

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет архітектури, будівництва та енергетики

(повне найменування факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**Проектування електропостачання цементного заводу
встановленою потужністю 2150 кВт**

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-42
Бороненко Дмитро Олегович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Гадай Андрій Валентинович

(підпис)

Кваліфікаційний проект
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Волинець Владислав Ігорович

(підпис)

Луцьк –2026 року

АНОТАЦІЯ

Бороненко Д.О. Проектування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Рукопис.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційний проєкт бакалавра складається з п'яти розділів, списку використаних джерел.

У проєкті розроблено систему електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.

Розробка СЕП підприємства виконувалася на основі електротехнічних розрахунків. А саме, розрахунок електричних навантажень, розрахунок освітлювальних навантажень, розрахунок навантажень на вищих рівнях СЕП, розрахунок кількості та потужності силових трансформаторів, розрахунок потужності конденсаторних батарей, розрахунок струмів короткого замикання, вибір раціональної схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, електричні навантаження, кабельна лінія електропередачі, струм короткого замикання, електрообладнання.

ANNOTATION

Boronenko D. Design of power supply for a cement plant with an installed capacity of 2150 kW. Manuscript.

Bachelor's qualification project of EP "Electric power, electrical engineering and electromechanics" specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification project consists of an introduction, five sections, a list of sources used.

The project developed a power supply system for the cement plant with an installed capacity of 2150 kW.

Development of PPS of the enterprise was carried out on the basis of electrotechnical calculations. Namely, the calculation of electrical loads, calculation of lighting loads, calculation of loads at higher levels of PPS, calculation of the number and capacity of power transformers, calculation power of capacitor banks, calculation of short-circuit currents, selection of a rational scheme of external and internal power supply.

Keywords: power supply system PPS, electrical loads, cable lines of electricity transmission, short-circuit current, electrical equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ.	13
2.1. Розрахунок електричних навантажень.....	13
2.1.1. Розрахунок потужності електричного навантаження.....	13
2.1.1.1. Розрахунок потужності електричного навантаження для дробильно-сортувального цеху	13
2.1.1.2. Розрахунок потужності силових електричних навантажень цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт	15
2.1.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі	17
2.1.3. Розрахунок загального електричного навантаження електромережі цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.....	20
2.1.4. Визначення центру електричних навантажень	21
2.2. Вибір числа та потужності трансформаторів та компенсуючих пристроїв	23
2.3. Компенсація реактивної потужності.....	27
2.4. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП.....	29
2.5. Вибір зовнішнього електроживлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт	29
2.5.1. Вибір схеми зовнішнього живлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт	29
2.5.2. Вибір площі поперечного перерізу лінії живлення	30
2.6. Вибір внутрішнього електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт	33
2.6.1. Вибір схеми розподільчої мережі для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт	33
2.7. Розрахунок високовольтної мережі	33

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бороненко Д.О.				Проекткування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	6	127
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затверд.	Волинець В.І.							

2.7.1. Розрахунок струмів короткого замикання.....	33
2.7.2. Вибір та перевірка розподільчих пристроїв та захисного обладнання..	36
2.7.2.1. Вибір розподільчих пристроїв	36
2.7.2.2. Вибір роз'єднувачів.....	37
2.7.2.3. Вибір вимикачів навантаження	38
2.7.3. Вибір вимірювального обладнання	40
2.7.3.1. Вибір трансформаторів струму	40
2.8. Розрахунок низьковольтної електромережі в дробильно-сортувальному цеху	42
2.8.1. Схема живлення та вибір ліній електропередач для дробильно-сортувального цеху	42
2.8.2 Вибір та проектування схеми освітлювальної мережі дробильно-сортувального цеху	47
2.8.2. Розрахунок струмів КЗ в мережі 0,4 кВ.....	51
2.8.3. Вибір розподільчого пристрою та захисного обладнання для низьковольтної мережі.....	55
2.8.3.1. Вибір розподільчого пристрою ТП 0,4 кВ	55
2.8.3.2. Вибір та перевірка розподільних шаф для дробильно-сортувального цеху	57
2.8.3.3. Вибір та перевірка освітлювального щита дробильно-сортувального цеху	58
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПЛАСТИНЧАСТОГО ЖИВИЛЬНИКА.....	60
3.1. Розрахунок потужності приводу пластинчастого живильника і його вибір	60
3.2. Розрахунок і вибір обладнання схеми керування пластинчастого живильника	62
3.3. Розрахунок мережі живлення пластинчастого живильника	64
РОЗДІЛ 4 САПР.....	67
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	77
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	82
ДОДАТКИ.....	83

ВСТУП

Сучасна промисловість України перебуває на етапі структурної трансформації, що потребує комплексного оновлення інженерної інфраструктури підприємств. Цементна галузь, яка є базовою для будівельного комплексу країни, характеризується значним енергоспоживанням та високими вимогами до надійності електропостачання.

Актуальність теми проєкту зумовлена також необхідністю впровадження сучасних енергоефективних технологій та автоматизованих систем управління енергоспоживанням. Сучасні цементні заводи оснащуються потужним технологічним обладнанням — обертовими печами, сировинними та цементними млинами, дробильно-сортувальними комплексами, — робота яких потребує стабільної якості електроенергії.

