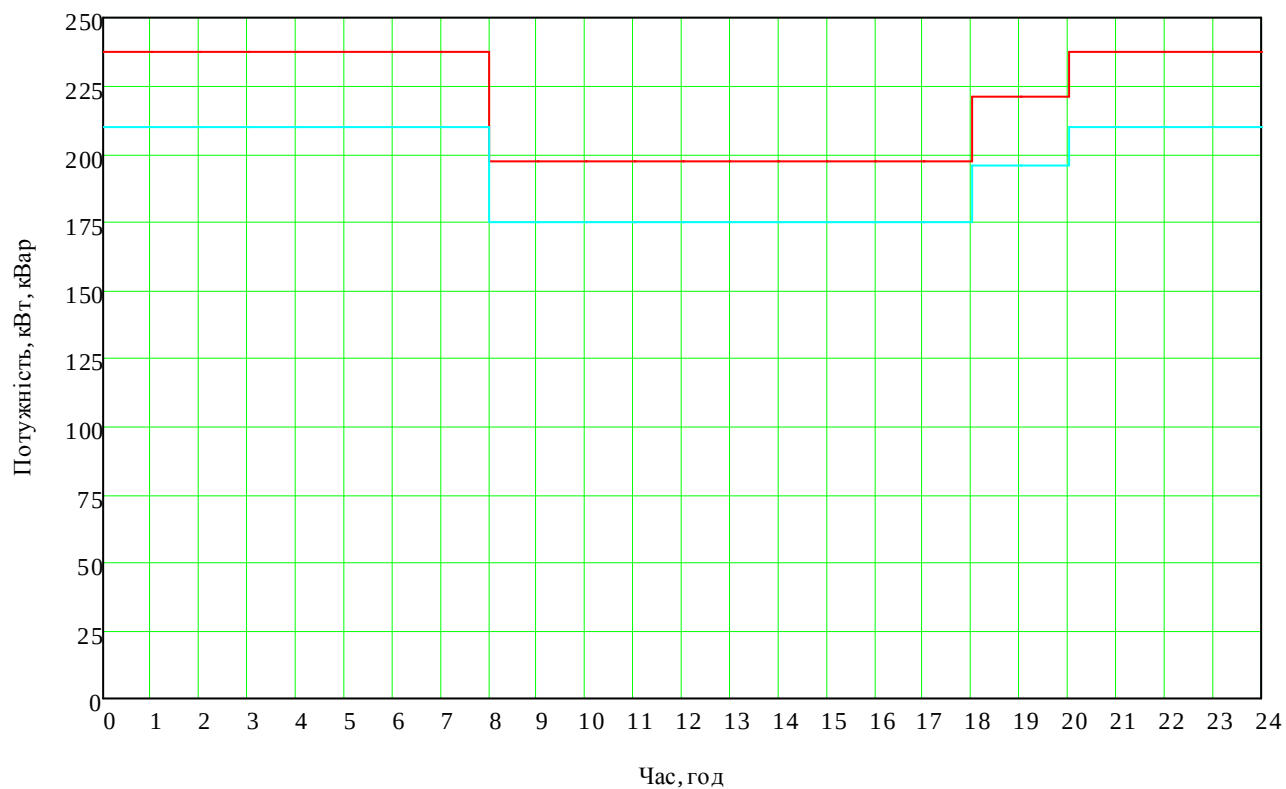
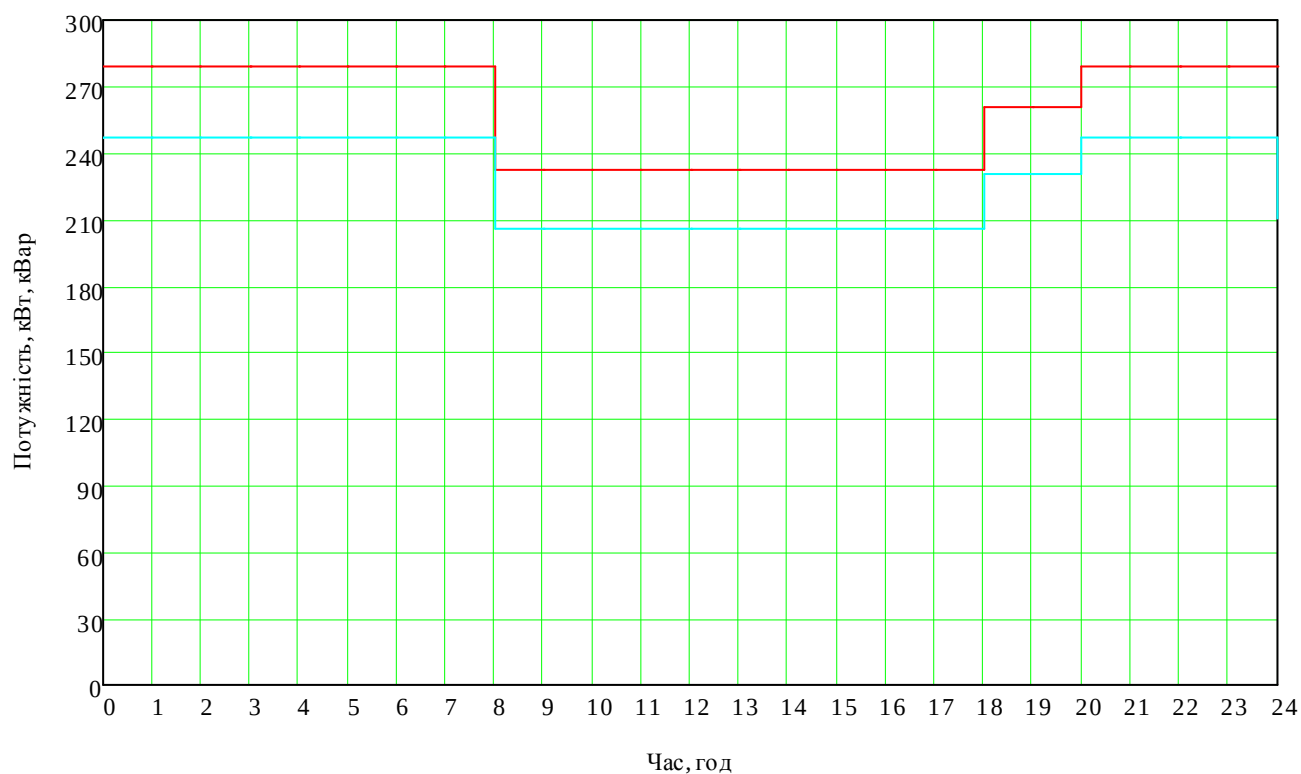


Рис. 1.2. Добовий графік активної і реактивної потужності в зимовий робочий день



└─┐ P
└─┐ Q

Рис. 1.3. Добовий графік активної і реактивної потужності в літній вихідний день



└─┐ P
└─┐ Q

Рис. 1.4. Добовий графік активної і реактивної потужності в зимовий вихідний день

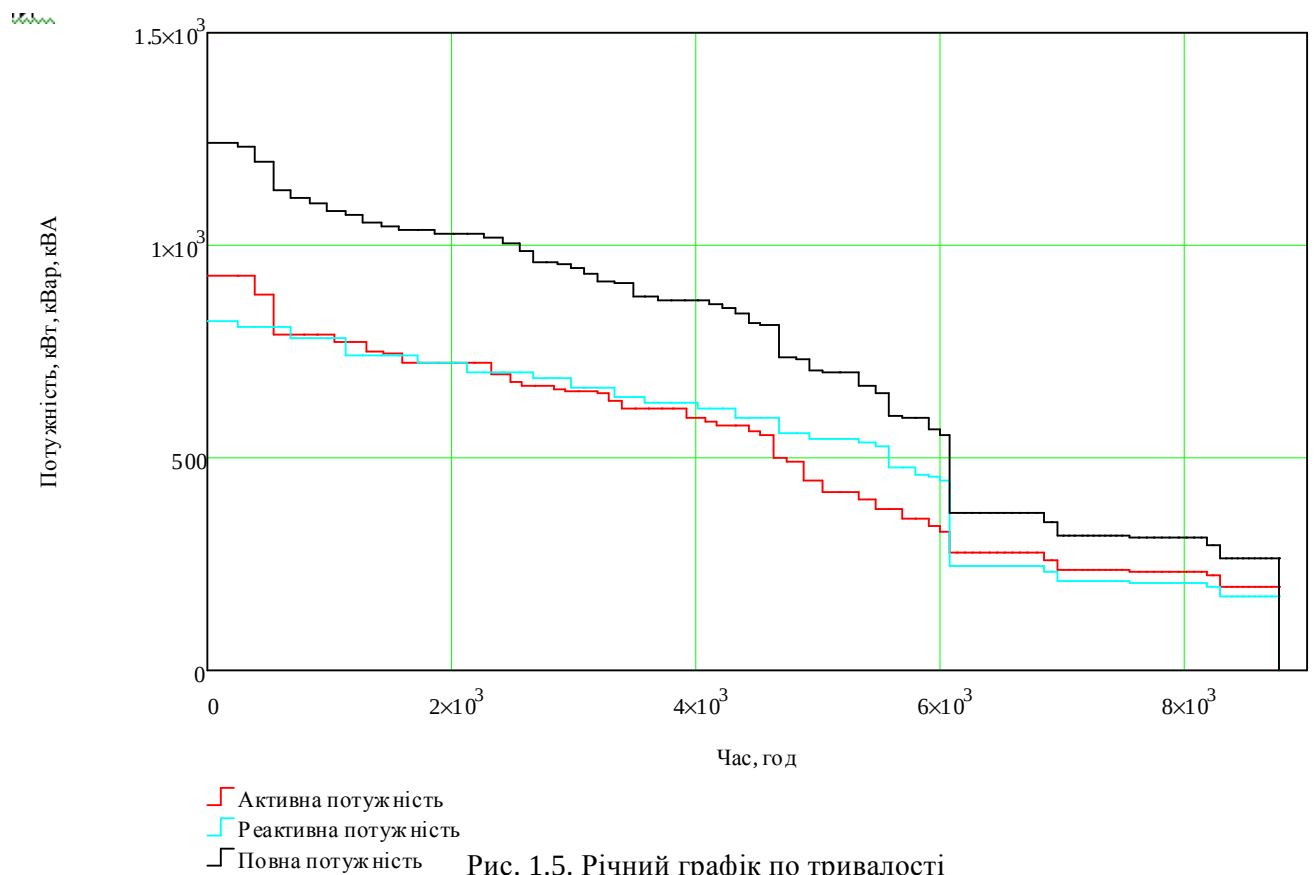


Рис. 1.5. Річний графік по тривалості

Споживання активної енергії за літню вихідну добу, кВт·год:	$W_{\text{лето_в}} = 5262$
Споживання активної енергії за літню робочу добу, кВт·год:	$W_{\text{лето_р}} = 13725$
Споживання активної енергії за зимову вихідну добу, кВт·год:	$W_{\text{зима_в}} = 6191$
Споживання активної енергії за зимову робочу добу, кВт·год:	$W_{\text{зима_р}} = 16147$
Споживання реактивної енергії за літню вихідну добу, кВар·год:	$V_{\text{лето_в}} = 4661$
Споживання реактивної енергії за літню робочу добу, кВар·год:	$V_{\text{лето_р}} = 14312$
Споживання реактивної енергії за зимову вихідну добу, кВар·год:	$V_{\text{зима_в}} = 5484$
Споживання реактивної енергії за зимову робочу добу, кВар·год:	$V_{\text{зима_р}} = 16838$
Річне споживання активної енергії, кВт·год:	$W_{\Gamma} = 4469691$
Річне споживання реактивної енергії, кВар·год:	$V_{\Gamma} = 4558127$
Кількість годин використання максимуму потужності, год:	$T_{\text{max}} = 5141$
Річний час максимальних втрат, год:	$\tau = 3579$

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

2.1. Схема приєднання і вибір напруги живлення цеху

Для цеху приймемо варіант живлення від ЦРП 10 кВ, яке знаходиться на відстані 390 м від запланованого місця розташування цехової ТП. Живлення запропоновано виконати кабельними лініями напругою 10 кВ. Тому зовнішнє джерело живлення визначається однозначно.

2.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання цеху

У цехових електричних мережах можна виділити два типи мереж: силові та освітлювальні. Кожен з цих типів поділяється на живлячі та розподільчі мережі.

Цехові мережі можуть бути здійснені за трьома основними схемами: радіальною, магістральною і змішаною. Радіальна схема частіше використовується для живлення окремих концентрованих споживачів електроенергії, таких як потужні двигуни, електротермічні печі тощо, а також для живлення малих споживачів в цехах з невеликою потужністю.

Магістральні схеми відрізняються простотою та економічністю і використовуються, коли навантаження рівномірно розподілене по площі цеху. Вони забезпечують високу надійність електропостачання, а також дозволяють легко переміщати технологічне обладнання завдяки своїй гнучкості.

В даному цеху, що розглядається електроприймачі розміщені рівномірно по площі, але мають невелику потужність, що дозволяє використовувати силові пункти (СП) для розподілення електроенергії. Таким чином, внутрішню мережу цеху реалізують за змішаною схемою, використовуючи радіальну схему для потужних силових пунктів і магістральну схему для малих силових пунктів. Живлення забезпечується від силових пунктів серії ПР-8505. Детальний аналіз різних варіантів цехових мереж та вибір остаточної схеми проведено у наступних пунктах.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1. Розрахунок балансу та вибір пристроїв для компенсації реактивної потужності

Розрахунок балансу проводимо за методикою висвітленою в [5-7].

Максимальне значення (економічно обґрунтоване) реактивної потужності Q_E , що може бути передано в цехову мережу з енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 929,58 \cdot 0,15 = 139,4 \text{ квар.}$$

Сумарна необхідна потужність компенсуючих пристроїв для цехової мережі:

$$Q_{\kappa\Sigma} = Q_p - Q_e = 823,37 - 139,4 = 683,97 \text{ квар.}$$

Обчислюємо мінімальну кількість трансформаторів ТМ630:

$$N_m = \frac{P_n}{K_3 \cdot S_{\text{тр.ном}}} = \frac{916,91}{0,8 \cdot 630} = 1,82,$$

де K_3 – бажаний або прийнятий коефіцієнт завантаження для трансформаторів ТП (приймаємо $K_3=0,8$).

Приймаємо $N = 2$.

Якщо в цеху планується встановлення двох трансформаторів, постає завдання визначити оптимальну потужність силових трансформаторів та розглянути економічну доцільність передачі реактивної потужності через цехові трансформаторні підстанції. Розглянемо можливі варіанти заміни встановлених трансформаторів на трансформатори з більшою номінальною потужністю за шкалою.

I варіант: 2×ТМ 630 кВА

Найбільша РП, що можна передати з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ.

$$Q_{\text{тр}} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{тр.ном}})^2 - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 916,91^2} = 419 \text{ квар.}$$

Потужність КП на боці 0,4 кВ:

$$Q_{\text{нк}} = Q_p - Q_{\text{тр}} = 823,37 - 419 = 404 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартне значення $Q_{\text{кн}} = 670$ кВар 2×УКМ-0,38-335-67.

Потужність КП, що встановлюються на боці 10 кВ:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 823,37 - 670 - 139,4 = 13,97 \text{ квар.}$$

Оскільки $Q_{кв}$ виявилася невеликою, а в проєкті розраховується окремий цех, тому КП на стороні 10 кВ не передбачаються.

II варіант: 2×ТМ 1000 кВА.

$$Q_{тр} = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{тр.ном})^2 - P_p^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 916,91^2} = 1311 \text{ квар,}$$

$$Q_{нк} = Q_p - Q_{тр} = 823,37 - 1311 = -487,63 \text{ квар.}$$

Оскільки $Q_{кн} < 0$, то немає потреби у встановленні КП на 0,4 кВ.

Потужність КП, яка встановлюються на 10 кВ:

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_e = 823,37 - 0 - 139,4 = 683,97 \text{ квар.}$$

Приймаємо стандартне значення ВБК $Q_{кн} = 450$ квар типу УКЛ-10,5-450УЗ

Отже, компенсацію виконуємо на напругу 10 кВ.

Результати розрахунку балансу РП по варіантам зведені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Баланс РП по варіантам

Показник \ Варіант		I	II
1	Потужність БК 10 кВ, квар	0	450
2	Потужність БК 0,4 кВ, квар	670	0
3	Потужність, що береться з енергосистеми, квар	153,37	373,37
4	Всього по балансу	823,37	823,37

Визначимо витрати на компенсацію РП для варіанту I (2×ТМ 630 кВА).

Втрати активної потужності на генерацію реактивної в НБК 0,4 кВ:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{кн.}^{ннт} \cdot Q_{кн.} = 0,0045 \cdot 670 = 3,015 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності від передачі реактивної через трансформатори ТП 2×ТМ 630 кВА:

$$\Delta P_{тр} = \frac{Q_n^2}{U_n^2} R_\Sigma = \frac{153,37^2}{10^2} \cdot 957,4 \cdot 10^{-6} = 0,225 \text{ кВт,}$$

де активний опір трансформаторів 2×ТМ 630 кВА

$$R_\Sigma = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_n^2}{N_{тр} \cdot S_n^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{2 \cdot 630^2} = 957,4 \cdot 10^{-6} \text{ кОм.}$$

Вартість комплектної трансформаторної підстанції 2×ТМ 630 кВА:

$$K_{ktn\Sigma} = \Sigma N \cdot K_{ktn} = 1 \cdot 2547 = 2547 \text{ тис. грн.}$$

де $K_{ktn} = 100 \cdot 25,47 = 2547$ тис. грн. вартість КТП виробництва Хмельницького трансформаторного заводу з врахуванням коефіцієнту підвищення їх вартості [2].

Капіталовкладення в низьковольтні БК:

$$K_{кв\Sigma} = \Sigma N_{кв} \cdot K_{кв} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ тис. грн.}$$

Зведені витрати по першому варіанту компенсації РП:

$$\begin{aligned} Z &= E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{ktn}) + (\Delta P_{кн.} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{mp}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12 \cdot (280 + 0 + 2547) + (3,037 + 0 + 0,161) \cdot 6,563579 \cdot 10^{-3} = 414,3 \text{ тис. грн.} \end{aligned}$$

Визначимо витрати на компенсацію РП для варіанту II (2×ТМ 1000 кВА).

Втрати активної потужності на генерацію реактивної в ВБК 10 кВ:

$$\Delta P_{кв} = \Delta P_{кв.}^{num} \cdot Q_{кв} = 0,0025 \cdot 450 = 1,125 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності від передачі реактивної через трансформатори ТП 2×ТМ 1000 кВА:

$$\Delta P_{mp} = \frac{Q_n^2}{U_n^2} R_\Sigma = \frac{354,81^2}{10^2} \cdot 635 \cdot 10^{-6} = 0,799 \text{ кВт,}$$

де активний опір трансформаторів 2×ТМ 1000 кВА

$$R_\Sigma = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_n^2}{N_{mp} \cdot S_n^2} = \frac{12,7 \cdot 10^2}{2 \cdot 1000^2} = 635 \cdot 10^{-6} \text{ кОм.}$$

Вартість комплектної трансформаторної підстанції 2×ТМ 1000 кВА:

$$K_{ktn\Sigma} = \Sigma N \cdot K_{ktn} = 1 \cdot 3065 = 3065 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{ktn} = 100 \cdot 30,65 = 3065 \text{ тис. грн.}$$

Капіталовкладення в високовольтні БК:

$$K_{кв\Sigma} = \Sigma N_{кв} \cdot K_{кв} = 1 \cdot 140 = 140 \text{ тис. грн.}$$

Зведені витрати по другому варіанту компенсації РП:

$$\begin{aligned} Z &= E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{ktn}) + (\Delta P_{кн.} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{mp}) \cdot C_0 \cdot \tau = \\ &= 0,12 \cdot (0 + 140 + 3065) + (0 + 1,125 + 0,799) \cdot 6,563579 \cdot 10^{-3} = 429,8 \text{ тис. грн.} \end{aligned}$$

Результати розрахунку техніко-економічних показників зводимо в табл. 3.2.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Таблиця 3.2. Техніко-економічні показники варіантів компенсації РП для цеху

Показник \ Варіант		I	II
1	Вартість КТП, тис. грн.	2547	3065
2	Вартість КП 0,4 кВ, тис. грн.	280	–
3	Вартість КП 10 кВ, тис. грн.	–	140
4	Втрати $\Delta P_{\text{нКБ}}$, кВт	3,015	–
5	Втрати $\Delta P_{\text{вКБ}}$, кВт	–	1,125
6	Втрати $\Delta P_{\text{КТП}}$, кВт	0,225	0,799
7	Приведені витрати на компенсацію реактивної потужності, тис. грн.	414,3	429,8

Таким чином, проведений розрахунок показав, що перевагу віддаємо першому варіанту з встановленням КП типу 2×УКМ-0,38-335-67.