Крім того, зростання вартості електроенергії та посилення вимог законодавства щодо компенсації реактивної потужності зобов'язують підприємства впроваджувати системи технічного обліку та автоматичної компенсації реактивної потужності. Проєктування таких систем на стадії створення чи модернізації підприємства є значно ефективнішим, ніж їхнє наступне впровадження.

Метою кваліфікаційного проєкту є розробка системи електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт, що забезпечує надійне, економічне та безпечне електропостачання технологічного обладнання з урахуванням сучасних нормативних вимог.

Об'єктом проєктування є цементний завод встановленою потужністю 2150 кВт.

Предметом дослідження є система електропостачання цементного заводу, зокрема: розподільчі мережі напругою 10 кВ та 0,4 кВ, трансформаторні підстанції, системи компенсації реактивної потужності, мережі зовнішнього та внутрішнього освітлення, системи захисту та автоматики.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Цементний завод спеціалізується на виробництві будівельних в'язучих матеріалів на основі портландцементу (портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент, цементи спеціальних марок) та супутньої продукції (клінкер, цементні суміші та сухі будівельні суміші) .

У таблиці 1.1 наведено встановлену потужність кожної будівлі та споруди цементного заводу з урахуванням технологічних та допоміжних процесів виробництва.

Таблиця 1.1 – Встановлена потужність цементного заводу

№ з/п	Назва будівлі, споруди	Встановлена потужність, кВт
1	Холодильник клінкеру	179
2	Склад готової продукції	119
3	Млиновий цех	255
4	Силосний цех	344
5	Цех помелу цементу	315
6	Цех експедиції та відвантаження	522
7	Водопровідно-каналізаційний цех	45
8	Ремонтно-механічний цех	90
9	Дробильно-сортувальний цех	149
10	Компресорна станція	132

На рисунку 1.1 наведено загальний план цементного заводу з позначенням основних виробничих корпусів. На рисунку 1.2 наведено розташування приймачів електричної енергії у цементному заводі. У таблиці 1.2 наведено встановлену потужність кожного приймача у токарному цеху з зазначенням номінальних параметрів обладнання дробильно-сортувального цеху.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бороненко Д.О.				Проекткування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	9	4
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Ватверд.	Волинець В.І.							

Рисунок 1.1 – Генеральний план цементного заводу

Рисунок 1.2 – Розташування приймачів у дробильно-сортувальному цеху

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

Таблиця 1.2 – Встановлені потужності окремих приймачів у дробильно-сортувальному цеху

№ з/п	Назва обладнання	Встановлена потужність, кВт
1	2	3
1	Щокова дробарка	9,6
2	Щокова дробарка	9,6
3	Роторна дробарка	4,4
4	Вібраційний живильник	8,7
5	Роторна дробарка	4,4
6.	Роторна дробарка	4,4
7.	Роторна дробарка	4,4
8.	Вібраційний живильник	8,7
9.	Пластинчастий живильник	47,9
10.	Пластинчастий живильник	47,9
11.	Пластинчастий живильник	47,9
12.	Пластинчастий живильник	47,9
13.	Пластинчастий живильник	47,9
14.	Пластинчастий живильник	47,9
15.	Пластинчастий живильник	47,9
16.	Вібраційний грохот	1,3
17.	Вібраційний грохот	1,3
18.	Елеватор ковшовий	5,2
19.	Вібраційний грохот	1,3
20.	Вібраційний грохот	1,3
21.	Елеватор ковшовий	5,2
22.	Елеватор ковшовий	5,2
23.	Елеватор ковшовий	5,2
24.	Елеватор ковшовий	5,2
25.	Елеватор ковшовий	5,2
26.	Пластинчастий живильник	47,9
	Пластинчастий живильник	47,9
27.	Магнітний сепаратор	2,2
28.	Вібраційний живильник	8,7
29.	Вібраційний живильник	8,7
30.	Вібраційний живильник	8,7
31.	Щокова дробарка	9,6
33	Щокова дробарка	9,6
34	Роторна дробарка	1,0

Загальна встановлена потужність приймачів електричної енергії цементного заводу становить 2150 кВт, які живляться від мережі промислової частоти 50 Гц з номінальною напругою 230/400 В трифазного змінного струму з глухозаземленою нейтраллю. Електропостачання здійснюється за системою TN-S з роздільними робочим нулем та захисним заземленням.

Підстанція живлення 110/10 кВ є головним джерелом живлення для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Струм короткого замикання на шинах 10 кВ становить 3,34 кА, а потужність короткого замикання – 4,88 МВА. Цементний завод використовує компенсацію реактивної потужності шляхом встановлення статичних конденсаторних батарей, досягаючи вхідної реактивної потужності 216 кВАр та підвищуючи коефіцієнт потужності до нормативних значень не нижче 0,92.

Цементний завод працює за двозмінною системою організації виробництва з максимальним часом використання навантаження 2500 годин на рік. Електрообладнання цементного заводу класифікується за ступенем надійності електропостачання таким чином: категорія I – обладнання системи автоматичного пожежогасіння, аварійного освітлення та системи оповіщення; категорія II – допоміжне обладнання, яке допускає перерви в електропостачанні на час, необхідний для ручного резервування; все інше електрообладнання виробничого, технологічного та складського призначення – категорія III. Для споживачів I категорії надійності передбачено автоматичне ввімкнення резервного живлення.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ.

2.1. Розрахунок електричних навантажень

2.1.1. Розрахунок потужності електричного навантаження

2.1.1.1. Розрахунок потужності електричного навантаження для дробильно-сортувального цеху

У додатку F представлено «метод впорядкованих діаграм» [1], який використовується для розрахунку потужності електричного навантаження. Правильність та точність проекту електропостачання дробильно-сортувального цеху головним чином залежать від точності розрахунку електричного навантаження. Змінне навантаження групи 1:

$$P_{c.з.} = 0,14 \cdot 2 \cdot 9,6 + 0,14 \cdot 4 \cdot 4,4 + 0,20 \cdot 6 \cdot 47,9 = 2,7 + 2,5 + 57,5 = 62,6 \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

$$Q_{c.з.} = 2,7 \cdot 2,7 + 1,2 \cdot 2,5 + 0,2 \cdot 57,5 = 19,1 \text{ кВАр}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт використання групи 1:

$$\kappa_{\epsilon} = \frac{62,6}{324,2} = 0,19. \quad (2.3)$$

Ефективна кількість приймачів у групі 1:

$$n_e = \frac{2 \cdot 9,6^2 + 4 \cdot 4,4^2 + 6 \cdot 47,9^2}{(2 \cdot 9,6 + 4 \cdot 4,4 + 6 \cdot 47,9)^2} = 7,5. \quad (2.4)$$

Максимальне навантаження приймачів у групі 1:

$$P_m = 2,1 \cdot 62,6 = 128,6 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

Коли $n_e = 7,5 > 10$

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бороненко Д.О.				Проектування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	13	40
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затверд.	Волинець В.І.							

$$Q_M = Q_{с.з.} = 19,1 \text{ кВАр} \quad (2.6)$$

У таблицях 2.1–2.4 наведено розрахунки потужності навантаження решти приймачів в дробильно-сортувального цеху.

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантаження дробильно-сортувального цеху

Назва приймача	n, шт.	P _{ном} , кВт	K _{вик}	cosφ	n _{еф}	P _{ср} , кВт	O _{ср} , кВАр	K _м	P _м , кВт	Q _м , кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Група 1										
Приймачі, що працюють під змінним навантаженням										
Щокова дробарка	2	9,6	0,14	0,65	–	2,7	3,1	–	–	–
Роторна дробарка	4	9,6	0,14	0,65	–	2,5	2,9	–	–	–
Пластинчастий живильник	6	4,4	0,14	0,65	–	57,5	13,0	–	–	–
Загальна кількість приймачів, що працюють під змінним навантаженням	12	–	0,19	–	7,5	62,6	19,1	2,1	128,6	21,0
Група 2										
Приймачі, що працюють під змінним навантаженням										
Вібраційний живильник	2	8,7	0,20	0,65	-	3,5	4,1	-	-	-
Пластинчастий живильник	1	47,9	0,20	0,65		9,6	2,2			
Вібраційний грохот	2	1,3	0,20	0,65		0,5	0,6			
Елеватор ковшовий	1	5,2	0,14	0,65		3,6	4,3			
Загальна кількість приймачів, що працюють під змінним навантаженням	10	–	0,18	–	3,4	17,2	11,1	3,0	50,8	12,2
Група 3										
Приймачі, що працюють під змінним навантаженням										
Вібраційний грохот	2	1,3	0,20	0,65	–	0,5	0,6	-	-	-
Елеватор ковшовий	1	5,2	0,14	0,65	–	0,7	0,9	-	-	-
Пластинчастий живильник	2	47,9	0,20	0,65	–	19,2	4,3	-	-	-

Продовження таблиця 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Магнітний сепаратор	1	2,2	0,14	0,65	—	0,3	0,4	-	-	-
Вібраційний живильник	3	8,7	0,14	0,65		3,7	4,3			
Щокова дробарка	2	9,6	0,14	0,65		2,7	3,1			
Роторна дробарка	1	1,0	0,14	0,65	—	0,1	0,2	-	-	-
Загальна кількість приймачів, що працюють під змінним навантаженням	12	—	0,18	—	4,6	27,2	13,7	2,6	70,8	15,1

Результати розрахунків для групи 1 свідчать про значну частку реактивної потужності, що потребує компенсації для підвищення коефіцієнта потужності цеху.

2.1.1.2. Розрахунок потужності силових електричних навантажень цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

У додатку В представлено «ієрархічний метод» [1], який є одним із найбільш поширених та надійних підходів до визначення електричних навантажень промислових підприємств. Правильність проектування системи електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт залежить від його точності. Саме цей параметр визначає вибір силового обладнання, перетинів кабелів, параметрів компенсації реактивної потужності та загальну економічну ефективність електротехнічної частини проекту.

Розглянемо детально розрахунок потужності на прикладі дробильно-сортувального цеху, який є одним із ключових виробничих підрозділів цементного заводу. Для визначення активної розрахункової потужності застосовується метод коефіцієнтів попиту з урахуванням коефіцієнта використання та коефіцієнта максимуму:

$$P_{c.з} = 0,2 \cdot 179 = 35,8 \text{ кВт.} \quad (2.7)$$

Реактивна розрахункова потужність токарного цеху визначається з урахуванням тангенса кута зсуву фаз, що відповідає середньозваженому коефіцієнту потужності даної групи електроприймачів:

$$Q_{c.з.} = 35,8 \cdot 0,88 = 31,6 \text{ кВАр.} \quad (2.8)$$

Аналогічні розрахунки проводяться для всього технологічного комплексу цементного заводу. У таблиці 2.2 наведено узагальнені результати розрахунку потужності електропостачання для всього обладнання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.