3.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Згідно з розрахунками слід розглядати варіант компенсації РП конденсаторними установками на боці 0,4 кВ ТП. До установки приймаємо дві конденсаторні батареї типу УКМ-0,38-335-67 і встановлюємо на кожну секцію шин трансформаторної підстанції. Ступінь регулювання 67 кВар. Розрахунки навантаження на КТП з урахуванням компенсації зводимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Розміщення конденсаторних батарей на КТП.

№ ТП	К-ть тр-в	P_p , кВт	Q_p , кВар	K_3	$Q_{\text{КП}}$, кВар	К-ть БК	Тип БК	$\Sigma Q_{\text{БК}}$	K_3	S , кВА
1	2	916,91	761,11	0,95	404	2	УКМ-0,38-335-67	670	0,73	921,4

Враховуючи, що електропостачання споживачів цеху здійснюється силовими пунктами, то відповідно до рекомендацій [1], батареї конденсаторів підключаємо безпосередньо до збірних шин ТП.

4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

При будові цехових ТП перевагу необхідно надавати саме комплектним трансформаторним підстанціям (КТП). Вибір їх кількості і потужності, як правило, приймають у відповідності до питомої щільності навантаження в цеху, що розглядається. Так, при щільності навантаження $<0,2 \text{ кВА/м}^2$ застосовують, як правило, трансформатори до 1000 кВА [1, 5-7].

Номінальна потужність кожного трансформатора:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_p}{2 \cdot K_3} = \frac{921,4}{2 \cdot 0,8} = 575,85 \text{ кВА} \quad S_{\text{тр}} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Так, як в цеху більшість споживачі II категорії то приймемо бажаний коефіцієнт завантаження 0,8.

ТП розмістимо на відмітці 0,0 м в окремому пристосованому для цього приміщенні цеху. Отже, на цеховій ТП прийняті до установки трансформатори 2×ТМ-630 кВА. Результати вибору та показники роботи цехових трансформаторів наведені в табл. 4.1. Споживачі, що вимушено відключаються при аварійному перевантаженні одного трансформатора ТП наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.1. Вибір трансформаторів КТП-10/0,4 кВ цеху

Місце розташування ТП	Тип розташування	Марка ТП	Кількість та тип тр-рів	S, кВА	K ₃	K ₃ ^{ав}	% споживачів III категорії, що вимушено відключаються	Загальна потужність споживачів які відключаються, кВА
В цеху	Вбудована	КТП 2×630 кВА	2×ТМ-630/10	921,4	0,731	1,4	6,2	39,4

Таблиця 4.2. Споживачі, що відключаються при аварійному перевантаженні трансформатора КТП-10/0,4 кВ цеху

№ п/п	Найменування обладнання	Загальна потужність, кВА
1	СП-9	66,6

5. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ І МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ

5.1. Розрахунок струмів КЗ в мережах 10 і 0,4 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ

Розрахунок струмів КЗ в високовольтній мережі 10 кВ будемо проводити за методикою висвітленою в [1, 5-7].

Розрахункова схема мережі 10 кВ для обчислення струмів короткого замикання наведена на рис 5.1.1, а її схема заміщення на рис. 5.1.2. Опір енергосистеми можна визначити з струму КЗ $I_{кз} = 8,3$ кА, який заданий на шинах 10 кВ п/ст.

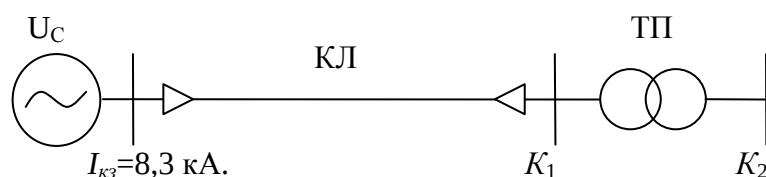


Рис. 5.1.1. Розрахункова схема мережі 10 кВ для розрахунку струмів КЗ

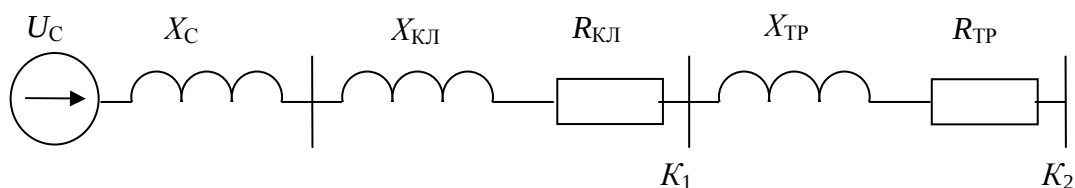


Рис. 5.1.2. Розрахункова схема заміщення мережі 10 кВ для розрахунку струмів КЗ

Визначаємо індуктивні і активні опори для схеми заміщення:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3}I_{кз}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 8,3} = 0,686 \text{ Ом},$$

$$X_{кл} = x_0 l = 0,083 \cdot 0,45 = 0,032 \text{ Ом}, R_{кл} = r_0 l = 0,326 \cdot 0,45 = 0,127 \text{ Ом},$$

$$X_{тр} = \frac{U_k}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{5,5}{100} \frac{10^2}{0,63} = 8,73 \text{ Ом}, R_{тр} = \frac{P_{кз}}{S_n^2} U_n^2 = \frac{7,6 \cdot 10^2}{630^2} = 1,9 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо струм к.з. в т. К1.

$$I'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}z_{рез}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,739} = 7,93 \text{ кА},$$

$$R_{екв} = R_{кл} = 0,127 \text{ Ом}, X_{екв} = X_{кл} + X_c = 0,032 + 0,696 = 0,728 \text{ Ом},$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

$$z_{\text{рез}} = \sqrt{X_{\text{екв}}^2 + R_{\text{екв}}^2} = \sqrt{0,728^2 + 0,127^2} = 0,739 \text{ Ом.}$$

Ударний струм к.з. в т. К1

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I'' k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 7,93 \cdot 1,8 = 20,18 \text{ кА,}$$

де $k_{\text{уд}} = 1,8$ [2].

Розрахуємо струм КЗ для т. К2.

$$I'' = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} z_{\text{рез}}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 9,673} = 0,596 \text{ кА,}$$

$$R_{\text{екв}} = R_{\text{кл}} + R_{\text{тр}} = 0,127 + 1,9 = 2,027 \text{ Ом,}$$

$$X_{\text{екв}} = X_{\text{кл}} + X_{\text{с}} + X_{\text{тр}} = 0,032 + 0,696 + 8,73 = 9,458 \text{ Ом,}$$

$$z_{\text{рез}} = \sqrt{X_{\text{екв}}^2 + R_{\text{екв}}^2} = \sqrt{9,458^2 + 2,027^2} = 9,673 \text{ Ом.}$$

Ударний струм КЗ для т. К2

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I'' k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 0,596 \cdot 1,8 = 1,517 \text{ кА.}$$

Приведемо струм короткого замикання до напруги 0,4 кВ:

$$I''_{\text{нн}} = I'' \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{нн}}} = 0,596 \frac{10}{0,4} = 14,9 \text{ кА; } i_{\text{уд, нн}} = i_{\text{уд}} \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{нн}}} = 1,517 \frac{10}{0,4} = 37,93 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

Розрахунок струмів КЗ в мережі 0,4 кВ будемо проводити за методикою наведеною в [7].

Розрахункова схема електричної мережі цеху напругою 0,4 кВ для розрахунку струмів КЗ наведена на рис. 5.1.3, а її схема заміщення на рис. 5.1.4.

Обчислюємо опори елементів схеми заміщення.

Опір енергосистеми:

$$X_{\text{с}} = U_{\text{н}}^2 / S_{\text{кз}} = 0,38^2 / 137,35 = 1,05 \text{ мОм,}$$

$$\text{де } S_{\text{кз}} = \sqrt{3} U_{\text{н}} I_{\text{кз}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 7,93 = 137,35 \text{ МВА.}$$

Опори цехового трансформатора, приведені до 0,38 кВ:

$$r_{\text{тр}} = 3,4 \text{ мОм; } x_{\text{тр}} = 13,5 \text{ мОм; } z_{\text{т}}^{(1)} = 42 \text{ мОм – додаток Д.1 [7].}$$

Опори трансформатора струму:

$$r_{\text{тс}} = 0 \text{ мОм; } x_{\text{тс}} = 0 \text{ мОм;}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

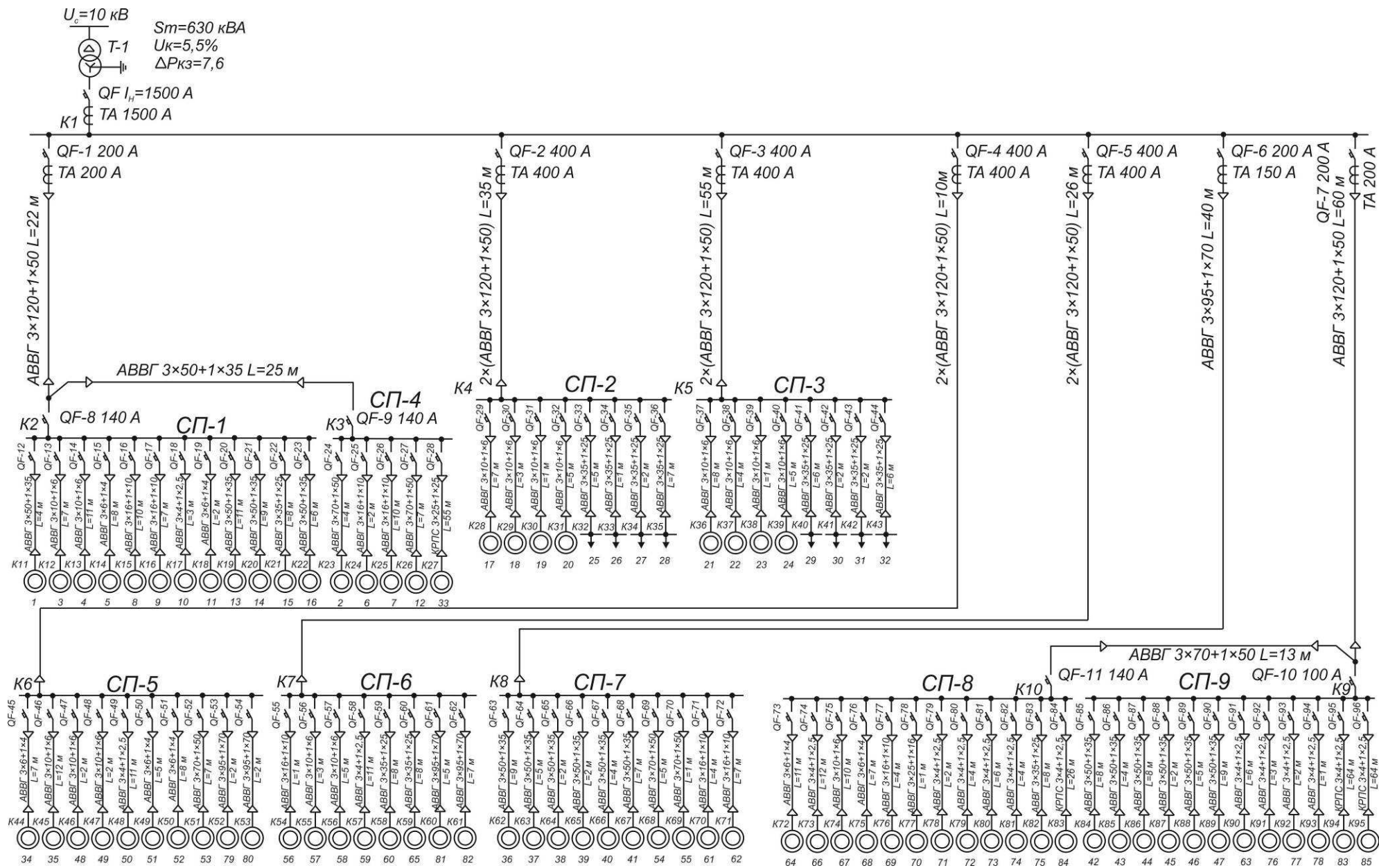
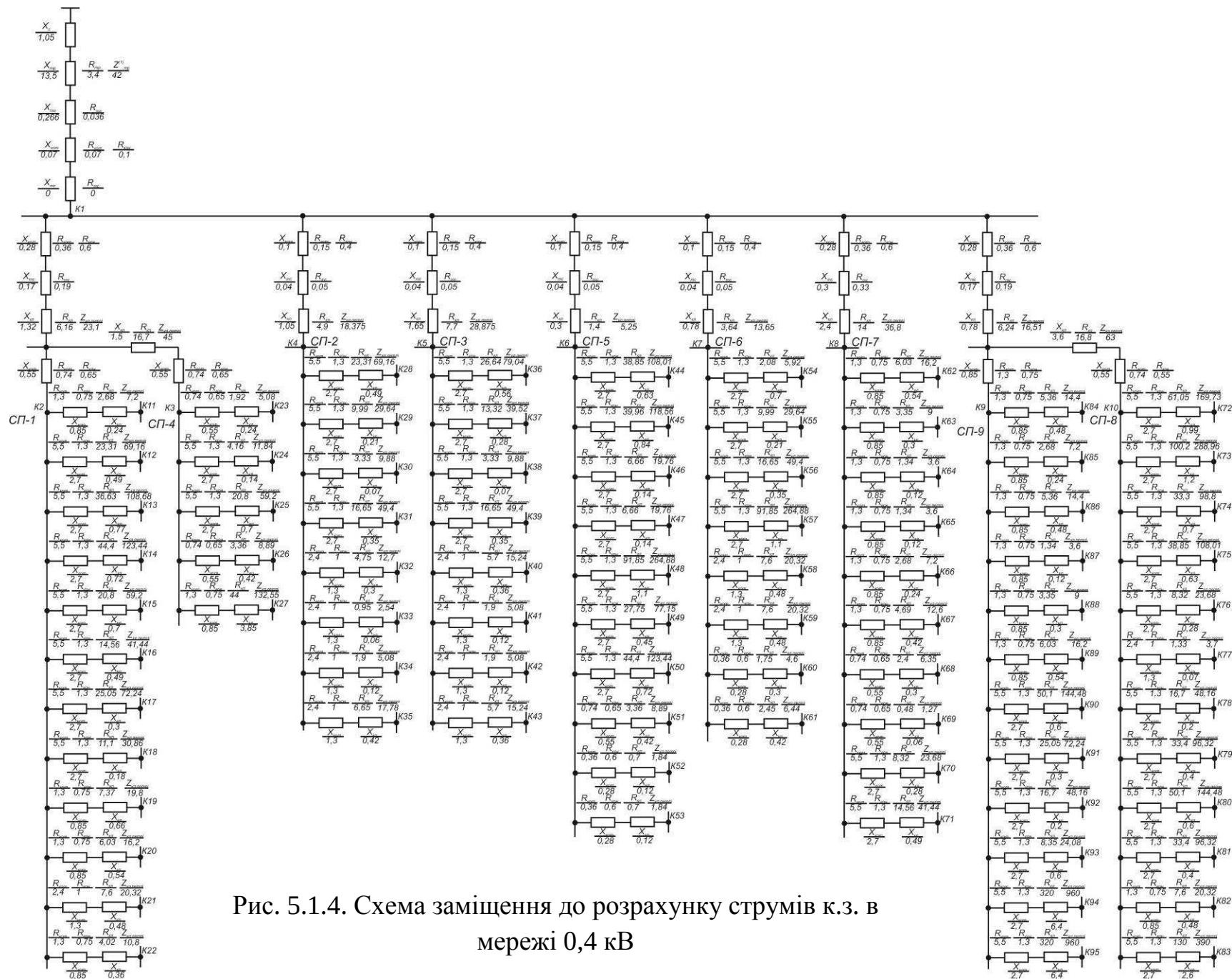


Рис. 5.1.3. Розрахункова схема до розрахунку струмів к.з. в мережі 0,4 кВ



Опір шин трансформатора:

$$r_{\text{ош}} = 0,036 \text{ мОм}; x_{\text{ош}} = 0,266 \text{ мОм};$$

Опір комутуючих апаратів на вводі:

$$r_{\text{кот}} = 0,07 \text{ мОм}; x_{\text{кот}} = 0,07 \text{ мОм}; r_{\text{к}} = 0,1 \text{ мОм}; - \text{додаток Д.4 [7].}$$

Опір кабельної лінії від ТП до СП-1:

$$r_o = 0,28 \text{ мОм/м}; x_o = 0,06 \text{ мОм/м}; z_o \text{ петлі} = 1,05 \text{ мОм/м}; - \text{додаток Д.5 [7].}$$

Тоді

$$R_{\text{кл}} = r_o \cdot l = 0,28 \cdot 22 = 6,16 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл}} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 22 = 1,32 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{петлі кл}} = Z_o \text{ петлі} \cdot l = 1,05 \cdot 22 = 23,1 \text{ мОм}.$$

Розрахунок опорів для інших КЛ подібний, а результати наведені в табл. 5.1.1.

Таблиця 5.1.1. Розрахунок опорів кабельних ліній електричної мережі 0,4 кВ.