Таблиця 2.2 – Електричне навантаження цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Назва об'єкту	$P_{\text{вст,}}$ кВт	K_B	$\cos\varphi$	$P_{c.з.,}$ кВт	$Q_{c.з.,}$ кВАр
Холодильник клінкеру	179	0,2	0,75	35,8	31,6
Склад готової продукції	119	0,3	0,75	35,7	31,5
Млиновий цех	255	0,3	0,6	76,5	102,0
Силосний цех	344	0,3	0,7	103,2	105,3
Цех помелу цементу	315	0,5	0,8	157,5	118,1
Цех експедиції та відвантаження	522	0,5	0,8	261	195,8
Водопровідно-каналізаційний цех	45	0,2	0,7	9	9,2
Ремонтно-механічний цех	90	0,6	0,8	54	40,5
Дробильно-сортувальний цех	149	0,2	0,7	29,8	30,4
Компресорна станція	132	0,2	0,7	26,4	26,9
Разом по цементному заводі	2150	-	-	788,9	691,23

Отримані значення активної та реактивної розрахункової потужності (788,9 кВт та 691,23 кВАр відповідно) є вихідними даними для подальшого вибору силових трансформаторів, розрахунку перетинів кабельних ліній, визначення необхідної потужності компенсуючих пристроїв та проектування системи розподілу електроенергії на території підприємства.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі

Освітлення на цементному заводі забезпечується різними типами світильників – сучасними енергоефективними світлодіодними та традиційними люмінесцентними, при цьому перевага надається світлодіодним джерелам світла завдяки їхній високій енергоефективності, тривалому терміну служби та зниженому енергоспоживанню.

Для освітлення дробильно-сортувального цеху використовуються промислові світильники ДПП0-75-54 УХЛ4 1х50W, які відповідають вимогам експлуатації в умовах промислових приміщень з підвищеним рівнем запиленості та механічних впливів. Детальні результати розрахунку кількості світильників, їхнього оптимального розташування та рівня освітленості робочих зон наведено в розділі 4 даного проекту.

На рисунку 2.1 показано схему розташування світильників ДПП0-75-54 УХЛ4 1х50W у дробильно-сортувальному цеху з урахуванням геометричних параметрів приміщення, висоти підвісу, коефіцієнтів відбиття стін та стелі, а також розташування технологічного обладнання.

Рисунок 2.1 – Освітлення дробильно-сортувального цеху

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У додатку В наведено метод визначення загальної встановленої потужності освітлювального навантаження, який базується на даних про кількість встановлених світильників та їхню індивідуальну потужність. Для дробильно-сортувального цеху розрахунок встановленої потужності освітлення виконується наступним чином:

$$P_{н.о} = 106 \cdot 75 = 7950 \text{ Вт.} \quad (2.9)$$

Для визначення середнього активного навантаження приймача освітлення в дробильно-сортувальному цеху застосовуються коефіцієнти попиту та запасу:

$$P_{p.o} = 7950 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 6678 \text{ Вт.} \quad (2.10)$$

Середнє реактивне навантаження приймача освітлення в дробильно-сортувальному цеху визначається з урахуванням коефіцієнта реактивної потужності, характерного для даного типу джерел світла:

$$Q_{p.o} = 6678 \cdot 0,33 = 2204 \text{ ВАр.} \quad (2.11)$$

У додатку В наведено також «метод питомої щільності навантаження» [1], який є альтернативним підходом до розрахунку освітлювального навантаження і використовується для розрахунку навантаження приймачів освітлення в інших виробничих та допоміжних приміщеннях цементного заводу. Даний метод особливо зручний на стадії попередніх розрахунків, коли ще не визначено конкретний тип та кількість світильників. Розрахунок за методом питомої щільності навантаження проілюстровано на прикладі дробильно-сортувального цеху.

Встановлена потужність освітлювального обладнання за методом питомої щільності навантаження:

$$P_{po} = 13,3 \cdot 2596 = 34527 \text{ Вт.} \quad (2.12)$$

Активне розрахункове навантаження дробильно-сортувального цеху з урахуванням коефіцієнта одночасності та коефіцієнта попиту:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$P_{po} = 1,2 \cdot 0,95 \cdot 34527 = 38,9 \text{ кВт.} \quad (2.13)$$

Розрахункове реактивне навантаження дробильно-сортувального цеху:

$$Q_{po} = P_{po} \times \text{tg}\varphi, = 38,9 \times 0,46 = 17,7 \text{ кВАр} \quad (2.14)$$

У таблиці 2.3 наведено узагальнені результати розрахунку освітлювального навантаження для основних виробничих, складських та допоміжних приміщень цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт, отримані з урахуванням площ приміщень, нормативних рівнів освітленості, типів світильників та відповідних коефіцієнтів.

Таблиця 2.3 – Розрахунок освітлювального навантаження для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Назва цеху або будівлі	F, м ²	E _{норм} , Лк	P _{пит} , Вт	K _п	K _{пра}	P _{ро} , кВт	tgφ	Q _{ро} , кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Холодильник клінкеру	2600	300	13,3	0,95	1,2	39,0	0,46	17,8
Склад готової продукції	1650	300	13,3	0,95	1,2	24,8	0,46	11,3
Млиновий цех	2500	200	13,3	0,95	1,2	37,5	0,46	17,1
Силосний цех	2800	200	13,3	0,95	1,2	42,0	0,46	19,1
Цех помелу цементу	1490	200	13,3	0,95	1,2	22,4	0,46	10,2
Цех експедиції та відвантаження	1550	200	13,3	0,95	1,2	23,3	0,46	10,6
Водопровідно-каналізаційний цех	8380	300	13,3	0,95	1,2	125,7	0,46	57,3
Ремонтно-механічний цех	1570	200	13,3	0,95	1,2	23,6	0,46	10,7
Дробильно-сортувальний цех	1490	200	13,3	0,95	1,2	22,4	0,46	10,2
Компресорна станція	2160	300	13,3	0,95	1,2	32,4	0,46	14,8
Зовнішнє освітлення	32854	2	0,05	0,95	1,1	1,7	0,62	1,1

Отримані дані щодо освітлювального навантаження використовуються для вибору силових трансформаторів, що живлять освітлювальні мережі, розрахунку перетинів кабельних ліній освітлення.

2.1.3. Розрахунок загального електричного навантаження електромережі цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

У додатку Г наведено детальний метод визначення номінальної потужності силового трансформатора 10/0,4 кВ. Правильність проектування мережі живлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт безпосередньо залежить від правильного розрахунку навантаження низьковольтної шини головної підстанції. Ця розрахункова потужність визначається з урахуванням активної та реактивної складових за такою формулою:

$$S_{p,з} = \sqrt{(35,8+38,9)^2 + (31,6+17,7)^2} = 89,5 \text{ кВА.} \quad (2.15)$$

У таблиці 2.4 наведено узагальнені результати розрахунку навантаження низьковольтної шини підстанції для всіх цехів та виробничих ділянок цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.

Таблиця 2.4 – Розрахунок загального електричного навантаження для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Назва цеху або будівлі	$P_{с.з.},$ кВт	$P_{р.о.},$ кВт	$P_{р.з.},$ кВт	$Q_{с.з.},$ кВАр	$Q_{р.о.},$ кВАр	$Q_{р.з.},$ кВАр	$S_{p,з.},$ кВА
1	2	34	5	6	7	8	9
Холодильник клінкеру	35,8	38,9	74,7	31,6	17,7	49,3	89,5
Склад готової продукції	35,7	24,4	60,1	31,5	11,1	42,6	73,6
Млиновий цех	76,5	36,8	113,3	102,0	16,7	118,7	164,1
Силосний цех	103,2	42,2	145,4	105,3	19,2	124,5	191,4
Цех помелу цементу	157,5	22,2	179,7	118,1	10,1	128,2	220,8
Цех експедиції та відвантаження	261	23,2	284,2	195,8	10,6	206,3	351,2
Водопровідно-каналізаційний цех	9	125,7	134,7	9,2	57,3	66,5	150,2
Ремонтно-механічний цех	54	23,5	77,5	40,5	10,7	51,2	92,9
Дробильно-сортувальний цех	29,8	22,3	52,1	30,4	10,2	40,6	66,1

Продовження таблиці 2.4

1	2	34	5	6	7	8	9
Компресорна станція	26,4	32,4	58,8	26,9	14,8	41,7	72,1
Зовнішнє освітлення	–	1,7	1,7	–	1,1	1,1	–
цементному заводі	788,9	391,6	1180,5	691,23	178,4	869,7	1471,9

Виходячи з отриманої розрахункової потужності $S_{p3} = 1471,9$ кВА та з урахуванням необхідного запасу навантаження для забезпечення надійності електропостачання, виберемо оптимальну номінальну потужність силового трансформатора підстанції.

2.1.4. Визначення центру електричних навантажень

У додатку Д детально описано методику розрахунку центру електричного навантаження промислового підприємства. Схема визначення центру електричного навантаження побудована на основі генерального плану розташування цехів, складів та допоміжних споруд цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Цей розрахунок є обов'язковим етапом проектування для визначення оптимального місця розташування трансформаторної підстанції з метою мінімізації довжини кабельних ліній та зниження втрат електроенергії в мережі.

Радіус кола площі діаграми для середньої потужності навантаження розраховується за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{89,5}{3,14 \cdot 2}} = 3,8 \text{ см.} \quad (2.16)$$

Отже, прийнятий розрахунковий радіус кола $r \approx 6$ см. З естетичних міркувань та для забезпечення зручності побудови діаграми ми вирішили встановити масштаб діаграми площ на основі навантаження найбільшого споживача електроенергії – компресорної – з розрахунковою потужністю $P_{p3} = 284,2$ кВт. Тоді масштаб побудови буде таким:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

$$m = \frac{284,2}{3,14 \cdot 6^2} = 2,5 \text{ кВт} / \text{мм}^2. \quad (2.17)$$

Для практичного зручності та спрощення графічних побудов ми приймаємо масштаб, рівний $2 \text{ кВт} / \text{мм}^2$. У таблиці 2.5 наведено результати розрахунку координат та параметрів діаграми.