КЛ	r_o , мОм/м	x_o , мОм/м	$z_o \text{ петлі}$, мОм/м	L , м	R , мОм	X , мОм	$Z_{\text{петлі}}$, мОм
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП-СП1	0,28	0,06	1,05	22	6,16	1,32	23,1
ТП-СП2	0,14	0,03	0,525	35	4,9	1,05	18,375
ТП-СП3	0,14	0,03	0,525	55	7,7	1,65	28,875
СП1-СП4	0,67	0,06	1,8	25	16,75	1,5	45
ТП-СП5	0,14	0,03	0,525	10	1,4	0,3	5,25
ТП-СП6	0,14	0,03	0,525	26	3,64	0,78	13,65
ТП-СП7	0,35	0,06	0,92	40	14	2,4	36,8
ТП-СП9	0,48	0,06	1,27	13	6,24	0,78	16,51
СП9-СП8	0,28	0,06	1,05	60	16,8	3,6	63
СП1-1	0,67	0,06	1,8	4	2,68	0,24	7,2
СП1-3	3,33	0,07	9,88	7	23,31	0,49	69,16
СП1-4	3,33	0,07	9,88	11	36,63	0,77	108,68
СП1-5	5,55	0,09	15,43	8	44,4	0,72	123,44
СП1-8	2,08	0,07	5,92	10	20,8	0,7	59,2
СП1-9	2,08	0,07	5,92	7	14,56	0,49	41,44
СП1-10	8,35	0,1	24,08	3	25,05	0,3	72,24
СП1-11	5,55	0,09	15,43	2	11,1	0,18	30,86
СП1-13	0,67	0,06	1,8	11	7,37	0,66	19,8
СП1-14	0,67	0,06	1,8	9	6,03	0,54	16,2

1	2	3	4	5	6	7	8
СП1-15	0,95	0,06	2,54	8	7,6	0,48	20,32
СП1-16	0,67	0,06	1,8	6	4,02	0,36	10,8
СП2-17	3,33	0,07	9,88	7	23,31	0,49	69,16
СП2-18	3,33	0,07	9,88	3	9,99	0,21	29,64
СП2-19	3,33	0,07	9,88	1	3,33	0,07	9,88
СП2-20	3,33	0,07	9,88	5	16,65	0,35	49,4
СП2-25	0,95	0,06	2,54	5	4,75	0,3	12,7
СП2-26	0,95	0,06	2,54	1	0,95	0,06	2,54
СП2-27	0,95	0,06	2,54	2	1,9	0,12	5,08
СП2-28	0,95	0,06	2,54	7	6,65	0,42	17,78
СП3-21	3,33	0,07	9,88	8	26,64	0,56	79,04
СП3-22	3,33	0,07	9,88	4	13,32	0,28	39,52
СП3-23	3,33	0,07	9,88	1	3,33	0,07	9,88
СП3-24	3,33	0,07	9,88	5	16,65	0,35	49,4
СП3-29	0,95	0,06	2,54	6	5,7	0,36	15,24
СП3-30	0,95	0,06	2,54	2	1,9	0,12	5,08
СП3-31	0,95	0,06	2,54	2	1,9	0,12	5,08
СП3-32	0,95	0,06	2,54	6	5,7	0,36	15,24
СП4-2	0,48	0,06	1,27	4	1,92	0,24	5,08
СП4-6	2,08	0,07	5,92	2	4,16	0,14	11,84
СП4-7	2,08	0,07	5,92	10	20,8	0,7	59,2
СП4-12	0,48	0,06	1,27	7	3,36	0,42	8,89
СП4-33	0,8	0,07	2,41	55	44	3,85	132,55
СП5-34	5,55	0,09	15,43	7	38,85	0,63	108,01
СП5-35	3,33	0,07	9,88	12	39,96	0,84	118,56
СП5-48	3,33	0,07	9,88	2	6,66	0,14	19,76
СП5-49	3,33	0,07	9,88	2	6,66	0,14	19,76
СП5-50	8,35	0,1	24,08	11	91,85	1,1	264,88
СП5-51	5,55	0,09	15,43	5	27,75	0,45	77,15
СП5-52	5,55	0,09	15,43	8	44,4	0,72	123,44
СП5-53	0,48	0,06	1,27	7	3,36	0,42	8,89
СП5-79	0,35	0,06	0,92	2	0,7	0,12	1,84
СП5-80	0,35	0,06	0,92	2	0,7	0,12	1,84
СП6-56	2,08	0,07	5,92	1	2,08	0,07	5,92
СП6-57	3,33	0,07	9,88	3	9,99	0,21	29,64
СП6-58	3,33	0,07	9,88	5	16,65	0,35	49,4
СП6-59	8,35	0,1	24,08	11	91,85	1,1	264,88
СП6-60	0,95	0,06	2,54	8	7,6	0,48	20,32
СП6-65	0,95	0,06	2,54	8	7,6	0,48	20,32
СП6-81	0,35	0,06	0,92	5	1,75	0,3	4,6
СП6-82	0,35	0,06	0,92	7	2,45	0,42	6,44

1	2	3	4	5	6	7	8
СП7-36	0,67	0,06	1,8	9	6,03	0,54	16,2
СП7-37	0,67	0,06	1,8	5	3,35	0,3	9
СП7-38	0,67	0,06	1,8	2	1,34	0,12	3,6
СП7-39	0,67	0,06	1,8	2	1,34	0,12	3,6
СП7-40	0,67	0,06	1,8	4	2,68	0,24	7,2
СП7-41	0,67	0,06	1,8	7	4,69	0,42	12,6
СП7-54	0,48	0,06	1,27	5	2,4	0,3	6,35
СП7-55	0,48	0,06	1,27	1	0,48	0,06	1,27
СП7-61	2,08	0,07	5,92	4	8,32	0,28	23,68
СП7-62	2,08	0,07	5,92	7	14,56	0,49	41,44
СП8-64	5,55	0,09	15,43	11	61,05	0,99	169,73
СП8-66	8,35	0,1	24,08	12	100,2	1,2	288,96
СП8-67	3,33	0,07	9,88	10	33,3	0,7	98,8
СП8-68	5,55	0,09	15,43	7	38,85	0,63	108,01
СП8-69	2,08	0,07	5,92	4	8,32	0,28	23,68
СП8-70	1,33	0,07	3,7	1	1,33	0,07	3,7
СП8-71	8,35	0,1	24,08	2	16,7	0,2	48,16
СП8-72	8,35	0,1	24,08	4	33,4	0,4	96,32
СП8-73	8,35	0,1	24,08	6	50,1	0,6	144,48
СП8-74	8,35	0,1	24,08	4	33,4	0,4	96,32
СП8-75	0,95	0,06	2,54	8	7,6	0,48	20,32
СП8-84	5	0,1	15	26	130	2,6	390
СП9-42	0,67	0,06	1,8	8	5,36	0,48	14,4
СП9-43	0,67	0,06	1,8	4	2,68	0,24	7,2
СП9-44	0,67	0,06	1,8	8	5,36	0,48	14,4
СП9-45	0,67	0,06	1,8	2	1,34	0,12	3,6
СП9-46	0,67	0,06	1,8	5	3,35	0,3	9
СП9-47	0,67	0,06	1,8	9	6,03	0,54	16,2
СП9-76	8,35	0,1	24,08	3	25,05	0,3	72,24
СП9-77	8,35	0,1	24,08	2	16,7	0,2	48,16
СП9-78	8,35	0,1	24,08	1	8,35	0,1	24,08
СП9-83	5	0,1	15	64	320	6,4	960
СП9-85	5	0,1	15	64	320	6,4	960

Сумарні опори елементів до т. К1:

$$r_{\Sigma 1} = r_{\text{тр}} + r_{\text{ош}} + r_{\text{тс}} + r_{\text{кот}} + r_{\text{к}} = 3,4 + 0,036 + 0 + 0,07 + 0,1 = 3,606 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma 1} = x_{\text{с}} + x_{\text{тр}} + x_{\text{ош}} + x_{\text{тс}} + x_{\text{кот}} = 1,05 + 13,5 + 0,266 + 0 + 0,07 = 14,886 \text{ мОм};$$

$$z_1 = \sqrt{(r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2)} = \sqrt{(3,606^2 + 14,886^2)} = 15,316 \text{ мОм}.$$

Трифазний струм КЗ в т. К1:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

$$I_{K1}^{(3)} = U_H / (\sqrt{3}z_1) = 380 / (\sqrt{3} \cdot 15,316) = 14,32 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$i_{уд} = \sqrt{2} K_{уд} I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,467 \cdot 14,32 = 29,716 \text{ кА.}$$

де

$$K_{уд} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0131}} = 1,467, \quad T_a = \frac{X}{\omega R} = \frac{14,886}{314 \cdot 3,606} = 0,0131 \text{ 1/с.}$$

Сумарний опір петлі фаза-нуль до т. К1:

$$r_{петлі1} = 3r_{ош} + 3r_{кот} + 3r_{тс} + 3r_k = 3 \cdot 0,036 + 3 \cdot 0,07 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0,1 = 0,618 \text{ мОм;}$$

$$x_{петлі1} = 2x_c + 3x_{тс} + 3x_{ош} + 3x_{кот} = 2 \cdot 1,05 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0,266 + 3 \cdot 0,07 = 3,108 \text{ мОм;}$$

$$z_{петлі1} = \sqrt{(r_{петлі1}^2 + x_{петлі1}^2)} = \sqrt{(0,618^2 + 3,108^2)} = 3,168 \text{ мОм.}$$

Струм однофазного КЗ в т. К1:

$$I_{K1}^{(1)} = U_{\phi} / (z_T^{(1)} / 3 + z_{петлі1}) = 220 / (42/3 + 3,168) = 12,814 \text{ кА.}$$

Опір комутаційного апарату до СП-1:

$$r_{кот} = 0,36 \text{ мОм; } x_{кот} = 0,28 \text{ мОм; } r_k = 0,6 \text{ мОм.}$$

Опір трансформатору струму:

$$r_{тс} = 0,19 \text{ мОм; } x_{тс} = 0,17 \text{ мОм;}$$

Сумарний опір до т. К2:

$$r_{\Sigma 2} = r_{\Sigma 1} + r_{кат} + r_k + r_{тс} + r_{пр} = 3,606 + 0,36 + 0,6 + 0,19 + 6,16 = 10,916 \text{ мОм,}$$

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_{кат} + x_{тс} + x_{пр} = 14,886 + 0,28 + 0,17 + 1,32 = 16,656 \text{ мОм;}$$

$$z_2 = \sqrt{(r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2)} = \sqrt{(10,916^2 + 16,656^2)} = 19,914 \text{ мОм.}$$

Трифазний струм КЗ в т. К2:

$$I_{K2}^{(3)} = U_H / (\sqrt{3}z_2) = 380 / (\sqrt{3} \cdot 19,914) = 11,07 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,128 \cdot 11,07 = 17,655 \text{ кА,}$$

де

$$K_{уд} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0048}} = 1,128,$$

$$T_a = \frac{X}{\omega R} = \frac{16,656}{314 \cdot 10,916} = 0,00481 \text{ 1/с.}$$

Сумарний опір петлі фаза-нуль до т. К2:

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					37

$$r_{\text{петлі2}} = r_{\text{петлі1}} + 3r_{\text{ТС}} + 3r_{\text{КОТ}} + 3r_{\text{К}} = 0,618 + 3 \cdot 0,19 + 3 \cdot 0,36 + 3 \cdot 0,6 = 4,068 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{петлі2}} = x_{\text{петлі1}} + 3x_{\text{ТС}} + 3x_{\text{КОТ}} = 3,108 + 3 \cdot 0,17 + 3 \cdot 0,28 = 4,458 \text{ мОм};$$

$$z_{\text{петлі2}} = \sqrt{(r_{\text{петлі1}}^2 + x_{\text{петлі1}}^2)} = \sqrt{(4,068^2 + 4,458^2)} = 6,035 \text{ мОм}.$$

Струм однофазного КЗ в т. К2:

$$I_{\text{К2}}^{(1)} = U_{\text{ф}} / (z_{\text{Т}}^{(1)} / 3 + z_{\text{петлі2}} + z_{\text{кл петлі}}) = 220 / (42 / 3 + 6,035 + 23,1) = 5,1 \text{ кА}.$$

Розрахунок струмів КЗ для інших точок є абсолютно подібний, а результати розрахунку зведені до табл. 5.1.2.

Таблиця 5.1.2. Результати розрахунку струмів КЗ в мережі 0,4 кВ.

т. к.з.	R_{Σ} , мОм	X_{Σ} , мОм	$I_{\text{КЗ}}$, кА	$T_{\text{а}}$, 1/с	$I_{\text{уд}}$, кА	$I^{(1)}_{\text{КЗ}}$, кА
1	2	3	4	5	6	7
1	3,606	14,886	14,32	0,0131	29,716	12,814
2	10,916	16,656	11,07	0,0048	17,655	5,1
3	29,006	18,706	6,357	0,002	9,059	2,382
4	9,106	16,076	11,875	0,005	19,629	6,002
5	11,906	16,676	10,707	0,0044	16,751	4,666
6	5,606	15,326	13,444	0,009	25,041	9,351
7	7,846	15,806	12,433	0,006	21,282	6,891
8	18,896	17,866	8,437	0,003	12,362	3,832
9	13,046	16,966	10,251	0,004	15,793	5,128
10	29,086	20,266	6,189	0,002	8,849	2,125
11	15,646	17,746	9,273	0,0034	13,801	3,881
12	41,026	19,846	4,814	0,0013	6,811	1,645
13	54,346	20,126	3,786	0,0001	5,354	1,27
14	62,116	20,076	3,361	0,0008	4,753	1,17
15	38,516	20,056	5,052	0,0014	7,15	1,777
16	32,276	19,846	5,79	0,0016	8,207	2,075
17	42,766	19,656	4,661	0,0012	6,594	1,608
18	28,816	19,536	6,302	0,0018	8,951	2,305
19	20,316	18,166	8,05	0,0026	11,632	3,175
20	18,996	18,046	8,373	0,0028	12,171	3,349
21	21,916	18,436	7,661	0,0024	11,008	2,975
22	16,986	17,866	8,9	0,0031	13,098	3,649
23	32,316	19,496	5,813	0,0018	8,257	2,161
24	39,966	21,546	4,832	0,0015	6,842	1,747
25	56,606	22,106	3,61	0,0011	5,106	1,27
26	33,756	19,676	5,615	0,0018	7,968	2,083
27	75,056	23,406	2,791	0,0008	3,946	0,951
28	39,216	19,266	5,021	0,0013	7,104	1,73

1	2	3	4	5	6	7
29	25,896	18,986	6,832	0,002	9,724	2,511
30	19,236	18,846	8,147	0,0027	11,791	3,242
31	32,556	19,126	5,81	0,0016	8,231	2,049
32	17,256	17,676	8,881	0,003	12,992	3,684
33	13,456	17,436	9,961	0,0038	15,105	4,439
34	14,406	17,496	9,68	0,0036	14,511	4,223
35	19,156	17,796	8,391	0,0027	12,148	3,395
36	45,346	19,936	4,429	0,0012	6,265	1,491
37	32,026	19,656	5,839	0,0017	8,277	2,037
38	22,036	19,446	7,465	0,0024	10,724	2,807
39	35,356	19,726	5,419	0,0015	7,673	1,866
40	21,006	18,336	7,868	0,0025	11,341	3,024
41	17,206	18,096	8,786	0,0031	12,912	3,515
42	17,206	18,096	8,786	0,0031	12,912	3,515
43	21,006	18,336	7,868	0,0025	11,341	3,024
44	51,256	18,656	4,022	0,0009	5,688	1,439
45	52,366	18,866	3,942	0,0009	5,574	1,346
46	19,066	18,166	8,331	0,0026	12,019	3,405
47	19,066	18,166	8,331	0,0026	12,019	3,405
48	104,256	19,126	2,07	0,0004	2,927	0,71
49	40,156	18,476	4,963	0,0012	7,021	1,803
50	56,806	18,746	3,668	0,0008	5,187	1,307
51	10,356	16,296	11,363	0,0047	17,995	6,024
52	7,266	15,726	12,665	0,0067	21,952	7,869
53	7,266	15,726	12,665	0,0067	21,952	7,869
54	16,726	19,206	8,614	0,003	12,622	3,717
55	24,636	18,716	7,091	0,002	10,104	2,654
56	31,296	18,856	6,005	0,0016	8,509	2,143
57	106,496	19,606	2,026	0,0047	2,865	0,692
58	18,846	17,586	8,511	0,0027	12,322	3,514
59	18,846	17,586	8,511	0,0027	12,322	3,514
60	10,556	16,386	11,256	0,0048	17,873	5,624
61	11,256	16,506	10,981	0,0045	17,19	5,372
62	26,976	19,256	6,619	0,0021	9,443	2,751
63	24,296	19,016	7,111	0,0023	10,197	3,024
64	22,286	18,836	7,519	0,0026	10,845	3,266
65	22,286	18,836	7,519	0,0026	10,845	3,266
66	23,626	18,956	7,243	0,0024	10,404	3,1
67	22,636	19,136	6,858	0,0022	9,806	2,881
68	22,686	18,716	7,46	0,0025	10,746	3,236
69	20,766	18,476	7,893	0,0027	11,453	3,498

1	2	3	4	5	6	7
70	34,016	20,846	5,499	0,0017	7,797	2,146
71	40,256	21,056	4,829	0,0014	6,835	1,829
72	96,936	23,956	2,197	0,0006	3,107	0,746
73	136,086	24,166	1,587	0,0005	2,245	0,531
74	69,186	23,666	3	0,0009	4,243	0,982
75	74,736	23,596	2,799	0,0008	3,959	0,943
76	44,206	23,246	4,393	0,0015	6,219	1,478
77	33,816	21,636	5,465	0,0019	7,77	1,866
78	52,586	23,166	3,818	0,0012	5,401	1,269
79	69,286	23,366	3	0,0009	4,243	0,993
80	85,986	23,566	2,461	0,0007	3,48	0,816
81	69,286	23,366	3	0,0009	4,243	0,993
82	38,736	21,596	4,947	0,0017	7,013	1,688
83	165,886	25,566	1,307	0,0004	1,849	0,427
84	20,456	18,296	7,994	0,0026	11,562	3,445
85	17,776	18,056	8,659	0,003	12,702	3,883
86	20,456	18,296	7,994	0,0026	11,562	3,445
87	16,436	17,936	9,018	0,0033	13,363	4,146
88	18,446	18,116	8,486	0,0029	12,396	3,763
89	21,126	18,356	7,839	0,0026	11,309	3,35
90	69,946	20,266	3,013	0,0007	4,261	1,052
91	44,896	19,966	4,465	0,0012	6,316	1,607
92	36,546	19,866	5,274	0,0015	7,468	1,95
93	28,196	20,266	6,318	0,0019	8,984	2,479
94	339,846	26,066	0,644	0,0001	0,91	0,215
95	339,846	26,066	0,644	0,0001	0,91	0,215

5.2. Вибір струмопровідних пристроїв для силових мереж

Вибір високовольтних силових кабелів 10 кВ

Вибір високовольтних силових кабелів проведемо за методикою наведеною в [1, 2, 5, 6]. Розрахунковий струм споживача:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_H} = \frac{942,1}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 27,2 \text{ А},$$

$$I_{\max} = 2I_p = 2 \cdot 27,2 = 54,4 \text{ А}.$$

Термічна стійкість кабелю до дії струмів КЗ:

$$F_{\min} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{\text{пз}}}}{K_M} = 8,3 \frac{\sqrt{1}}{95} = 87 \text{ мм}^2.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

Перетин кабельної лінії за економічною щільністю струму

$$F = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{27,2}{1,2} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

де $j_{ек} = 1,2$ – економічна щільність струму при $T_m > 5000$ год для кабельних ліній з алюмінієвими жилами.

Обираємо кабель типу ААШв (3×95) мм². В табл. 5.2.1 наведені результати його вибору.

Таблиця 5.2.1. Результати вибору КЛ 10 кВ, що живить ТП.

Живлення	S_p , кВА	I_p , А	$I_{ав}$, А	F_{min} , мм ²	$I_{доп}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка кабелю
ГЗП–ТП	942,1	27,2	54,4	87	205	22,7	ААШв (3х95)

Вибір низьковольтних кабелів 0,4 кВ

Вибір силових низьковольтних кабелів, а також шинопроводів будемо проводити за методикою висвітленою в [7].

Вибір силові кабелі 0,4 кВ до силових пунктів.

Кабель обираємо за умовою нагріву розрахунковим довготривалим струмом:

$$I_p \leq K_{пр} I_{доп},$$

де $K_{пр} = 1$ – коефіцієнт прокладки КЛ [7].

Розрахуємо допустимий струм кабелю для СП-1

$$I_{доп} \geq \frac{I_p}{K_{пр}} = \frac{177,93}{1,0} = 177,93 \text{ А}.$$

Обираємо кабель типу АВВГ перерізом 50 мм² та довготривалим допустимим струмом $I_{тр} = 110 \text{ А}$.

Визначимо втраті напруги $\Delta U < \Delta U_{доп}$:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p}{U_n} \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) L = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 177,93}{400} \cdot (0,28 \cdot 0,45 + 0,06 \cdot 0,89) 0,022 = 0,31\% \end{aligned}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

$$0,31\% < 5\%$$

Розрахунки по вибору КЛ для інших СП подібний, а результати наведені в табл. 5.2.2.