Для зручності аналізу та візуалізації розподілу навантаження кожне коло на діаграмі можна розділити на окремі сектори для різних типів навантажень — силової електроенергії та освітлення. Кутовий розмір сектора навантаження освітлення розраховується за формулою:

$$\alpha = 360 \cdot \frac{38,9}{74,7} = 188 \text{ град.} \quad (2.18))$$

Таблиця 2.5 – Картограма об'єктів цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Назва цеху або будівлі	X, м	Y, м	P _{р.і.} , кВт	P _{осв.} , кВт	r, см	α, град
1	2	3	4	5	6	7
Холодильник клінкеру	246	112	74,7	38,9	3,4	188
Склад готової продукції	104	32	60,1	24,4	3,1	146
Млиновий цех	248	183	113,3	36,8	4,2	117
Силосний цех	248	148	145,4	42,2	4,8	104
Цех помелу цементу	124	182	179,7	22,2	5,3	45
Цех експедиції та відвантаження	39	174	284,2	23,2	6,7	29
Водопровідно-каналізаційний цех	146	31	134,7	125,7	4,6	336
Ремонтно-механічний цех	197	45	77,5	23,5	3,5	109
Дробильно-сортувальний цех	43	96	52,1	22,3	2,9	154
Компресорна станція	264	43	58,8	32,4	3,1	198

Координати центру електричних навантажень цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт визначаються як зважене середнє арифметичне координат окремих споживачів з урахуванням їхніх потужностей:

$$X_u = \frac{\sum_{k=1}^N P_{p.i} \cdot X_i}{\sum_{k=1}^N P_{p.i}} = X_{\text{ц}} = \frac{174841}{1180,5} = 148 \text{ м},$$

$$Y_u = \frac{\sum_{k=1}^N P_{p.i} \cdot Y_i}{\sum_{k=1}^N P_{p.i}} = Y_{\text{ц}} = \frac{149896}{1180,5} = 127 \text{ м}.$$

Згідно з затвердженим генеральним планом цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт, розрахований центр навантаження розташований у виробничій зоні, через яку проходять існуючі лінії зв'язку та інженерні комунікації підприємства. З метою забезпечення безперешкодного доступу обслуговуючого персоналу, дотримання норм протипожежної безпеки та електробезпеки, а також для уникнення перетину з кабельними лініями зв'язку, ми прийняли рішення про перенесення трансформаторної підстанції на відкритий простір та встановлення її поблизу огорожі території підприємства в безпосередній близькості від точки підключення до системи зовнішнього електропостачання. На рисунку 2.2 показано план цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт з відображенням оптимального розташування трансформаторної підстанції.

2.2. Вибір числа та потужності трансформаторів та компенсуючих пристроїв

У додатку Е наведено методологію визначення оптимальної кількості та номінальної потужності трансформаторів для промислових підприємств. Для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт кількість та потужність трансформаторів залежать від величини активного навантаження, яке передає потужність лише приймачу. У цьому випадку потужність трансформаторів є

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

мінімальною. З урахуванням реактивних навантажень та коефіцієнта реактивної потужності потужність трансформаторів зростатиме пропорційно до загальної потужності навантаження.

Рисунок 2.2 – Картограма цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Визначимо середню питому потужність цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт:

$$S_{\text{пит}} = \frac{1471,9}{26105} = 0,06 \text{ кВА/м}^2. \quad (2.19)$$

Питома потужність становить менше 0,2 кВА/м², що відповідає категорії підприємств з відносно низькою щільністю електричного навантаження. Тому доцільно розглядати трансформатори з номінальною потужністю 630 кВА та 1000 кВА як основні варіанти для порівняльного аналізу.

Визначимо необхідну кількість трансформаторів номінальною потужністю 630 кВА

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N_m = \frac{1180,5}{630 \cdot 0,7} = 2,7. \quad (2.20)$$

На основі розрахунку та з урахуванням вимог до надійності електропостачання категорійних споживачів припускаємо, що потрібно встановити 3 трансформатори потужністю 630 кВА з резервуванням на випадок аварійного відключення одного з них.

Плануємо встановити дві підстанції: одну двотрансформаторну та одну однострансформаторну. Модель трансформатора — ТМ-630/10, з технічними параметрами: « $S_{T,ном}=630$ кВА; $U_{BH}=10$ кВ; $U_{HH}=0,4$ кВ; $\Delta P_{xx}=2,27$ кВт; $\Delta P_{кз}=7,6$ кВт; $U_{кз}=5,5$ %; $I_{xx}=2\%$ » [3].

Вибраний трансформатор потужністю 630 кВА передає певну кількість реактивної потужності з боку високої напруги на бік низької напруги

$$Q_m = \sqrt{(0,7 \cdot 3 \cdot 630)^2 - 1180,5^2} = 597,2 \text{ кВАр}. \quad (2.21)$$

Враховуючи це, необхідна потужність компенсуючого пристрою низької напруги становить:

$$Q_{кн} = 869,7 - 597,2 = 272,5 \text{ кВАр}. \quad (2.22)$$

Ми припускаємо встановлення 3 конденсаторних установок по 50 кВАр кожна, загальною потужністю 150 кВАр, з подальшим доукомплектуванням у разі необхідності.