Таблиця 5.2.2. Результати вибору кабелів 0,4 кВ до СП

№ СП	Ip, А	Id, А	S мм ²	Sin	Cos	Г ₀ , мОм/м	X ₀ , мОм/м	L, км	ΔU%
1	177,93	200	АВВГ(3×120+1×50)	0,89	0,45	0,28	0,06	0,022	0,31
2	347,23	400	2×АВВГ(3×120+1×50)	0,55	0,83	0,14	0,03	0,035	0,70
3	347,23	400	2×АВВГ(3×120+1×50)	0,55	0,83	0,14	0,03	0,055	1,10
4	104,63	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,86	0,52	0,67	0,06	0,025	0,45
5	354,24	400	2×АВВГ(3×120+1×50)	0,66	0,75	0,14	0,03	0,01	0,19
6	344,04	400	2×АВВГ(3×120+1×50)	0,65	0,76	0,14	0,03	0,026	0,49
7	142,15	165	АВВГ(3×95+1×70)	0,90	0,43	0,35	0,06	0,04	0,50
8	126,4	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,74	0,67	0,48	0,06	0,013	0,26
9	196,23	200	АВВГ(3×120+1×50)	0,83	0,55	0,28	0,06	0,06	1,04

Згідно з ДСТУ допустима втрата напруги на затискачах споживачів допускається 10%, отже всі обрані кабельні лінії задовольняють цій умови.

Вибір кабелів 0,4 кВ до споживачів від СП.

Розрахуємо номінальний струм токарно-гвинторізного верстата:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{23,6}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,4} = 85,2 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель типу АВВГ 3×35+1×25 з допустимим струмом $I_n = 85,2 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 95 \text{ А}$. Перевіряємо цей кабель на відповідність встановленому захисному пристрою:

$$K_{\text{пр}} I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зах}} I_3; 1 \cdot 95 < 1 \cdot 100,$$

де $I_3 = 100 \text{ А}$ – найближче стандартне значення струму розчеплювача автоматичного вимикача, $K_{\text{зах}} = 1$ – коефіцієнт захисту, що відповідає автоматичному вимикачу з нерегульованою характеристикою [7].

Отже, обраний кабель не задовольняє умові перевірки, тому обираємо кабель з на ступень вищим перетином – АВВГ 3×50+1×35 та допустимим довготривалим струмом $I_n = 85,2 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 110 \text{ А}$. Перевіряємо цей кабель на відповідність захисному пристрою:

$$K_{\text{пр}} I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зах}} I_3; 1 \cdot 110 > 1 \cdot 100,$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Отже, обраний кабель задовольняє умові перевірки.

Вибір кабелів до інших споживачів є подібний, а результати зведені до табл. 5.2.3. Всю розподільчу мережу 0,4 кВ виконуємо кабелем марки АВВГ, для мостового крану та кран-балок використовуємо гнучкий кабель типу КРПС. Вибір кабелів до мостового крану та кран-балок є аналогічний до вибору кабелів до споживачів, а результати вибору наведені в табл. 5.2.4.

Таблиця 5.2.3. Вибір перетину кабелів 0,4 кВ до споживачів цеху.

№	Найменування ЕП	$P_{\text{н}},$ кВт	Cos	$I_p, \text{ A}$	$I_d, \text{ A}$	$S \text{ мм}^2$	$r_0,$ мОм/м	$x_0,$ мОм/м	$L, \text{ м}$	$\Delta U\%$	$I_{\text{зах}} K_{\text{зах}},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	4	0,05	100
2	Подовжно-стругальний	40	0,5	115,5	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,48	0,06	4	0,06	125
3	Зубофрезерний	10	0,4	36,1	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	7	0,15	40
4	Радіально-свердлильний	9,7	0,4	35,0	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	11	0,23	40
5	Розточувальний верстат	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	8	0,29	32
6	Координатно-розточувальний	20	0,6	48,1	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	2	0,05	50
7	Розточувальний верстат	15	0,5	43,3	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	10	0,21	50
8	Довбальний верстат	12,2	0,4	44,0	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	10	0,17	50
9	Довбальний верстат	12,2	0,4	44,0	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	7	0,12	50
10	Вертикально-свердлильний	4	0,4	14,4	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	3	0,06	16
11	Гільйотинні ножиці	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	2	0,07	32
12	Подовжно-фрезерний	40	0,5	115,5	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,48	0,06	7	0,10	125
13	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	11	0,13	100
14	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	9	0,11	100
15	Токарно-гвинторізний	18,5	0,4	66,8	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	8	0,10	80
16	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	6	0,07	100
17	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	7	0,33	40
18	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	3	0,14	40
19	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	1	0,05	40
20	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	5	0,23	40
21	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	8	0,37	40
22	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	4	0,19	40
23	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	1	0,05	40
24	Прес гідравлічний	22	0,8	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	5	0,23	40
25	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	5	0,12	80
26	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	1	0,02	80
27	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	2	0,05	80
28	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	7	0,17	80
29	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	6	0,15	80
30	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	2	0,05	80
31	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	2	0,05	80
32	Печь опору	40	0,9	67,9	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	6	0,15	80
34	Вертикально-фрезерувальний	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	7	0,25	32
35	Вертикально-фрезерувальний	13	0,5	37,5	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	12	0,34	40

Продовження табл. 5.2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	9	0,11	100
37	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	5	0,06	100
38	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	2	0,02	100
39	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	2	0,02	100
40	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	4	0,05	100
41	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	7	0,08	100
42	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	8	0,10	100
43	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	4	0,05	100
44	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	8	0,10	100
45	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	2	0,02	100
46	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	5	0,06	100
47	Токарно-гвинторізний	23,6	0,4	85,2	110	АВВГ(3×50+1×35)	0,67	0,06	9	0,11	100
48	Вертикально-фрезерувальний	13	0,5	37,5	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	2	0,06	40
49	Вертикально-фрезерувальний	13	0,5	37,5	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	2	0,06	40
50	Вертикально-фрезерувальний	7,5	0,5	21,7	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	11	0,44	25
51	Вертикально-фрезерувальний	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	5	0,18	32
52	Вертикально-фрезерувальний	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	8	0,29	32
53	Подовжно-стругальний	40	0,5	115,5	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,48	0,06	7	0,10	125
54	Подовжно-стругальний	40	0,5	115,5	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,48	0,06	5	0,07	125
55	Подовжно-стругальний	40	0,5	115,5	140	АВВГ(3×70+1×50)	0,48	0,06	1	0,01	125
56	Токарно-гвинторізний	12,85	0,4	46,4	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	1	0,02	50
57	Токарно-гвинторізний	11	0,4	39,7	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	3	0,07	40
58	Токарно-гвинторізний	10	0,4	36,1	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	5	0,11	40
59	Зубофрезерний	6,2	0,4	22,4	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	11	0,37	25
60	Шліцефрезерувальний	22	0,5	63,5	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	8	0,12	80
61	Зубофрезерний	12	0,4	43,3	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	4	0,07	50
62	Зубофрезерний	12	0,4	43,3	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	7	0,12	50
63	Зубодовбальний	3,4	0,5	9,8	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	6	0,11	10
64	Універсально фрезерувальний	9	0,5	26,0	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	11	0,35	32
65	Шліцефрезерувальний	22	0,5	63,5	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	8	0,12	80
66	Зубостругальний	2,8	0,5	8,1	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	12	0,18	10
67	Усередині шліфувальний	10	0,4	36,1	45	АВВГ(3×10+1×6)	3,33	0,07	10	0,22	40
68	Круглошліфувальний	10	0,5	28,9	35	АВВГ(3×6+1×4)	5,55	0,09	7	0,25	32
69	Плоскошліфувальний	16	0,5	46,2	60	АВВГ(3×16+1×10)	2,08	0,07	4	0,09	50
70	Круглошліфувальний	18,5	0,5	53,4	75	АВВГ(3×25+1×16)	1,33	0,07	1	0,02	63
71	Плоскошліфувальний	8	0,5	23,1	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	2	0,09	25
72	Плоскошліфувальний	4	0,5	11,5	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	4	0,09	12,5
73	Свердильний верстат	4	0,5	11,5	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	6	0,13	12,5
74	Свердильний верстат	4	0,5	11,5	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	4	0,09	12,5
75	Гідростенд	40	0,8	72,2	95	АВВГ(3×35+1×25)	0,95	0,06	8	0,20	80
76	Точильно-шліфувальний	2,1	0,5	6,1	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	3	0,03	10
77	Точильно-шліфувальний	2,8	0,5	8,1	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	2	0,03	10
78	Точильно-шліфувальний	2,8	0,5	8,1	27	АВВГ(3×4+1×2,5)	8,35	0,1	1	0,01	10
79	Вентилятор	80	0,8	144,3	165	АВВГ(3×95+1×70)	0,35	0,06	2	0,04	160
80	Вентилятор	80	0,8	144,3	165	АВВГ(3×95+1×70)	0,35	0,06	2	0,04	160
81	Вентилятор	80	0,8	144,3	165	АВВГ(3×95+1×70)	0,35	0,06	5	0,10	160
82	Вентилятор	80	0,8	144,3	165	АВВГ(3×95+1×70)	0,35	0,06	7	0,14	160

Таблиця 5.2.4. Вибір КЛ 0,4 кВ до кранового обладнання.

№	ЕП	P_H , кВт	$\cos$	I_p , А	I_d , А	S мм ²	r_0 , мОм/м	x_0 , мОм/м	L , м	$\Delta U\%$	$I_{\text{зах}} K_{\text{зах}}$, А
33	Мостовий кран	29,2	0,5	84,3	100	КРПС (3×25+1×16)	0,8	0,07	55	0,92	100
83	Кран-балка	3	0,5	8,7	35	КРПС (3×4+1×2,5)	5	0,1	64	0,62	10
84	Кран-балка	3	0,5	8,7	35	КРПС (3×4+1×2,5)	5	0,1	26	0,25	10
85	Кран-балка	6	0,5	17,3	35	КРПС (3×4+1×2,5)	5	0,1	64	1,24	25

5.3. Розрахунок освітлювальної мережі цеху

Розрахунок та вибір освітлювальної мережі для цеху проведемо за методикою висвітленою в [7]. Електрична схема освітлювальної мережі цеху представлена на рис 5.3.1.

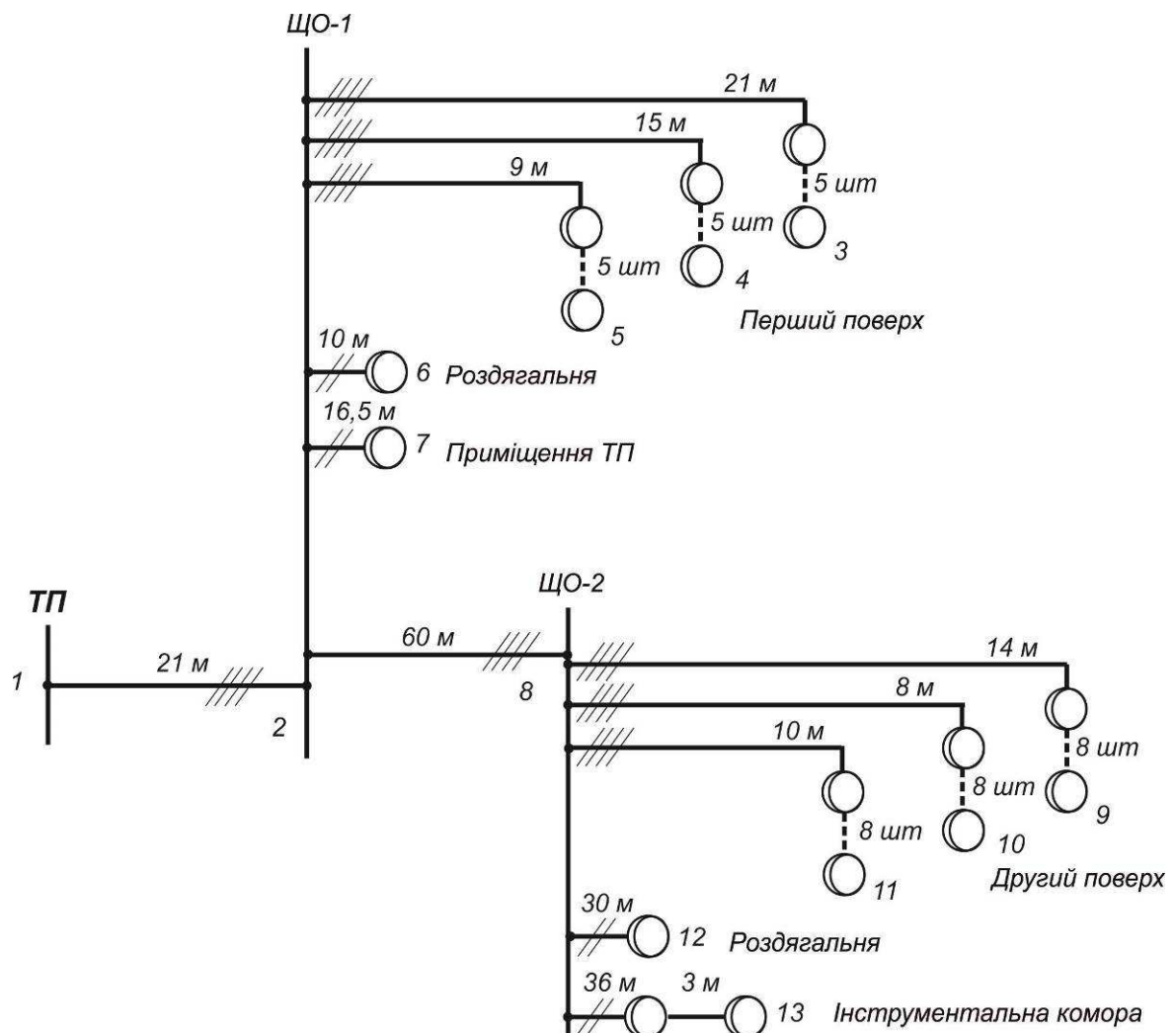


Рис. 5.3.1. Електрична схема освітлювальної мережі цеху.

Мінімальна допустима напруга для освітлювального устаткування складає:

$$U_{\min} = 97,5\%U_{\text{н}}, U_{\text{xx}} = 105\%U_{\text{н}}.$$

Втрати напруги в трансформаторі:

$$U_a = \frac{100\Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{н.тр}}} = \frac{100 \cdot 7,6}{630} = 1,2\%, U_p = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37\%,$$

де $\Delta P_{\text{кз}} = 7,6$ кВт, $U_{\text{к}} = 5,5\%$.

$$\Delta U_{\text{т}} = k_3 (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = 0,73 \cdot (1,2 \cdot 0,987 + 5,37 \cdot 0,163) = 1,503\%;$$

$$\Delta U_{\text{доп}\%} = U_{\text{xx}} - U_{\min} - \Delta U_{\text{т}} = 105 - 97,5 - 1,503 = 5,996 \%.$$

Для розрахунку замінимо рівномірно розподілене по довжині електричне навантаження зосередженим та прикладеним в середині лінії. Розрахуємо моменти для всіх ділянок освітлювальної мережі в табличному вигляді табл. 5.3.1.

Таблиця 5.3.1. Розрахунок моментів електричного навантаження для освітлювальної мережі цеху

№ п/п	N	P ₀ , кВт	L, м	L ₀ , м	α	M, кВт·м	αM, кВт·м
2-3	5	1	10	21	1	130	130,0
2-4	5	1	10	15	1	100	100,0
2-5	5	1	10	9	1	70	70,0
2-6	1	1	0	10	1,39	10	13,9
2-7	1	0,7	0	16,5	1,39	11,55	16,055
2-8	1	23,2	0	60	1	1392	1392,0
						Всього по ЩО-1	2090,207
8-9	8	1	7	14	1	140	140
8-10	8	1	7	8	1	92	92
8-11	6	1	7	10	1	81	81
8-12	1	0,7	0	30	1,39	21	29,19
8-13	2	0,25	3	36	1,39	18,75	26,063
						Всього по ЩО-2	368,253

Визначимо переріз кабелю, що йде від ТП до ЩО-1:

$$F_{12} = \frac{\Sigma M + \alpha \cdot \Sigma m}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{39,9 \cdot 21 + 2090,207}{44 \cdot 5,996} = 11,1 \text{ мм}^2,$$

де $\alpha = 1$ – коефіцієнт приведення моментів;

Σm – сума електричних моментів ліній, що живляться через даний кабель;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

C – коефіцієнт, що для чотирьохпровідної мережі складає $C = 44$, а для двохпровідної $C = 7,4$.

Приймаємо стандартне значення перетину кабелю 16 мм^2 .

Перевіряємо обраний кабель на довготривалий робочий струм

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U} = \frac{52}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 75 \text{ А.}$$

Так як обраний перетин не може витримати довготривалий струм $60 \text{ А} < 75 \text{ А}$, то використаємо на ступень вище значення перетину 35 мм^2 за умовою довготривалого струму ($95 \text{ А} > 75 \text{ А}$).

Обчислимо дійсну втрату напруги в обраному кабелі:

$$\Delta U_{12} = \frac{M_{12}}{C \cdot F_{12}} = \frac{39,9 \cdot 21}{44 \cdot 35} = 0,544\%,$$

$$\Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{12} = 5,996 - 0,544 = 5,452\%.$$

Результати розрахунку та вибору інших кабелів освітлювальної мережі цеху наведені в табл. 5.3.2.

Таблиця 5.3.2. Вибір перетину кабельних ліній освітлювальної мережі цеху.

№ п/п	αM , кВт·м	C	F_p , мм ²	S , кВА	I , А	$F_{\text{ст}}$, мм ²	ΔU , %	$I_{\text{доп}}$, А
2-3	130	44	0,493	9,99	14,42	4	0,74	27
2-4	100	44	0,379	9,99	14,42	4	0,57	27
2-5	70	44	0,265	9,99	14,42	4	0,40	27
2-6	13,9	7,4	0,313	2,00	2,88	2,5	0,75	23
2-7	16,055	7,4	0,362	1,40	2,02	2,5	0,87	23
2-8	368,253	44	1,324	46,36	66,91	25	0,33	75
8-9	140	44	0,503	15,99	23,07	4	0,80	27
8-10	92	44	0,331	15,99	23,07	4	0,52	27
8-11	81	44	0,291	11,99	17,31	4	0,46	27
8-12	29	7,4	0,633	1,40	2,02	2,5	1,58	23
8-13	26	7,4	0,556	1,00	1,44	2,5	1,41	23

Для освітлювальної мережі цеху застосуємо кабель марки АВВГ. Мінімальний переріз чотирьохжильних кабелів – 4 мм^2 , а двохжильних – $2,5 \text{ мм}^2$. До рівня підвісу ліхтарів прокладання кабельних ліній здійснюється в сталевих трубах зовнішнім діаметром 40 мм . Для живлення освітлювальних електромереж

застосовуються щити типу ЩО 31-21 обладнаних вхідним автоматом типу АЗ114, та автоматами на лініях, що відходять АЕ-1031-11 з кількістю до 6 шт. [7].

5.4. Техніко-економічне порівняння варіантів внутрішнього електропостачання цеху

Для порівняння варіантів внутрішнього електропостачання цеху проведемо техніко-економічний розрахунок за методикою наведеною в [7].

Намітимо два варіанти для внутрішнього електропостачання цеху: перший – з використанням комплектних шинопроводів, другий з використанням силових пунктів.

Вибір комплектних шинопроводів цеху.

Розрахунок електричного навантаження для комплектних шинопроводів проведений у стандартному табличному вигляді табл. 5.4.1.

Шинопроводи типу ШМА для магістральних ділянок обирають за розрахунковим струмом.

$$I_{н.ШМА-1} = 815,2 \text{ А}, I_{н.ШМА-2} = 977,3 \text{ А}.$$

Обираємо в якості магістрального шинопроводу – ШМА73УЗ з наступними характеристиками: $I_n = 1600 \text{ А}$, $I_{дин} = 90 \text{ кА}$, $x_0 = 0,017 \text{ мОм/м}$, $r_0 = 0,031 \text{ мОм/м}$, $z_0 = 0,036 \text{ мОм/м}$.

Вибір розподільчих шинопроводів ШРА.

ШРА-1: $I_p = 186,8 \text{ А}$, вибираємо ШРА73 с $I_n = 250 \text{ А}$;

$I_{дин} = 15 \text{ кА}$, $r_0 = 0,21 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,1 \text{ мОм}$; $z_0 = 0,24 \text{ мОм/м}$.

ШРА-2: $I_p = 625,8 \text{ А}$, вибираємо ШРА73 с $I_n = 630 \text{ А}$;

$I_{дин} = 35 \text{ кА}$, $r_0 = 0,1 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,13 \text{ мОм}$; $z_0 = 0,16 \text{ мОм/м}$.

ШРА-3: $I_p = 573,8 \text{ А}$, вибираємо ШРА73 с $I_n = 630 \text{ А}$;

$I_{дин} = 35 \text{ кА}$, $r_0 = 0,1 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,13 \text{ мОм}$; $z_0 = 0,16 \text{ мОм/м}$.

ШРА-4: $I_p = 469,3 \text{ А}$, вибираємо ШРА73 с $I_n = 630 \text{ А}$;

$I_{дин} = 35 \text{ кА}$, $r_0 = 0,1 \text{ мОм/м}$, $x_0 = 0,13 \text{ мОм}$; $z_0 = 0,16 \text{ мОм/м}$.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

Таблиця 5.4.1. Розрахунок електричного навантаження в мережі 0,4 кВ з застосуванням шинопроводів

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р _н , кВт		K _н	Cos	tg	Середньозмінне		n _з	K _м	Розрахункове навантаження			
			Одного	Сумарна				P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВАр			P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШРА-1															
	Токарно-гвинторізний	5	18,5-23,6	112,9	0,14	0,4	2,29	15,8	36,2						
	Подовжньо-стругальний	1	40	40,0	0,14	0,5	1,73	5,6	9,7						
	Зубофрезерний	1	10	10,0	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7						
	Радіально-свердильний	1	9,7	9,7	0,12	0,4	2,29	1,2	2,7						
	Розточувальний верстат	2	10-15	25,0	0,16	0,5	1,73	4,0	6,9						
	Координатно-розточувальний	1	20	20,0	0,2	0,6	1,33	4,0	5,3						
	Довбальний верстат	2	12,2	24,4	0,12	0,4	2,29	2,9	6,7						
	Вертикально-свердильний	1	4	4,0	0,12	0,4	2,29	0,5	1,1						
	Гільйотинні ножиці	1	10	10,0	0,16	0,5	1,73	1,6	2,8						
	Подовжньо-фрезерний	1	40	40,0	0,16	0,5	1,73	6,4	11,1						
	Мостовий кран	1	29,2	29,2	0,1	0,5	1,73	2,9	5,1						
	Всього по ШРА-1	17	4-40	325,2	0,14	0,45	1,96	46,10	90,32	16	1,8	83,0	99,3	129,4	186,8
ШРА-2															
	Прес гідравлічний	8	22,0	176	0,65	0,8	0,75	114,4	85,8						
	Печь опору	8	40,0	320	0,7	0,85	0,62	224,0	138,8						
	Всього по ШРА-2	16	22-40	496	0,68	0,83	0,66	338,40	224,62	16	1,13	382,4	247,1	455,3	625,8
	Всього по ШМА-1	33	4-40	821,2	0,47	0,77	0,82	384,498	314,94	33	1,16	446,0	346,4	564,8	815,2
ШРА-3															
	Вертикально-фрезерувальний	7	7,5-13	76,5	0,17	0,5	1,73	13,0	22,5						
	Токарно-гвинторізний	12	23,6	283,2	0,14	0,4	2,29	39,6	90,8						
	Подовжньо-стругальний	3	40	120,0	0,14	0,5	1,73	16,8	29,1						
	Зубофрезерний	2	12	24,0	0,12	0,4	2,29	2,9	6,6						
	Зубодовбальний	1	3,4	3,4	0,17	0,5	1,73	0,6	1,0						
	Універсально фрезерувальний	1	9	9,0	0,14	0,5	1,73	1,3	2,2						
	Точильно-шліфувальний	3	2,1-2,8	7,7	0,12	0,5	1,73	0,9	1,6						

Продовження табл. 5.4.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Вентилятор	2	80	160,0	0,8	0,8	0,75	128,0	96,0						
	Кран-балка	2	3-6	9,0	0,1	0,5	1,73	0,9	1,6						
	Всього по ШРА-3	33	2,1-80	692,8	0,29	0,63	1,23	204,00	251,41	17	1,4	285,6	276,6	397,5	573,8
ШРА-4															
	Токарно-гвинторізний	3	10-12,85	33,85	0,14	0,4	2,29	4,7	10,9						
	Зубофрезерний	1	6,2	6,2	0,12	0,4	2,29	0,7	1,7						
	Шліцефрезерувальний	2	22,0	44	0,17	0,5	1,73	7,5	13,0						
	Зубостругальний	1	2,8	2,8	0,17	0,5	1,73	0,5	0,8						
	Усередині шліфувальний	1	10,0	10	0,15	0,4	2,29	1,5	3,4						
	Круглошліфувальний	2	10-18,5	28,5	0,16	0,5	1,73	4,6	7,9						
	Плоскошліфувальний	3	4-16,0	28	0,16	0,5	1,73	4,5	7,8						
	Свердлильний верстат	2	4,0	8	0,12	0,5	1,73	1,0	1,7						
	Гідростенд	1	40,0	40	0,65	0,8	0,75	26,0	19,5						
	Вентилятор	2	80	160,0	0,8	0,8	0,75	128,0	96,0						
	Кран-балка	1	3	3,0	0,1	0,5	1,73	0,3	0,5						
	Всього по ШРА-4	19	2,8-80	364,35	0,49	0,74	0,91	179,24	163,12	9	1,4	250,9	179,4	308,5	445,3
	Всього по ШМА-2	52	2,1-80	1057,15	0,36	0,68	1,08	383,234	414,53	26	1,25	479,0	456,0	661,4	954,6
	Всього по цеху	85	2,1-80	1878,35	0,41	0,72	0,95	767,7	729,5	47	1,14	875,2	802,4	1187,4	1713,8

Вим.

Арк.

№ документа

Підпис

Дата

50

Арк.

Перевірка шинопроводів на електродинамічну стійкість.

ШМА повинні виконувати умову стійкості до струмів к.з.

$$I_{\text{дин}} = 90 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 29,716 \text{ кА.}$$

$i_{\text{уд}}$ – ударний струм к.з. на шинах 0,4 кВ ТП в точці К1 (п.5 розрахунку струмів к.з. в мережі 0,4 кВ).

Усі ШРА з $I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$ задовольняють умові динамічній стійкості.

$$I_{\text{дин}} = 35 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 29,716 \text{ кА.}$$

ШРА з $I_{\text{н}} = 250 \text{ А}$ не задовольняють умові динамічній стійкості.

$$I_{\text{дин}} = 15 \text{ кА} < i_{\text{уд}} = 29,716 \text{ кА.}$$

тому обираємо в якості розподільчих шинопроводів шинопроводи типу ШРА73 з допустимим довготривалим струмом $I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$, що задовольняють умові динамічної стійкості.

Обчислимо допустиму втрату напруги в шинопроводах:

ШМА–1

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= \frac{\sqrt{3} \Sigma I_{\text{п}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot (186,8 \cdot 10 + 625,8 \cdot 30) \cdot 100}{380} (0,031 \cdot 0,77 + 0,017 \cdot 0,64) \cdot 10^{-3} = 0,327\%, \end{aligned}$$

ШРА–1

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= \frac{\sqrt{3} 0,5 I_{\text{п}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 186,8 \cdot 40 \cdot 100}{380} (0,1 \cdot 0,45 + 0,13 \cdot 0,89) \cdot 10^{-3} = 0,274\%, \end{aligned}$$

ШРА–2

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 625,8 \cdot 40 \cdot 100}{380} (0,1 \cdot 0,77 + 0,13 \cdot 0,64) \cdot 10^{-3} = 0,914\%,$$

ШМА–2

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot (573,8 \cdot 10 + 469,3 \cdot 17) \cdot 100}{380} (0,031 \cdot 0,68 + 0,017 \cdot 0,73) \cdot 10^{-3} = 0,209\%,$$

ШРА–3

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 573,8 \cdot 55 \cdot 100}{380} (0,1 \cdot 0,63 + 0,13 \cdot 0,78) \cdot 10^{-3} = 1,182\%,$$

ШРА–4

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 469,3 \cdot 55 \cdot 100}{380} (0,1 \cdot 0,74 + 0,13 \cdot 0,67) \cdot 10^{-3} = 0,948\%.$$

Отже, згідно з розрахунком допустима втрата напруги на затискачах споживачів менше 10%, що відповідає вимогам діючого ДСТУ, відповідно всі шинопроводи проходять за цією умовою.

Довжини кабельних ліній по варіантам до електроприймачів наведено в табл. 5.4.2.

Таблиця 5.4.2. Довжини кабельних ліній до споживачів при різних варіантах електропостачання

Номер за планом	Довжина, м		Перетин, мм ²	Номер за планом	Довжина, м		Перетин, мм ²
	СП	ШРА			СП	ШРА	
1	4	2	50	45	2	1	50
2	4	3	70	46	5	1	50
3	7	2	10	47	9	1	50
4	11	7	10	48	2	5	10
5	8	2	6	49	2	2	10
6	2	2	16	50	11	3	4
7	10	8	16	51	5	2	6
8	10	9	16	52	8	5	6
9	7	6	16	53	7	2	70
10	3	3	4	54	5	2	70
11	2	2	6	55	1	1	70
12	7	7	70	56	1	2	16
13	11	6	50	57	3	4	10
14	9	6	50	58	5	4	10
15	8	7	35	59	11	6	4
16	6	6	50	60	8	3	35
17	7	1	10	61	4	2	16
18	3	1	10	62	7	2	16
19	1	1	10	63	6	2	4
20	5	1	10	64	11	2	6
21	8	1	10	65	8	1	35
22	4	1	10	66	12	2	4
23	1	1	10	67	10	6	10
24	5	1	10	68	7	7	6
25	5	1	35	69	4	5	16
26	1	1	35	70	1	6	25
27	2	1	35	71	2	7	4
28	7	1	35	72	4	6	4
29	6	1	35	73	6	6	4
30	2	1	35	74	4	3	4
31	2	1	35	75	8	4	35
32	6	1	35	76	3	2	4
34	7	5	6	77	2	2	4

1	2	3	4	5	6	7	8
35	12	5	10	78	1	2	4
36	9	1	50	79	2	6	95
37	5	1	50	80	2	2	95
38	2	1	50	81	5	2	95
39	2	1	50	82	7	7	95
40	4	1	50	Всього	65	44	4
41	7	1	50		48	25	6
42	8	1	50		96	43	10
43	4	1	50		45	36	16
44	8	1	50		1	6	25
					63	23	35
					95	32	50
					24	15	70
					16	17	95

Розрахунок капіталовкладень в схему електропостачання по різних варіантам наведено в табл. 5.4.3.

Таблиця 5.4.3. Розрахунок капітальних вкладень для різних варіантів електропостачання

№	Елемент схеми	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість, грн.	Всього, грн.
Варіант 1	ШМА 73 УЗ	м	57	1200	68400
	ШРА 73	м	190	1000	190000
	Кабель АВВГ, мм ²				
	4	м	44	21,09	927,96
	6	м	25	28,12	703
	10	м	43	42,41	1823,63
	16	м	36	66,98	2411,28
	25	м	6	96,38	578,28
	35	м	23	118,22	2719,06
	50	м	32	172,3	5513,6
	70	м	15	224,31	3364,65
	95	м	17	313,78	5334,26
	Вимикач АВМ	шт.	2	16000	32000
				Всього	313775,72
Варіант 2	Силовий пункт ПР-8505	шт.	9	2000	18000
	Кабель АВВГ, мм ²				
	4	м	65	21,09	1370,85
	6	м	48	28,12	1349,76
	10	м	96	42,41	4071,36
	16	м	45	66,98	3014,1
	25	м	1	96,38	96,38
	35	м	63	118,22	7447,86
	50	м	120	172,3	20676
	70	м	37	224,31	8299,47
	95	м	56	313,78	17571,68
	120	м	334	360,41	120376,94
	Вимикач АВМ	шт.	7	10000	70000
	Всього				272274,4

Розрахунок поточних витрат проведених в табличній формі і представлений в табл. 5.4.4.

Таблиця 5.4.4. Розрахунок поточних витрат для різних варіантів електропостачання

№	Елемент схеми	K , грн	H_a , %	H_e , %	$H_{a.e.}$, %	C , грн
Варіант 1	Кабельні лінії	23375,72	5	5	10	2337,572
	Шинопровід	258400	15	5	20	51680
	Вимикачі автоматичні	32000	15	5	20	6400
	Всього					60417,57
Варіант 2	Кабельні лінії	184274,4	5	5	10	18427,44
	Силовий пункт ПР-8505	18000	15	5	20	3600
	Вимикачі автоматичні	70000	10	5	20	14000
	Всього					36027,44

Розрахунок вартості втрат електричної енергії в системі електропостачання для різних варіантів

Втрати активної потужності в КЛ від ТП до СП1:

$$\Delta P_{\text{клСП1}} = I_{\text{р.клСП1}}^2 \cdot r_{0\text{клСП1}} \cdot l = 177,9^2 \cdot 0,28 \cdot 22 \cdot 10^6 = 0,195 \text{ кВт},$$

Втрати активної енергії:

$$\Delta E_{\text{СП1}} = \Delta P_{\text{клСП1}} \cdot \tau_{\text{max}} = 0,195 \cdot 3579 = 697,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат активної електроенергії:

$$B_{\text{СП1}} = \Delta E_{\text{СП1}} \cdot C_0 = 697,7 \cdot 6,56 = 4576,9 \text{ грн.},$$

де C_0 – вартість електроенергії.

Таким же чином розраховуємо вартість втрат активної електроенергії в інших кабельних лініях та шинопроводах. Результати проведених розрахунків представлені в табл. 5.4.5.

Розрахунок зведених витрат по обом варіантам електропостачання наведено в табл. 5.4.6.

Отже, як видно з табл. 5.4.6 розраховані зведені витрати суттєво різняться, та мають менше значення для варіанту електропостачання з використанням силових пунктів. Тому цей спосіб електропостачання цеху і приймемо до застосування.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

**Таблиця 5.4.5. Розрахунок вартості втрат активної електроенергії в КЛ і
шинопроводах**

Втрати при силових пунктах						Втрати при шинопроводах					
КЛ	r_o , мОм/м	L, м	R, мОм	I, А	B, грн	КЛ	r_o , мОм/м	L, м	R, мОм	I, А	B, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП-СП1	0,28	22	6,16	177,9	4577,18	ШМА-1	0,031	30	0,93	815,2	14510,31
ТП-СП2	0,14	35	4,9	347,2	13868,23	ШМА-2	0,031	17	0,527	977,3	11817,67
ТП-СП3	0,14	55	7,7	347,2	21792,93	ШРА-1	0,1	40	4	186,8	3277,02
СП1-СП4	0,67	25	16,75	104,6	4302,73	ШРА-2	0,1	40	4	625,8	36778,72
ТП-СП5	0,14	10	1,4	354,2	4123,73	ШРА-3	0,1	55	5,5	573,8	42515,70
ТП-СП6	0,14	26	3,64	344	10113,09	ШРА-4	0,1	55	5,5	469,3	28439,98
ТП-СП7	0,35	40	14	142,1	6637,15	ШРА1-1	0,67	4	2,68	85,2	456,31
ТП-СП9	0,48	13	6,24	196,2	5639,60	ШРА1-2	0,48	4	1,92	115,5	601,04
СП9-СП8	0,28	60	16,8	126,4	6301,86	ШРА1-3	3,33	7	23,31	36,1	712,60
СП1-1	0,67	4	2,68	85,2	456,75	ШРА1-4	3,33	11	36,63	35,0	1053,62
СП1-3	3,33	7	23,31	36,1	713,22	ШРА1-5	5,55	8	44,4	28,9	868,69
СП1-4	3,33	11	36,63	35	1053,51	ШРА1-6	2,08	2	4,16	48,1	226,09
СП1-5	5,55	8	44,4	28,9	870,65	ШРА1-7	2,08	10	20,8	43,3	915,65
СП1-8	2,08	10	20,8	44	945,44	ШРА1-8	2,08	10	20,8	44,0	946,43
СП1-9	2,08	7	14,56	44	661,81	ШРА1-9	2,08	7	14,56	44,0	662,50
СП1-10	8,35	3	25,05	14,4	121,95	ШРА1-10	8,35	3	25,05	14,4	122,53
СП1-11	5,55	2	11,1	28,9	217,66	ШРА1-11	5,55	2	11,1	28,9	217,17
СП1-13	0,67	11	7,37	85,2	1256,07	ШРА1-12	0,48	7	3,36	115,5	1051,83
СП1-14	0,67	9	6,03	85,2	1027,69	ШРА1-13	0,67	11	7,37	85,2	1254,86
СП1-15	0,95	8	7,6	66,8	796,22	ШРА1-14	0,67	9	6,03	85,2	1026,70
СП1-16	0,67	6	4,02	85,2	685,13	ШРА1-15	0,95	8	7,6	66,8	795,17
СП2-17	3,33	7	23,31	39,7	862,56	ШРА1-16	0,67	6	4,02	85,2	684,47
СП2-18	3,33	3	9,99	39,7	369,67	ШРА2-17	3,33	7	23,31	39,7	862,25
СП2-19	3,33	1	3,33	39,7	123,22	ШРА2-18	3,33	3	9,99	39,7	369,53
СП2-20	3,33	5	16,65	39,7	616,11	ШРА2-19	3,33	11	36,63	39,7	1354,96
СП2-25	0,95	5	4,75	67,9	514,16	ШРА2-20	3,33	5	16,65	39,7	615,89
СП2-26	0,95	1	0,95	67,9	102,83	ШРА2-21	3,33	8	26,64	39,7	985,43
СП2-27	0,95	2	1,9	67,9	205,66	ШРА2-22	3,33	4	13,32	39,7	492,71
СП2-28	0,95	7	6,65	67,9	719,82	ШРА2-23	3,33	1	3,33	39,7	123,18
СП3-21	3,33	8	26,64	39,7	985,78	ШРА2-24	3,33	5	16,65	39,7	615,89
СП3-22	3,33	4	13,32	39,7	492,89	ШРА2-25	0,95	5	4,75	67,9	514,52
СП3-23	3,33	1	3,33	39,7	123,22	ШРА2-26	0,95	1	0,95	67,9	102,90
СП3-24	3,33	5	16,65	39,7	616,11	ШРА2-27	0,95	2	1,9	67,9	205,81
СП3-29	0,95	6	5,7	67,9	616,99	ШРА2-28	0,95	7	6,65	67,9	720,32
СП3-30	0,95	2	1,9	67,9	205,66	ШРА2-29	0,95	6	5,7	67,9	617,42
СП3-31	0,95	2	1,9	67,9	205,66	ШРА2-30	0,95	2	1,9	67,9	205,81
СП3-32	0,95	6	5,7	67,9	616,99	ШРА2-31	0,95	2	1,9	67,9	205,81
СП4-2	0,48	4	1,92	115,5	601,35	ШРА2-32	0,95	6	5,7	67,9	617,42
СП4-6	2,08	2	4,16	48,1	225,97	ШРА3-34	5,55	7	38,85	28,9	760,11
СП4-7	2,08	10	20,8	43,3	915,60	ШРА3-35	3,33	12	39,96	37,5	1321,28
СП4-12	0,48	7	3,36	115,5	1052,37	ШРА3-36	0,67	9	6,03	85,2	1026,70
СП5-34	5,55	7	38,85	28,9	761,82	ШРА3-37	0,67	5	3,35	85,2	570,39