Години максимальних втрат визначаємо за типовими графіками навантаження цементного виробництва:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{2500}{10000} \right)^2 \times 8760 = 1225 \text{ год}. \quad (2.23)$$

Розраховуємо річні втрати електроенергії в трансформаторах 630 кВА:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$C_{в.т.} = \left[7,6 \cdot \frac{1471,9^2}{(3 \cdot 630)^2} \cdot 1225 + 2,27 \cdot 3 \cdot 8670 \right] \cdot 12,6785 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 938,072 \text{ тис.грн.} \quad (2.24)$$

Вартість встановлення підстанції, оснащеної трансформатором потужністю 630 кВА, з урахуванням капітальних витрат та вартості втрат електроенергії:

$$(0,12 + 0,05) \cdot 495,504 + 938,072 = 1190,779 \text{ тис.грн.} \quad (2.25)$$

Вартість втрат електроенергії в конденсаторній батареї потужністю 150 кВАр:

$$C_{в.кн.} = 3 \cdot 4,5 \cdot 150 \cdot 12,6785 \cdot 10^{-6} = 74,968 \text{ тис.грн} \quad (2.26)$$

Приведена вартість встановлення конденсаторних установок загальною потужністю 150 кВА:

$$З_{кн} = (0,12 + 0,05) \cdot 8,220 + 74,968 = 79,160 \text{ тис.грн} \quad (2.27)$$

Загальні приведені витрати на схему з трансформаторами ТМ-630 /10:

$$З = 1190,779 + 79,160 = 1269,939 \text{ тис.грн.} \quad (2.28)$$

Порівняємо отриману схему з альтернативним варіантом використання 2 трансформаторів типу ТМ-1000/10. Результати порівняльного розрахунку наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняльний аналіз варіантів вибору кількості та потужності трансформаторів

S _{т.ном} , кВА	N, шт.	P _{рΣ} , кВт	Q _т , кВАр	Q _{кн} , кВАр	C _{в.т.} , тис. грн.	З _т , тис. грн.	C _{в.кн.} , тис. грн.	З _{кн} , тис. грн.	З, тис. грн.
630	3	1180,5	597,2	150	938,072	1190,779	74,968	79,160	1269,939
1000	2	1180,5	752,5	50	911,552	1107,196	24,989	27,229	1134,425

На підставі проведеного техніко-економічного порівняння встановлюємо, що варіант встановлення двох трансформаторів потужністю 1000 кВА є економічно доцільним, оскільки забезпечує менші експлуатаційні витрати, вищий коефіцієнт завантаження обладнання (0,59 проти 0,62), спрощення схеми розподільчої мережі та зменшення кількості комутаційних апаратів.

2.3. Компенсація реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є невід'ємною складовою проектування систем електропостачання промислових підприємств, оскільки від її ефективності безпосередньо залежать техніко-економічні показники роботи електроустановок, втрати електроенергії в мережах та рівень напруги в точках приєднання споживачів. У додатку Ж наведено метод визначення реактивної потужності двох горизонтальних площин ТП. Згідно з цим методом, максимальне загальне реактивне навантаження цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт становить:

$$Q_{M1} = 0,75 \cdot 869,7 = 652,3 \text{ кВАр.} \quad (2.29)$$

Потужність, необхідна для компенсаційного пристрою, визначається на основі балансу реактивної потужності цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт та енергосистемою під час пікового активного навантаження:

$$Q_{K1} = 652,3 - 261 = 391,3 \text{ кВАр} \quad (2.30)$$

Нескомпенсоване реактивне навантаження на стороні 10 кВ трансформатора 1000 кВА:

$$Q_{HCT} = 869,7 - 50 - 85 = 734,7 \text{ кВАр} \quad (2.31)$$

Ємнісна потужність високовольного конденсатора:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_{BK} = 391,3 + 85 - 50 = 426,3 \text{ кВАр.} \quad (2.32)$$

У таблиці 2.7 наведено розрахункові результати компенсації реактивної потужності для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.

Таблиця 2.7 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	$Q_{p\Sigma},$ кВАр	$Q_{e.max},$ кВАр	$Q_{нкф},$ кВАр	$\Delta Q_T,$ кВАр	K_{nc}	$Q_{m1},$ кВАр	$Q_{k1},$ кВАр	$Q_{ncT},$ кВАр	$Q_{BK},$ кВАр
Значення	869,7	261	50	85	0,75	652,3	391,3	734,7	426,3

Оскільки високовольтні конденсатори значно дорожчі за низьковольтні, ми не встановлюємо високовольтні конденсатори. Для балансування реактивної потужності на низьковольтній стороні трансформатора потужністю 1000 кВА встановлюємо низьковольтні конденсатори загальною ємністю:

$$Q_{KH\Sigma} = Q_{KH} + Q_{BK} = 50 + 426,3 = 476,3 \text{ кВАр.}$$

На низьковольтній стороні трансформатора встановлюємо конденсаторні батареї типу УКРМ 0,4- 240. На рисунку 2.3 показано схему електроживлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт.

Рисунок 2.3 – Схема електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.4. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях СЕП

У додатку 3 наведено метод визначення електричного навантаження цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт на рівні напруги 10 кВ.