Продовження табл. 5.4.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
СП5-35	3,33	12	39,96	37,5	1319,33	ШРА3-38	0,67	2	1,34	85,2	228,16	
СП5-48	3,33	2	6,66	37,5	219,89	ШРА3-39	0,67	2	1,34	85,2	228,16	
СП5-49	3,33	2	6,66	37,5	219,89	ШРА3-40	0,67	4	2,68	85,2	456,31	
СП5-50	8,35	11	91,85	21,7	1015,46	ШРА3-41	0,67	7	4,69	85,2	798,55	
СП5-51	5,55	5	27,75	28,9	544,16	ШРА3-42	0,67	8	5,36	85,2	912,63	
СП5-52	5,55	8	44,4	28,9	870,65	ШРА3-43	0,67	4	2,68	85,2	456,31	
СП5-53	0,48	7	3,36	115,5	1052,37	ШРА3-44	0,67	8	5,36	85,2	912,63	
СП5-79	0,35	2	0,7	144,3	342,21	ШРА3-45	0,67	2	1,34	85,2	228,16	
СП5-80	0,35	2	0,7	144,3	342,21	ШРА3-46	0,67	5	3,35	85,2	570,39	
СП6-56	2,08	1	2,08	46,4	105,14	ШРА3-47	0,67	9	6,03	85,2	1026,70	
СП6-57	3,33	3	9,99	39,7	369,67	ШРА3-48	3,33	2	6,66	37,5	220,21	
СП6-58	3,33	5	16,65	36,1	509,44	ШРА3-49	3,33	2	6,66	37,5	220,21	
СП6-59	8,35	11	91,85	22,4	1082,03	ШРА3-50	8,35	11	91,85	21,7	1010,85	
СП6-60	0,95	8	7,6	63,5	719,49	ШРА3-51	5,55	5	27,75	28,9	542,93	
СП6-65	0,95	8	7,6	63,5	719,49	ШРА3-52	5,55	8	44,4	28,9	868,69	
СП6-81	0,35	5	1,75	144,3	855,53	ШРА3-53	0,48	7	3,36	115,5	1051,83	
СП6-82	0,35	7	2,45	144,3	1197,74	ШРА3-54	0,48	5	2,4	115,5	751,30	
СП7-36	0,67	9	6,03	85,2	1027,69	ШРА3-55	0,48	1	0,48	115,5	150,26	
СП7-37	0,67	5	3,35	85,2	570,94	ШРА3-61	2,08	1	2,08	46,4	105,00	
СП7-38	0,67	2	1,34	85,2	228,38	ШРА3-62	3,33	3	9,99	39,7	369,53	
СП7-39	0,67	2	1,34	85,2	228,38	ШРА3-63	3,33	5	16,65	36,1	509,00	
СП7-40	0,67	4	2,68	85,2	456,75	ШРА3-64	8,35	11	91,85	22,4	1079,36	
СП7-41	0,67	7	4,69	85,2	799,31	ШРА3-76	0,95	8	7,6	63,5	719,69	
СП7-54	0,48	5	2,4	115,5	751,69	ШРА3-77	2,08	4	8,32	43,3	366,26	
СП7-55	0,48	1	0,48	115,5	150,34	ШРА3-78	2,08	7	14,56	43,3	640,96	
СП7-61	2,08	4	8,32	43,3	366,24	ШРА3-79	8,35	6	50,1	9,8	113,31	
СП7-62	2,08	7	14,56	43,3	640,92	ШРА3-80	5,55	11	61,05	26,0	967,51	
СП8-64	5,55	11	61,05	26	968,94	ШРА4-56	0,95	8	7,6	63,5	719,69	
СП8-66	8,35	12	100,2	8,1	154,35	ШРА4-57	8,35	12	100,2	8,1	153,70	
СП8-67	3,33	10	33,3	36,1	1018,88	ШРА4-58	3,33	10	33,3	36,1	1018,00	
СП8-68	5,55	7	38,85	28,9	761,82	ШРА4-59	5,55	7	38,85	28,9	760,11	
СП8-69	2,08	4	8,32	46,2	416,94	ШРА4-60	2,08	4	8,32	46,2	416,72	
СП8-70	1,33	1	1,33	53,4	89,04	ШРА4-65	1,33	1	1,33	53,4	89,06	
СП8-71	8,35	2	16,7	23,1	209,22	ШРА4-66	8,35	2	16,7	23,1	209,11	
СП8-72	8,35	4	33,4	11,5	103,71	ШРА4-67	8,35	4	33,4	11,5	104,56	
СП8-73	8,35	6	50,1	11,5	155,56	ШРА4-68	8,35	6	50,1	11,5	156,83	
СП8-74	8,35	4	33,4	11,5	103,71	ШРА4-69	8,35	4	33,4	11,5	104,56	
СП8-75	0,95	8	7,6	72,2	930,15	ШРА4-70	0,95	8	7,6	72,2	929,35	
СП9-42	0,67	8	5,36	85,2	913,50	ШРА4-71	8,35	3	25,05	6,1	21,61	
СП9-43	0,67	4	2,68	85,2	456,75	ШРА4-72	8,35	2	16,7	8,1	25,62	
СП9-44	0,67	8	5,36	85,2	913,50	ШРА4-73	8,35	1	8,35	8,1	12,81	
СП9-45	0,67	2	1,34	85,2	228,38	ШРА4-74	0,35	2	0,7	144,3	342,39	
СП9-46	0,67	5	3,35	85,2	570,94	ШРА4-75	0,35	2	0,7	144,3	342,39	
СП9-47	0,67	9	6,03	85,2	1027,69	ШРА4-81	0,35	5	1,75	144,3	855,98	
СП9-76	8,35	3	25,05	6,1	21,88	ШРА4-82	0,35	7	2,45	144,3	1198,37	
СП9-77	8,35	2	16,7	8,1	25,72		Всього вартість втрат					184189,18
СП9-78	8,35	1	8,35	8,1	12,86							
	Всього вартість втрат				122885,99							

Таблиця 5.4.6. Результати розрахунку техніко-економічних показників різних варіантів електропостачання

№	Показники	Одиниці	Варіант схеми	
			I	II
1	Капіталовкладення	грн.	313775,72	272274,4
2	Поточні витрати	грн.	60417,57	36027,4
3	Вартість втрат активної електроенергії	грн.	184189,18	122885,99
4	Зведені витрати	грн.	282259,84	191586,36

5.5. Вибір електричного обладнання

Вибір вимикачів 10 кВ.

Вибір високовольтих вимикачів проведемо за методикою висвітленою в [1, 2, 5, 6]. На напругу 10 кВ додатково встановлюємо шафи типу КРЗ-10 з вакуумними вимикачами VM1S.

$$I_{\text{роб}} = 1,4 \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,92 \text{ А}, i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I'' k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 8,3 \cdot 1,8 = 21,13 \text{ кА},$$

$$B_{\text{к}} = (I'')^2 t_{\text{від}} = 8,3^2 \cdot 1 = 68,89 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибір вимикача проведений в стандартній табличній формі в табл. 5.5.1.

Таблиця 5.5.1. Вибір високовольтного вимикача 10 кВ для ТП.

Характеристики мережі	Умови для вибору	Характеристики вимикача
10 кВ	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{н}}$	10 кВ
50,92 А	$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{н}}$	630 А
8,3 кА	$I' \leq I_{\text{дин.}}$	20 кА
21,13 кА	$i_{\text{у}} \leq 1,8 \sqrt{2} i_{\text{дин.}}$	50,9 кА
8,3 кА	$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{н.від}}$	20 кА
11,73 кА	$\sqrt{2} I_{\text{нт}} + i_{\text{ат}} \leq \sqrt{2} I_{\text{н.від}} (1 + \beta_{\text{к}})$	40 кА
68,89 кА ² ·с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	1600 кА ² ·с

Вибір автоматичних вимикачів 0,4 кВ

На КТП приймаємо до установки трансформатори потужністю 630 кВА та ввідні шафи 0,4 кВ типу ШН-8 обладнаних автоматичними вимикачами типу АВМ.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

Ввідний автоматичний вимикач 0,4 кВ повинен витримувати найбільш тяжкий режим, що відповідає 40% перевантаженню трансформатора.

Вибір ввідного і секційного автоматичного вимикача.

Максимальний струм трансформатора з урахуванням перевантаження:

$$I_{\text{н}} = 1,4 \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1340 \text{ А.}$$

Приймаємо до встановлення автомат типу АВМ-15 з такими характеристиками:

- Номінальний струм $I_{\text{н.авт}} = 1500 \text{ А.}$
- Номінальний струм розмикача: $I_{\text{н.роз}} = 1500 \text{ А.}$
- Струм уставки спрацьовування в зоні перенавантаження:

$$I_{\text{у.тепл}} = 1,25 I_{\text{н.роз}} = 1,25 \cdot 1500 = 1875 \text{ А.}$$

- Струм уставки спрацьовування в зоні КЗ:

$$I_{\text{у.роз}} = 5 I_{\text{н.роз}} = 5 \cdot 1500 = 7500 \text{ А.}$$

Умови перевірки автомату:

1. $I_{\text{кз}}^{(1)} \geq 1,25 I_{\text{у.роз}}; \quad 12814 \text{ А} > 1875 \text{ А}$
2. $I_{\text{дин}} \geq I_{\text{у}}^{(3)}; \quad 30 \text{ кА} > 29,716 \text{ кА}$

Вибір ввідних автоматів для силових пунктів.

Розрахунковий струм для СП-1, 4 $I_{\text{р}} = 177,9 \text{ А.}$

Обираємо автомат типу АВМ-4 з такими характеристиками:

- Номінальний струм $I_{\text{н.авт}} = 400 \text{ А.}$
- Номінальний струм розмикача: $I_{\text{н.роз}} = 200 \text{ А.}$
- Струм уставки спрацьовування в зоні перенавантаження:

$$I_{\text{у.тепл}} = 1,25 I_{\text{н.роз}} = 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ А.}$$

- Струм уставки спрацьовування в зоні КЗ:

$$I_{\text{у.роз}} = 2 I_{\text{н.роз}} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ А.}$$

Умови перевірки автомату:

1. $I_{\text{кз}}^{(1)} \geq 1,25 I_{\text{у.роз}}; \quad 2382 \text{ А} > 500 \text{ А}$
2. $I_{\text{дин}} \geq I_{\text{у}}^{(3)}; \quad 30 \text{ кА} > 29,683 \text{ кА}$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

Вибір автоматів для інших силових пунктів є подібним, а результати розрахунків наведені в табл. 5.5.2.

Таблиця 5.5.2. Вибір вхідних автоматів для силових пунктів

Найменування обладнання	I_p , А	$I_k^{(3)}$, кА	$I_k^{(1)}$, кА	Тип автомату	$I_{\text{ном.авт}}$, А	$I_{\text{ном.розц}}$, А	$I_{\text{у.тепл}}$, А	$I_{\text{у.розц.}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{у.розц}}$, А
СП-1,4	177,9	14,32	2,382	АВМ-4	400	200	250	400	500
СП-1	106,8	11,07	5,1	АВМ-4	400	120	150	240	300
СП-2	347,2	14,32	6,002	АВМ-4	400	400	500	800	1000
СП-3	347,2	14,32	4,666	АВМ-4	400	400	500	800	1000
СП-4	104,6	6,357	2,382	АВМ-4	400	120	150	240	300
СП-5	354,2	14,32	9,351	АВМ-4	400	400	500	800	1000
СП-6	344	14,32	6,891	АВМ-4	400	400	500	800	1000
СП-7	142,1	14,32	3,832	АВМ-4	400	150	187,5	300	375
СП-8,9	196,2	14,32	2,125	АВМ-4	400	200	250	400	500
СП-8	126,4	8,437	2,125	АВМ-4	400	150	187,5	300	375
СП-9	96,1	10,251	5,128	АВМ-4	400	120	150	240	300

Вибір автоматів для електроспоживачів цеху.

Вибір автоматичних вимикачів для електроприймачів цеху є цілком подібний до вибору автоматів силових пунктів, а відповідні результати розрахунку наведені в табл. 5.5.3.

Вибір типу силових пунктів

Використаємо для установки силові пункти марки ПР-8505, а вибір окремої модифікації даного типу СП проведемо в табл. 5.5.4.

Таблиця 5.5.4. Вибір модифікації силових пунктів

СП	Модифікація	$I_{\text{роз}}$, А	$I_{\text{ном}}$, А	Наявність ввідного автомату	Кількість вимикачів на фідерах
СП-1	3038	106,8	250	+	12
СП-2	3049	347,2	400	-	8
СП-3	3049	347,2	400	-	8
СП-4	3010	104,6	250	+	5
СП-5	3059	354,2	400	-	10
СП-6	3049	344	400	-	8
СП-7	3027	142,1	250	-	10
СП-8	3038	126,4	250	+	12
СП-9	3038	96,1	250	+	12

Таблиця 5.5.3. Вибір автоматичних вимикачів до окремих струмоприймачів

п/п	Найменування обладнання	I_p , А	$I_k^{(3)}$, кА	$I_k^{(1)}$, кА	Тип автомату	$I_{ном.авт}$, А	$I_{ном.розц}$, А	$I_{у.тепл}$, А	$I_{у.розц}$, А	$1,25 \cdot I_{у.розц}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Токарно-гвинторізний	85,16	9,273	3,881	AE2056	100	100	125	300	375
2	Подовжньо-стругальний	115,5	5,813	2,161	A3710	160	125	156,25	625	781,25
3	Зубофрезерний	36,08	4,814	1,645	AE2056	100	40	50	120	150
4	Радіально-свердлильний	35	3,786	1,27	AE2056	100	40	50	120	150
5	Розточувальний верстат	28,87	3,361	1,17	AE2056	100	32	40	96	120
6	Координатно-розточувальний	48,11	4,832	1,747	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
7	Розточувальний верстат	43,3	3,61	1,27	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
8	Довбальний верстат	44,02	5,052	1,777	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
9	Довбальний верстат	44,02	5,79	2,075	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
10	Вертикально-свердлильний	14,43	4,661	1,608	AE2056	100	16	20	48	60
11	Гільйотинні ножиці	28,87	6,302	2,305	AE2056	100	32	40	96	120
12	Подовжньо-фрезерний	115,5	5,615	2,083	A3710	160	125	156,25	625	781,25
13	Токарно-гвинторізний	85,16	8,05	3,175	AE2056	100	100	125	300	375
14	Токарно-гвинторізний	85,16	8,373	3,349	AE2056	100	100	125	300	375
15	Токарно-гвинторізний	66,76	7,661	2,975	AE2056	100	80	100	240	300
16	Токарно-гвинторізний	85,16	8,9	3,649	AE2056	100	100	125	300	375
17	Прес гідравлічний	39,69	5,021	1,73	AE2056	100	40	50	120	150
18	Прес гідравлічний	39,69	6,832	2,511	AE2056	100	40	50	120	150
19	Прес гідравлічний	39,69	8,147	3,242	AE2056	100	40	50	120	150
20	Прес гідравлічний	39,69	5,81	2,049	AE2056	100	40	50	120	150
21	Прес гідравлічний	39,69	4,429	1,491	AE2056	100	40	50	120	150
22	Прес гідравлічний	39,69	5,839	2,037	AE2056	100	40	50	120	150
23	Прес гідравлічний	39,69	7,465	2,807	AE2056	100	40	50	120	150
24	Прес гідравлічний	39,69	5,419	1,866	AE2056	100	40	50	120	150
25	Піч опору	67,92	8,881	3,684	AE2056	100	80	100	240	300
26	Піч опору	67,92	9,961	4,439	AE2056	100	80	100	240	300
27	Піч опору	67,92	9,68	4,223	AE2056	100	80	100	240	300
28	Піч опору	67,92	8,391	3,395	AE2056	100	80	100	240	300

Продовження табл. 5.5.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
29	Пічь опору	67,92	7,868	3,024	AE2056	100	80	100	240	300
30	Пічь опору	67,92	8,786	3,515	AE2056	100	80	100	240	300
31	Пічь опору	67,92	8,786	3,515	AE2056	100	80	100	240	300
32	Пічь опору	67,92	7,868	3,024	AE2056	100	80	100	240	300
33	Мостовий кран	84,29	2,791	0,951	AE2056	100	100	125	300	375
34	Вертикально-фрезерувальний	28,87	4,022	1,439	AE2056	100	32	40	96	120
35	Вертикально-фрезерувальний	37,53	3,942	1,346	AE2056	100	40	50	120	150
36	Токарно-гвинторізний	85,16	6,619	2,751	AE2056	100	100	125	300	375
37	Токарно-гвинторізний	85,16	7,111	3,024	AE2056	100	100	125	300	375
38	Токарно-гвинторізний	85,16	7,519	3,266	AE2056	100	100	125	300	375
39	Токарно-гвинторізний	85,16	7,519	3,266	AE2056	100	100	125	300	375
40	Токарно-гвинторізний	85,16	7,243	3,1	AE2056	100	100	125	300	375
41	Токарно-гвинторізний	85,16	6,858	2,881	AE2056	100	100	125	300	375
42	Токарно-гвинторізний	85,16	7,994	3,445	AE2056	100	100	125	300	375
43	Токарно-гвинторізний	85,16	8,659	3,883	AE2056	100	100	125	300	375
44	Токарно-гвинторізний	85,16	7,994	3,445	AE2056	100	100	125	300	375
45	Токарно-гвинторізний	85,16	9,018	4,146	AE2056	100	100	125	300	375
46	Токарно-гвинторізний	85,16	8,486	3,763	AE2056	100	100	125	300	375
47	Токарно-гвинторізний	85,16	7,839	3,35	AE2056	100	100	125	300	375
48	Вертикально-фрезерувальний	37,53	8,331	3,405	AE2056	100	40	50	120	150
49	Вертикально-фрезерувальний	37,53	8,331	3,405	AE2056	100	40	50	120	150
50	Вертикально-фрезерувальний	21,65	2,07	0,71	AE2056	100	25	31,25	75	93,75
51	Вертикально-фрезерувальний	28,87	4,963	1,803	AE2056	100	32	40	96	120
52	Вертикально-фрезерувальний	28,87	3,668	1,307	AE2056	100	32	40	96	120
53	Подовжно-стругальний	115,5	11,363	6,024	A3710	160	125	156,25	625	781,25
54	Подовжно-стругальний	115,5	7,46	3,236	A3710	160	125	156,25	625	781,25
55	Подовжно-стругальний	115,5	7,893	3,498	A3710	160	125	156,25	625	781,25
56	Токарно-гвинторізний	46,37	8,614	3,717	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
57	Токарно-гвинторізний	39,69	7,091	2,654	AE2056	100	40	50	120	150

Продовження табл. 5.5.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
58	Токарно-гвинторізний	36,08	6,005	2,143	AE2056	100	40	50	120	150
59	Зубофрезерний	22,37	2,026	0,692	AE2056	100	25	31,25	75	93,75
60	Шліцефрезерувальний	63,51	8,511	3,514	AE2056	100	80	100	240	300
61	Зубофрезерний	43,3	5,499	2,146	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
62	Зубофрезерний	43,3	4,829	1,829	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
63	Зубодовбальний	9,815	3,013	1,052	AE2056	100	16	20	48	60
64	Універсально фрезерувальний	25,98	2,197	0,746	AE2056	100	32	40	96	120
65	Шліцефрезерувальний	63,51	8,511	3,514	AE2056	100	80	100	240	300
66	Зубостругальний	8,083	1,587	0,531	AE2056	100	16	20	48	60
67	Усередині шліфувальний	36,08	3	0,982	AE2056	100	40	50	120	150
68	Круглошліфувальний	28,87	2,799	0,943	AE2056	100	32	40	96	120
69	Плоскошліфувальний	46,19	4,393	1,478	AE2056	100	50	62,5	150	187,5
70	Круглошліфувальний	53,4	5,465	1,866	AE2056	100	63	78,75	189	236,25
71	Плоскошліфувальний	23,09	3,818	1,269	AE2056	100	25	31,25	75	93,75
72	Плоскошліфувальний	11,55	3	0,993	AE2056	100	16	20	48	60
73	Свердлильний верстат	11,55	2,461	0,816	AE2056	100	16	20	48	60
74	Свердлильний верстат	11,55	3	0,993	AE2056	100	16	20	48	60
75	Гідростенд	72,17	4,947	1,688	AE2056	100	80	100	240	300
76	Точильно-шліфувальний	6,062	4,465	1,607	AE2056	100	16	20	48	60
77	Точильно-шліфувальний	8,083	5,274	1,95	AE2056	100	16	20	48	60
78	Точильно-шліфувальний	8,083	6,318	2,479	AE2056	100	16	20	48	60
79	Вентилятор	144,3	12,665	7,869	A3710	160	160	200	800	1000
80	Вентилятор	144,3	12,665	7,869	A3710	160	160	200	800	1000
81	Вентилятор	144,3	11,256	5,624	A3710	160	160	200	800	1000
82	Вентилятор	144,3	10,981	5,372	A3710	160	160	200	800	1000
83	Кран-балка	8,66	0,644	0,215	AE2056	100	16	20	48	60
84	Кран-балка	8,66	1,307	0,427	AE2056	100	16	20	48	60
85	Кран-балка	17,32	0,644	0,215	AE2056	100	20	25	60	75

6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ЦЕХУ

Загальні фактори економії електроенергії

Фактори, що призводять до економії електроенергії, можуть бути класифіковані на технологічні, технічні, економічні та організаційні.

До технічних факторів відносяться:

1. Зменшення втрат в лініях електропередачі, розподільних мережах та пристроях електропостачання, що досягається за допомогою:

- Використання трансформаторів з поліпшеною сталлю.
- Використання трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням.

- Використання компенсуючих пристроїв.

2. Зниження втрат електроенергії на етапі її використання, що досягається за допомогою:

- Відповідності встановленої потужності до фактичного споживання.
- Зниження втрат у проводах різних установок.
- Встановлення обмежувачів холостого ходу.
- Оптимізації конфігурації цехових мереж.
- Оптимізації режимів роботи силових, освітлювальних та електротехнологічних установок.

До технологічних факторів відносяться:

1. Зміна структури виробничого обладнання, включаючи:

- Впровадження більш економічного технічного та електротехнічного обладнання.

- Виведення зношеного обладнання з експлуатації та його модернізація.

2. Інші технологічні фактори, такі як:

- Зменшення непланових простоїв.
- Зниження механічних втрат.
- Перехід від механообробки до штампування.
- Заміна фрезерування прокаткою.

До економічних факторів відносяться:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

1. Вдосконалення методів економічного стимулювання для покращення використання електроенергії.
2. Введення плати за виробничі фонди, включаючи оборотні фонди, що підлягають нормуванню.
3. Вдосконалення методів планування потреби в електроенергії.
4. Комбінування та спеціалізація виробництва.

До організаційних факторів відносяться:

1. Вдосконалення методів нормування споживання електроенергії та контролю за її раціональним використанням.
2. Вдосконалення системи обліку та контролю.

Варто зазначити, що основний потенціал для економії електроенергії закладений у технології промислового виробництва. Наприклад, машини та механізми з прямолінійною енергетичною характеристикою можуть бути використані для цього.

$$P = \Delta P_{xx} + \omega_{\text{кор}} A$$

Оскільки вони мають високі питомі витрати, важливо, щоб ці машини і механізми працювали з максимальною продуктивністю.

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + \omega_{\text{кор}}$$

$\omega_{\text{кор}}$ – питома корисна витрата електричної енергії.

Для машин та механізмів з енергетичною характеристикою, що має форму параболи (наприклад, відцентрові вентилятори, ковшові елеватори і т. п.),

$$P = \Delta P_{xx} + \omega_{\text{кор}} A^2$$

питомі витрати електричної енергії для них можуть бути знайдені за формулою

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + \omega_{\text{кор}} A$$

Отже, оптимальний режим для таких механізмів може бути знайдений за наступним виразом

$$\frac{d\omega}{dA} = -\frac{\Delta P_{xx}}{A^2} + \omega_{\text{кор}} = 0, \text{ звідки } A_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\omega_{\text{кор}}}}.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

Економія електроенергії в провідниках та електричних мережах.

Втрати активної електричної енергії за рік можна визначити за наступними формулами:

$$1. \Delta W = \sum_{i=1}^n 3I_i^2 R t_i = 3I_{\text{ск}}^2 R T_p = 3I_{\text{ср}}^2 R T_p K_{\phi}^2 = 3I_{\text{м}}^2 R T_p K_{\phi}^2 K_n^2 = 3I_{\text{м}}^2 R T_p K_v^2$$

$$2. \Delta W = 3I_{\text{м}}^2 R \tau_{\text{м}}$$

де: $I_{\text{ск}}, I_{\text{ср}}, I_{\text{м}}$ – значення середньоквадратичного, середньорічного та максимального струму, що протікає по провіднику;

Відповідні коефіцієнти можуть бути знайдені за наступними формулами:

– коефіцієнт втрат $K_v = K_{\phi} K_n$;

– коефіцієнт форми $K_{\phi} = \frac{I_{\text{ск}}}{I_{\text{ср}}}$;

– коефіцієнт навантаження $K_n = \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{м}}}$;

Величину годин максимальних втрат можна визначити за відомою формулою Кізевича

$$\tau_{\text{м}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 8760 ;$$

де $T_{\text{м}} = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_{\text{м}}}$ – кількість годин використання максимуму повного навантаження; W_p, V_p – річне споживання активної та реактивної енергії; $S_{\text{м}}$ – максимальна потужність, що споживається.

Можна відмітити наступні заходи по економії електроенергії в провідниках та електричних мережах:

- включення резервних ліній;
- постійна паралельна робота ліній;
- застосування схем електропостачання без реакторів;
- сходишкове підвищення напруги розподільчих мереж (наприклад, застосування напруги 660 В);
- визначення струморозподілу в неоднорідних та замкнених електромережах;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		65

- зниження несиметричного навантаження фаз;
- оптимізація топології електричних мереж.

Розрахунок економії електроенергії при збільшенні напруги.

При переводі трифазної електричної мережі на підвищену напругу економія енергії може бути визначена за виразом

$$\Delta E = 0,003 \rho L t \left(\frac{I_1^2}{F_1} - \frac{I_2^2}{F_2} \right) \text{ кВт} \cdot \text{год.} / \text{рік}$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника; L – довжина провідника, м; I_1, I_2 – значення струмів в провіднику при низькій та високій напрузі; F_1, F_2 – відповідно перерізи провідників при низькій та високій напрузі, мм²; t – час роботи лінії під навантаженням, год.

При проведенні реконструкцій електричних мереж без зміни напруги економія електроенергії може бути обчислена за формулою

$$\Delta E = 0,003 I_{\text{ск}}^2 \left(\frac{\rho_1 L_1}{F_1} - \frac{\rho_2 L_2}{F_2} \right) t, \text{ кВт} \cdot \text{год.} / \text{рік}$$

де $I_{\text{ск}}$ – середньоквадратична величина струму фази, А; L_1, F_1, ρ_1 – параметрів провідника до реконструкції; L_2, F_2, ρ_2 – параметрів провідника після реконструкції; t – час роботи лінії під навантаженням, год.

Заходи економії електроенергії в силових трансформаторах

Приведені втрати активної потужності для двохобмоткових трансформаторів може бути визначені за формулами:

$$\Delta P_T = \Delta P'_{xx} + K_z^2 \Delta P'_{kz}, \text{ кВт},$$

де

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{xx} \quad \Delta P'_{kz} = \Delta P_{kz} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{kz}$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \%}{100} S_{\text{HT}}; \quad \Delta Q_{kz} = \frac{U_k \%}{100} S_{\text{HT}}$$

$K_{\text{пв}} = 0,02 - 0,12$ кВт/кВар – коефіцієнт збільшення втрат активної потужності при передачі реактивної по системі електропостачання.

Економічний режим роботи трансформаторів визначається шляхом оптимізації кількості одночасно включених трансформаторів з метою мінімізації

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		66

Втрати потужності, які використовуються для побудови цих кривих, визначаються за допомогою наступного виразу:

$$\sum \Delta P = n(\Delta P_{xx} + K_{пв}\Delta Q_{xx}) + \frac{1}{n}(\Delta P_{кз} + K_{пв}\Delta Q_{кз})K_3^2.$$

На основі цих кривих, що залежать від навантаження, визначається режим роботи трансформаторів на підстанції, включаючи можливість підключення додаткового трансформатора або відключення одного з наявних трансформаторів.

Зменшення втрат потужності та електроенергії в трансформаторах можна досягти за допомогою наступних заходів:

- Розсудливим вибором кількості та потужності трансформаторів, включаючи силові та зварювальні трансформатори.
- Відключенням деяких трансформаторів протягом нічного часу.
- Униканням холостого ходу.
- Використанням автоматизованої системи керування режимами підстанцій цеху, що забезпечує оптимальні режими роботи.

Здійснення економії електроенергії в електродвигунах.

Підвищення навантаження на робочі машини є ще одним способом зниження специфічних витрат електроенергії. На рис. 6.1 показано, що зменшення навантаження призводить до зниження ККД електродвигуна та зокрема робочої машини.

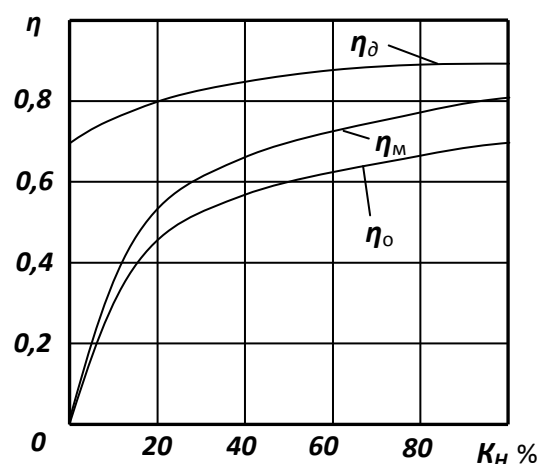


Рис. 6.1. ККД робочої машини, двигуна та всього приводу в залежності від коефіцієнта навантаження K_H .

Для оцінки економії енергії при збільшенні навантаження на робочі машини використовується поняття питомих витрат енергії для кожної конкретної машини. Це вимірюється кількістю енергії, яку споживає двигун з електричної мережі, віднесеної до кожної кіловат-години корисної роботи при заданому технічному режимі.

$$E_{\text{п}} = P_{\text{м}} T_{\text{м}},$$

де: $P_{\text{м}}$ – потужність, що споживається робочим органом машини, кВт; $T_{\text{м}}$ – час корисної роботи, год.

Питома витрата енергії може бути обчислена за формулою:

$$\Delta E = \frac{1}{\eta_{\text{м.н}} \kappa_{\text{н}}} \left(\kappa_{\text{н}} + \frac{\alpha(1 - \eta_{\text{м.н}})}{\kappa_{\text{т}}} \right)$$

де $\eta_{\text{м.н}}$ – ККД робочої машини при 100% завантаженні; $P_{\text{м, ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна, кВт; $\kappa_{\text{н}} = P_{\text{м}} / P_{\text{м, ном}}$ – коефіцієнт його навантаження; $\kappa_{\text{т}} = T_{\text{м}} / (T_{\text{м}} + T_{\text{х}})$ – коефіцієнт використання робочої машини; $T_{\text{х}}$ – час роботи на холостому ході, год.; $T_{\text{м}}$ – машинний час, год.; α – коефіцієнт, що залежить від типу та конструкції робочої машини, коливається в межах 0,7-0,9.

За відсутності холостого ходу робочого механізму питома витрата енергії може бути знайдена за виразом

$$\Delta E' = \frac{\kappa_{\text{н}} + \alpha(1 - \eta_{\text{м.н}})}{\eta_{\text{м.н}} \kappa_{\text{н}}}$$

За відсутності холостого ходу та при повному завантаженні робочої машини, що відповідає максимальному її використанню, питома витрата енергії буде мінімальною

$$\Delta E_0 = \frac{1 + \alpha(1 - \eta_{\text{м.н}})}{\eta_{\text{м.н}}}.$$

Співвідношення $\beta = \Delta E / \Delta E_0$ характеризує коефіцієнт збільшення питомої витрати енергії, що залежить від навантаження та тривалості роботи на холостому ході

$$\beta = \frac{\kappa_{\text{н}} \kappa_{\text{т}} + \alpha(1 - \eta_{\text{м.н}})}{[1 + \alpha(1 - \eta_{\text{м.н}}) \kappa_{\text{н}} \kappa_{\text{т}}]}.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

На рис. 6.2 наведені криві $\beta = f(\kappa_n)$, що дозволяють визначити економію енергії, що можна отримати в результаті підвищення навантаження для робочої машини.

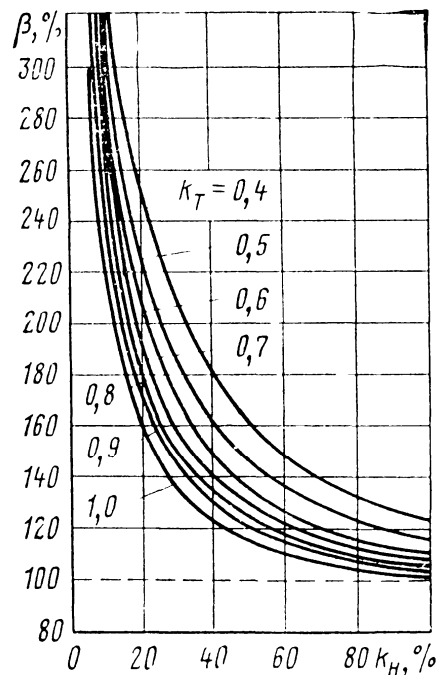


Рис. 6.2. Криві зміни питомих витрат енергії в залежності від коефіцієнту навантаження робочої машини.

Використання обмежувачів холостого ходу робочих машин

Застосування обмежувачів холостого ходу на верстатах, що мають тривалість холостого ходу 10 секунд та більше, завжди призводить до зменшення споживання електроенергії. Однак, коли тривалість холостого ходу менше 10 секунд, ефективність використання обмежувачів холостого ходу необхідно оцінювати шляхом проведення контрольних розрахунків.

За допомогою діаграми показаної на рис. 6.3 можна визначити обсяг економії, який може бути досягнутий, і встановити економічну доцільність застосування обмежувачів холостого ходу.

Для використання діаграми рис. 6.3 необхідні такі данні:

– середня потужність х.х. P_0^n , що визначається додаванням механічної потужності х.х. електроприводу P_m^n та втрати потужності в сталі двигуна $\Delta P_x \cdot P_0^n$ визначається наближено шляхом вимірювання навантаження двигуна на х.х.;

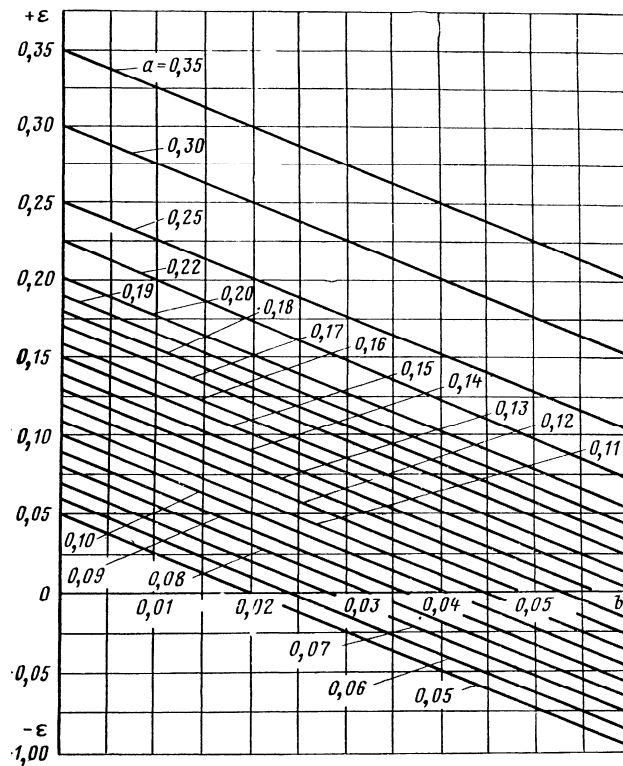


Рис. 6.3. Діаграма для визначення ефективності застосування обмежувачів холостого ходу робочих машин.

- тривалість між операційного часу $T_{всп}$, с;
- номінальна потужність електродвигуна $P_{д.ном}$, кВт;
- кількість циклів роботи z , год.

З цих даних визначають наступні параметри для користування діаграмою:

$$a = \frac{P_0^n}{P_{д.ном}} ; b = \frac{1}{4T_{всп}} .$$

За визначеним значенням параметрів a та b на діаграмі відшукують показник ефективності ϵ . З його допомогою можна обчислити годинну економію електроенергії в системи електроприводу, кВт·год,

$$\Delta E = \epsilon \frac{z P_{д.ном} T_{всп}}{3600} .$$

Зменшення потужності електричних двигунів при їх малій завантаженості

Якщо середнє навантаження електродвигуна становить менше 45% від його номінальної потужності, то заміна його менш потужним електродвигуном завжди є доцільною та не вимагає розрахунків. В той же час, якщо навантаження

електродвигуна більше 70% від його номінальної потужності можна вважати заміну недоцільною.

У випадку, коли навантаження електродвигуна знаходиться в діапазоні від 45% до 70% номінальної потужності, доцільність його заміни повинна бути підтверджена розрахунком величини зниження загальних втрат активної потужності в електричній системі та самому двигуні. Ці загальні втрати активної потужності можуть бути визначені за допомогою наступної формули:

$$\Delta P_{\text{сум}} = [Q_x (1 - \kappa_n^2) + \kappa_n^2 Q_{\text{ном}}] \kappa_e + \Delta P_x + \kappa_n^2 \Delta P_{a,n}$$

де $Q_x = \sqrt{3} U_{\text{ном}} I_x$ – реактивна потужність холостого ходу електродвигуна, кВар; I_x і $U_{\text{ном}}$ – струм холостого ходу та номінальна напруга електродвигуна, А і В; $\kappa_n = P/P_{\text{ном}}$ – коефіцієнт завантаження електродвигуна; P і $P_{\text{ном}}$ – середня та номінальна потужність електродвигуна, кВт; $Q_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_d} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$ – споживана реактивна потужність при номінальному навантаженні електродвигуна, кВар; η_d – ККД електродвигуна за повного навантаження; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$ – коефіцієнт потужності електродвигуна; κ_e – коефіцієнт збільшення втрат; $\Delta P_{a,n} = P_{\text{ном}} \left(\frac{1 - \eta_d}{\eta_d} \right) \left(\frac{1}{1 + \gamma} \right)$ – приріст втрат активної потужності при збільшенні навантаження електродвигуна до 100%, кВт; $\Delta P_x = P_{\text{ном}} \left(\frac{1 - \eta_d}{\eta_d} \right) \left(\frac{\gamma}{1 + \gamma} \right)$ – втрати активної потужності на холостому ході електродвигуна, кВт; $\gamma = \frac{\Delta P_x}{\Delta P_{a,n}}$ – коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна та визначається за виразом

$$\gamma = \frac{\Delta P_x, \%}{(1 - \eta_n, \%) - \Delta P_x, \%},$$

де $\Delta P_x, \%$ – втрати х.х. % активної потужності, що споживається двигуном при завантаженні його в 100%.

Заміна електродвигунів, які не завантажені, може бути проведена лише після суттєвої та ретельної перевірки можливості їх повного завантаження

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		72

шляхом правильного використання робочих машин, які їх приводять. Цей крок виправданий у випадку, коли двигун був вибраний неправильно і його потужність перевищує потреби робочої машини. Встановлення менш потужного двигуна може видатися недостатнім використанням робочої машини і у майбутньому може стати перешкодою для повного використання при вдосконаленому технологічному процесі.

Заходи щодо енергозбереження в вентиляційних установках

Для скорочення витрат електроенергії в вентиляційних установках використовуються такі заходи:

1. Заміна старих вентиляторів на нові, що є більш економічними.
2. Впровадження економічних методів регулювання продуктивності вентиляторів.
3. Відключення вентиляційних установок під час обідніх перерв, змін тощо.
4. Виправлення експлуатаційних дефектів і відхилень від проекту.
5. Використання автоматичного керування вентиляційними установками.

Витрата електроенергії на привід вентиляторів визначається експериментальним шляхом на основі встановленої потужності двигунів, вираженої в кіловат-годинах на рік

$$E_{\text{вент}} = \sum_{i=1}^n k_n P_{\text{вст}} \tau,$$

де n – загальна кількість вентиляційних установок; $P_{\text{вст}}$ – паспортна потужності електродвигуна; τ – кількість годин роботи вентилятора на рік, год.; k_n – коефіцієнт використання вентиляторів, орієнтовно може бути прийнятим таким:

Тип вентилятора	k_n
Вентилятори високого тиску	0,75
Вентилятори	0,6-0,8
Газодувки	0,5-0,6
Вентилятори дробівки	0,4-0,5

Заміна старих вентиляторів на нові з покращеними характеристиками

Заміна застарілих вентиляторів з низьким ККД на вентилятори нового типу з покращеними характеристиками дає економію електроенергії, кВт·год

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					73

$$\Delta E = \frac{hQ(\eta_2 - \eta_1)t}{102\eta_1\eta_2\eta_e\eta_m},$$

де η_1 і η_2 – відповідно ККД вентиляторів старого та нового; η_e і η_m – відповідно ККД електродвигуна та мережі.

Впровадження енергозберігаючих методів регулювання подачі вентиляторів

Заходи, що приводять до значного зменшення витрат електроенергії вентиляторами, включають:

- Використання багатошвидкісних електродвигунів замість регулювання шиберами в напірній лінії вентиляційної установки, що призводить до економії енергії в розмірі 20-30%.
- Регулювання подачі повітродувки шиберами на всмоктуванні замість регулювання на нагнітанні, що забезпечує економію електроенергії до 15%.
- Регулювання витяжної вентиляції шиберами на робочих місцях замість регулювання на нагнітанні.
- Регулювання подачі димососу за допомогою циліндричних направляючих апаратів замість дросельного регулювання, що призводить до економії електроенергії до 25%.

Покращення режимів роботи вентиляторів

Зменшення витрат електричної енергії вентиляційними установками можна досягти:

- шляхом зміни швидкості обертання валу,
- шляхом зміни кута установки лопаток робочого колеса,
- шляхом зміни кута повороту лопаток на направляючому апараті і інших параметрів.

Величина економії електричної енергії для цього випадку, кВт·год.

$$\Delta E = \frac{(h_1 Q_1 \eta_1 - h_2 Q_2 \eta_2)t}{102\eta_1\eta_2\eta_e\eta_m\eta_{пр}},$$

де Q_1 і Q_2 – відповідно подача вентилятора до та після зміни режиму його роботи, що визначається за сукупними характеристиками вентилятору та вентиляційної мережі, м³/с; h_1 і h_2 – відповідно тиск вентилятора до та після зміни

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		74

його режиму роботи; $\eta_e, \eta_{np}, \eta_c$ – відповідно ККД електродвигуна, передачі та електричної мережі; η_1 і η_2 – ККД вентилятора до та після зміни режиму роботи.

Усунення недоліків у експлуатації вентиляторних установок

Часто під час монтажу, збирання та ремонту вентиляторних установок відбуваються відхилення від проекту, які призводять до неефективного використання електричної енергії ними. Ось деякі з цих недоліків:

- Робота осьового вентилятора з перевернутим колесом, що знижує ККД вентилятора на 20-40% та збільшує витрату електроенергії.
- Збільшення зазору між робочим колесом та всмоктувальним патрубком відцентрових вентиляторів. Невиконання цих умов значно знижує ККД та збільшує витрату електроенергії. Наприклад, у осьових вентиляторах збільшення зазору до 3% довжини лопатки знижує ККД на 5-10%.
- Видалення обтікача перед входом в робоче колесо, що знижує ККД на 10%.
- Скорочений дифузор або його відсутність у осьових вентиляторах, що знижує ККД на 6%.
- Непридатність виготовлення та монтажу відводів, трійників, колін, вм'ятин, недоліки штукатурки каналів та інші проблеми, що значно збільшують опір вентиляційної системи і, відповідно, втрати електроенергії.
- Незадовільна герметичність фланцевих з'єднань, негерметичні з'єднання повітроводів до вентиляторів та інші джерела просочування, що призводять до збільшення витрати електроенергії.

Впровадження автоматичного керування вентиляційними установками

- Пристрій блокування індивідуальних витяжних систем може знизити споживання електроенергії на 25-30%.
- Протиблокувальний пристрій для вентилятора повітряних завіс з механізмом відкривання може забезпечити економію електроенергії до 70%.
- Автоматична система регулювання та управління вентиляційними установками в залежності від зовнішньої температури може забезпечити економію електроенергії до 10-15%.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		75

Впровадження нових прогресивних джерел світла, використання світильників з високим ККД, використання нових конструкцій відбивальних арматур і раціональних схем освітлення може суттєво підвищити ефективність електроосвітлювальних установок, збільшити освітленість робочих місць та, як наслідок, сприяти реальній економії електроенергії.

Зараз споживання електроенергії на освітлення промислових підприємств в середньому становить від 5% до 15% від загального споживання, в залежності від галузі промисловості. Наприклад, у металургійних підприємствах ця цифра нижча, а в легкій промисловості – вища.

Для будь-якої існуючої електроосвітлювальної установки важлива фактична освітленість, яка може бути знайдена за виразом, лк:

$$E_{\phi} = \frac{NnF_{\text{л}}\eta}{S},$$

де N – загальна кількість світильників в приміщенні; n – кількість ламп встановлених в кожному світильнику; $F_{\text{л}}$ – світловий потік встановленої лампи, лм; η – коефіцієнт, що характеризує ефективність використання світлового потоку від світильника; S – площа приміщення, м².

Вибір правильного типу ламп та світильників

На сьогоднішній день газорозрядні лампи стали широко поширеними і є більш економічними, ніж лампи розжарення. Лампи розжарення мають низький енергетичний ККД, при чому видиме випромінювання становить менше 6% від загальної споживаної потужності, тоді як газорозрядні лампи мають вищий ККД, який становить 17% і більше. Останнім часом все більше застосовуються сучасні світлодіодні лампи, які почали витісняти інші види джерел світла.

При заміні ламп розжарення, люмінесцентних ламп, дугових ртутних ламп (ДРЛ) на світлодіодні, кожне підприємство може підвищити освітленість робочих місць більш ніж удвічі, що призводить до реальної економії енергії та покращення умов праці працівників.

Порівняння ефективності газорозрядних ламп і ламп розжарювання має враховувати деякі важливі особливості газорозрядних ламп. Відомо, що

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		76

газорозрядні лампи мають падаючу вольт-амперну характеристику, що означає, що напруга на лампі зменшується при збільшенні струму. Якщо лампу безпосередньо підключити до мережі, це може спричинити швидкий необмежений ріст струму та перегорання лампи. Тому газорозрядні лампи обов'язково повинні бути підключені з баластним опором, який обмежує струм.

Відключення джерел світла в денний час

При помилковому включенні джерел світла в денний час втрати електроенергії можна визначити за встановленою потужністю приладів освітлення за наступним виразом, кВт·год,

$$\Delta E_{\text{осв}} = P k_c (8760 - T_{\text{ос}}),$$

де P – загальна потужність всіх ламп в приміщенні, кВт; k_c – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, що залежить від типу приміщення; $T_{\text{ос}}$ – кількість годин використання максимуму для освітлювального навантаження.

Завищення встановленої потужності для освітлювальних установок

Втрати електроенергії, кВт·год,

$$\Delta E_{\text{осв}} = (P_{\text{ф}} - P) k_c T_{\text{ос}},$$

де $P_{\text{ф}}$ – сумарна фактична потужність джерел світла, кВт; P – потужність ламп за проектом або за нормами освітленості, кВт; $T_{\text{ос}}$ – кількість годин використання максимуму для освітлювального навантаження; k_c – коефіцієнт попиту для освітлювального навантаження.

Очищення світильників

Забруднення світильників різного роду речовинами, що присутні в повітрі виробничих приміщень, такі як пил, бруд, конденсат парів та газів, призводить до значного зниження їх коефіцієнта корисної дії (ККД) і зміни форми кривої освітленості.

У пильних та забруднених виробництвах спостерігаються ситуації, коли освітленість знижується в 8-10 разів. Це підкреслює важливість регулярного очищення світильників для ефективного використання електроенергії в системах освітлення.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		77

Чистка ламп та світильників проводиться відповідно до визначених термінів, які встановлюються відповідальною особою за електрогосподарство залежно від місцевих умов. Рекомендовані інтервали для очищення світильників можна знайти в Правилах улаштування електроустановок або відповідних інструкціях

Недотримання регулярного розкладу очищення світильників призводить до серйозних втрат, оскільки виробничі приміщення стикаються з різким зниженням освітленості. Це вимагає встановлення ламп з вищою потужністю, збільшення кількості світильників та надмірного споживання електроенергії.

Підтримка номінального рівня напруги в системі освітлення

Коливання напруги призводять до непотрібних витрат електроенергії. Напруга на виводах ламп не повинна перевищувати 105% або бути нижче 85% від номінального значення.

Навіть зниження напруги на 1% викликає зниження світлового потоку ламп: розжарювання на 3-4%, люмінесцентних ламп на 1.5% і ламп ДРЛ на 2.2%. Перевищена напруга в мережі призводить до збільшення енергії, яку використовують освітлювальні установки. В той же час застосування сучасних електронних ПРА, як для люмінесцентних так і для світлодіодних ламп майже повністю виключає вплив поміркованого відхилення напруги.

Вночі на промислових підприємствах спостерігається значне підвищення напруги в електричній мережі, коли компенсуючі пристрої залишаються включеними. Для уникнення впливу коливання напруги на ефективність освітлювальних систем застосовують окремі трансформатори для освітлення та компенсуючі пристрої, які включаються та відключаються за строго встановленим добовим графіком.

Для стабілізації напруги в освітлювальних мережах можна застосовувати автоматичні регулятори напруги. Для промислових освітлювальних мереж розроблені та застосовуються системи автоматичного регулювання напруги з використанням послідовних регулюючих трансформаторів та додаткових індуктивних навантажень.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		78

Економічний ефект від використання автоматичних систем керування освітленням оцінюється збереженням електроенергії та збільшенням терміну служби джерел світла.

Розрахунок економії електроенергії від впровадження автоматичного регулювання роботою трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції

Визначимо приведені значення активних втрат в трансформаторах:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{xx} = 2,27 + 0,15 \cdot 12,6 = 4,16 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx}}{100} S_n = \frac{2}{100} 630 = 12,6 \text{ кВар},$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пп} \cdot \Delta Q_{кз} = 7,6 + 0,15 \cdot 34,65 = 19,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз}}{100} S_n = \frac{5,5}{100} 630 = 34,65 \text{ кВар}.$$

Визначимо потужність S_A при якій приведені втрати потужності будуть однакові як при роботі одного трансформатора так і двох:

$$S_A = S_{н.т} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 630 \sqrt{\frac{2 \cdot 4,16}{19,8}} = 408 \text{ кВА}.$$

Розрахунок втрат електроенергії при роботі двох трансформаторів і при роботі з автоматичним регулюванням проведений в табл. 6.2.

Розрахуємо річну втрату електроенергії в обох випадках:

$$\begin{aligned} \Delta W_{2тр} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зр2тр} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зв2тр} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лр2тр} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лв2тр} \cdot 48 = 489,71 \cdot 147 + \\ &+ 240,46 \cdot 65 + 407,2 \cdot 105 + 229,34 \cdot 48 = 141381,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{авт.рег} &= \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{зравт.рег} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{звавт.рег} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лравт.рег} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{лвавт.рег} \cdot 48 = \\ &= 489,19 \cdot 147 + 181,4 \cdot 65 + 402,02 \cdot 105 + 159,17 \cdot 48 = 133555,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Річна економія електроенергії від впровадження автоматичного регулювання доцільного режиму роботи трансформаторної підстанції

$$\Delta W = \Delta W_{2тр} - \Delta W_{авт.рег} = 141381,3 - 133555,6 = 7826,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість зекономленої електроенергії

$$E = \Delta W \cdot C_0 = 7826,8 \cdot 6,56 = 51343,8 \text{ грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		79

Таблиця 6.2. Розрахунок економії електроенергії від впровадження системи автоматичного регулювання роботи трансформаторів

Год.	Зимова робоча доба						Зимова вихідна доба						
	Р, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2тр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт	Р, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2тр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт	
1	679	741	670	682,70	19,95	19,95	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
2	576	642	603	577,32	16,63	16,63	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
3	418	560	536	418,69	12,69	12,69	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
4	418	560	536	418,69	12,69	12,69	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
5	381	527	469	385,39	12,02	11,57	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
6	446	543	536	446,05	13,28	13,28	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
7	400	535	469	405,41	12,42	12,36	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
8	725	741	670	728,47	21,56	21,56	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
9	790	807	670	801,79	24,36	24,36	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
10	930	823	670	942,50	30,48	30,48	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
11	772	782	670	780,08	23,50	23,50	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
12	725	741	670	728,47	21,56	21,56	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
13	790	782	670	797,90	24,20	24,20	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
14	883	807	670	893,56	28,24	28,24	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
15	930	807	670	940,04	30,36	30,36	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
16	744	782	670	752,38	22,44	22,44	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
17	586	642	603	587,30	16,92	16,92	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
18	697	700	670	697,65	20,46	20,46	232	206	201	232,05	9,66	6,85	
19	725	725	670	727,08	21,51	21,51	260	231	201	261,73	10,03	7,58	
20	725	725	670	727,08	21,51	21,51	260	231	201	261,73	10,03	7,58	
21	651	700	670	651,69	18,91	18,91	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
22	725	725	670	727,08	21,51	21,51	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
23	772	741	670	775,26	23,31	23,31	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
24	660	700	670	660,68	19,21	19,21	279	247	201	282,77	10,31	8,15	
Всього, кВт·год					489,71	489,19	Всього, кВт·год					240,46	181,40

Продовження табл. 6.2.

Год.	Літня робоча доба						Літня вихідна доба					
	Р, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2гр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт	Р, кВт	Q, кВар	Q _{ку} , кВар	S, кВА	ΔP _{2гр} , кВт	ΔP _{авт.рег} , кВт
1	577	630	603	577,63	16,64	16,64	237	210	201	237,17	9,72	6,97
2	490	546	536	490,10	14,31	14,31	237	210	201	237,17	9,72	6,97
3	356	476	469	356,07	11,48	10,48	237	210	201	237,17	9,72	6,97
4	356	476	469	356,07	11,48	10,48	237	210	201	237,17	9,72	6,97
5	324	448	402	327,25	10,99	9,50	237	210	201	237,17	9,72	6,97
6	379	462	402	383,72	11,99	11,51	237	210	201	237,17	9,72	6,97
7	340	455	402	344,11	11,27	10,07	237	210	201	237,17	9,72	6,97
8	616	630	603	616,59	17,80	17,80	237	210	201	237,17	9,72	6,97
9	672	686	670	672,19	19,59	19,59	198	175	134	202,20	9,34	6,20
10	790	700	670	790,57	23,91	23,91	198	175	134	202,20	9,34	6,20
11	656	665	603	658,92	19,15	19,15	198	175	134	202,20	9,34	6,20
12	616	630	603	616,59	17,80	17,80	198	175	134	202,20	9,34	6,20
13	672	665	603	674,85	19,68	19,68	198	175	134	202,20	9,34	6,20
14	751	686	670	751,17	22,39	22,39	198	175	134	202,20	9,34	6,20
15	790	686	670	790,16	23,89	23,89	198	175	134	202,20	9,34	6,20
16	632	665	603	635,03	18,38	18,38	198	175	134	202,20	9,34	6,20
17	498	546	536	498,10	14,51	14,51	198	175	134	202,20	9,34	6,20
18	593	595	536	595,93	17,18	17,18	198	175	134	202,20	9,34	6,20
19	616	616	603	616,14	17,79	17,79	221	196	134	229,53	9,63	6,79
20	616	616	603	616,14	17,79	17,79	221	196	134	229,53	9,63	6,79
21	553	595	536	556,14	16,03	16,03	237	210	201	237,17	9,72	6,97
22	616	616	603	616,14	17,79	17,79	237	210	201	237,17	9,72	6,97
23	656	630	603	656,56	19,07	19,07	237	210	201	237,17	9,72	6,97
24	561	595	536	564,09	16,26	16,26	237	210	201	237,17	9,72	6,97
Всього, кВт·год					407,20	402,02	Всього, кВт·год				229,34	159,17

						Арк.
						81
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В випускній кваліфікаційній роботі розроблена системи електропостачання та електрозбереження механічного цеху машинобудівного заводу.

Після проведення розрахунку електричних навантажень 0,4 кВ активна потужність по цеху склала 929,58 кВт, а реактивна – 823,37 кВар без компенсації реактивної потужності. Побудовані графіки електричних навантажень активної і реактивної потужності для зимового і літнього періодів, та річний графік для активної потужності за тривалістю. Отримане значення часу використання максимального навантаження – 5141 год, а часу максимальних втрат – 3579 год.

Техніко-економічне порівняння схем внутрішнього електропостачання показало, що найбільш оптимальною є схема з силовими пунктами 0,4 кВ і встановленням двох трансформаторів ТМ 630/10 та компенсуючих пристроїв з боку низької напруги з сумарною реактивної потужністю 670 кВар. На ТП встановлюємо дві конденсаторні установки типу УКМ-0,38-335-67. До використання прийнята змішана схема електропостачання – магістрально-радіальна. Для виконання розподільчої мережі застосовано кабель марки АВВГ.

З метою вибору та перевірки електричних апаратів розраховані струми короткого замикання. Для перевірки провідників та електричних апаратів на динамічну і термічну стійкість розрахунковим видом КЗ є трифазне.

Спеціальним розділом в кваліфікаційній роботі є розробка системи електрозбереження для цеху. Розглянуті наступні заходи економії електричної енергії: в електродвигунах (установка обмежувачів холостого ходу, збільшення завантаження, заміна мало завантажених двигунів); в вентиляційних установках (установка нових вентиляторів з кращими характеристиками, поліпшення їх роботи, запровадження автоматичного регулювання); в освітлювальних установках (вибір оптимальних джерел світла, періодичне чищення світильників, автоматичне відключення джерел світла для денного періоду доби). Виконаний розрахунок економії електричної енергії при впровадженні автоматичного регулювання роботи трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		82

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. /Под редакцией А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів : навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.

4. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Под редакцией Г.М. Кноринга. Л.: Энергия, 1976.

5. Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по електропостачанню цехів для студентів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” та спеціалізації 7.090603* “Енергетичний контроль та маркетинг в енергетиці”. /Укл.: П.Г. Плешков, Ю.І. Казанцев, Н.Ю. Гарасьова, Т.В. Величко – Кіровоград: КДТУ, 2003.

6. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.

7. Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по електропостачанню цехів для студентів спеціальності 8.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання” та спеціалізації 7.090603* “Енергетичний контроль та маркетинг в енергетиці”. /Укл.: П.Г. Плешков, Ю.І. Казанцев, Н.Ю. Гарасьова, Т.В. Величко – Кіровоград: КДТУ, 2003.

8. Методичні вказівки “Енергозберігаючі режими електропостачання” для студентів спеціальності 8.090603 усіх форм навчання. Частина 2. /Укладачі: Ю.І. Казанцев, П.Г. Плешков. Кіровоград, КДТУ, 2003. – 122 с.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		83