Втрати потужності трансформатора потужністю 1000 кВА:

$$\Delta P_T = 3,3 + 0,7^2 \cdot 11,6 = 8,984 \text{ кВт.} \quad (2.33)$$

Задане навантаження на стороні високої напруги трансформатора потужністю 1000 кВА:

$$S_{P4} = \sqrt{(1180,5 + 8,984)^2 + (869,7 + 85 + 50)^2} = 1388 \text{ кВА.} \quad (2.34)$$

Перевірка перевантажувальної здатності вибраного трансформатора:

$$1,4 \cdot 1000 = 1400 \geq 1388 \text{ кВА.} \quad (2.35)$$

Умови виконано, тому ми зберігаємо трансформатор 1000 кВА .

Активне навантаження на високовольтні шини трансформатора 1000 кВА:

$$P_{p5} = 1180,5 + 4,05 + 1,7 = 1195 \text{ кВА.} \quad (2.36)$$

Реактивне навантаження на високовольтні шини трансформатора 1000 кВА:

$$Q_{p5} = 869,7 + 50 - 85 + 1,1 - 426,3 = 479 \text{ кВАр.} \quad (2.37)$$

Повне навантаження на високовольтні шини трансформатора 1000 кВА:

$$S_{p5} = \sqrt{1195^2 + 479^2} = 1288 \text{ кВА.} \quad (2.38)$$

2.5. Вибір зовнішнього електроживлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

2.5.1. Вибір схеми зовнішнього живлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

У завданні передбачено, що електроживленням цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт є районна підстанція з рівнем напруги 110/10

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

кВ. Довжина лінії до джерела живлення 10 кВ становить 3,34 км. Живлення цементного заводу здійснюється кабелями 10 кВ, які комутуються лінійними вакуумними вимикачами. Для забезпечення електроживлення кабелі підключаються до різних частин шини.

2.5.2. Вибір площі поперечного перерізу лінії живлення

У додатку И запропоновано метод вибору площі поперечного перерізу жили кабелю «виходячи з техніко-економічних умов» [1]

Номінальний струм лінії:

$$I_p = \frac{1288}{\sqrt{3} \cdot 10} = 74,4 \text{ А.} \quad (2.39)$$

«Номінальний струм лінії в нормальному режимі вдвічі менший, ніж в аварійному режимі»[1]:

$$I_{\text{норм}} = \frac{1288}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 37,2 \text{ А.} \quad (2.40)$$

Ми перераховуємо кілька характеристик поперечного перерізу та порівнюємо їх техніко-економічні аспекти – АСБ-10-3×35, АСБ-10-3×50, АСБ-10-3×70, АСБ-10-3×95. Розрахуємо вартість мережі, побудованої з використанням кабелю АСБ-10-3×35.

Умови експлуатації кабелю відрізняються від стандартних умов. Отже, враховуючи умови монтажу, допустиме струмове навантаження розраховується наступним чином:

$$I'_{\text{тр.дон}} = 1 \cdot 1,036 \cdot 115 \cdot = 119 \text{ А.} \quad (2.41)$$

Коефіцієнт навантаження лінії АСБ-10-3×35 за нормальної роботи:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_3 = \frac{37,2}{119} = 0,31. \quad (2.42)$$

Втрати потужності лінії АСБ-10-3×35:

$$\Delta P_{\text{л}} = 2 \cdot 0,31^2 \cdot 42 \cdot 3,34 = 7,64 \text{ кВт}. \quad (2.43)$$

Втрати енергії лінії АСБ-10-3×35:

$$\Delta W_{\text{л}} = 7,64 \cdot 1225 = 9359 \text{ кВт год}. \quad (2.44)$$

Вартість втрат енергії лінії АСБ-10-3×35:

$$C_{\text{в.л.}} = 9359 \cdot 0,1268 = 1,187 \text{ тис.грн}. \quad (2.45)$$

Капітальні інвестиції у лінію АСБ-10-3×35:

$$K_{\text{л}} = 2 \cdot 785,696 \cdot 3,34 = 5246,88 \text{ тис.грн}. \quad (2.46)$$

Амортизація лінії АСБ-10-3×35:

$$C_{\text{а.л.}} = 0,10 \cdot 5246,88 = 524,69 \text{ тис.грн}. \quad (2.47)$$

Експлуатаційні витрати лінії АСБ-10-3×35:

$$C_{\text{ек.л.}} = 1,187 + 524,69 = 524,69 \text{ тис.грн}. \quad (2.48)$$

Кінцева вартість лінії АСБ-10-3×35:

$$З = 0,12 \cdot 5246,88 + 524,69 = 1155,50 \text{ тис.грн}. \quad (2.49)$$

У таблиці 2.8 наведено результати розрахунку амортизаційних відрахувань для решти кабелів. Як показано в таблиці 2.8, кабель з найменшою площею поперечного перерізу (ц мм²) пропонує найменше зниження витрат. Тому ми обрали кабель АСБ-10-3×35 як лінію живлення.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

«Аварійний струм лінії не повинен перевищувати допустимий струм протягом тривалого часу, а також слід враховувати допустиме перевантаження обраного кабелю та відключення електроенергії споживачів третьої категорії»[1]:

$$(1 - 0,3) \cdot 74,4 = 52,0 < 1,35 \cdot 119 = 160,65 \text{ А.} \quad (2.50)$$

Таблиця 2.8 – Приведені затрати на живлячі лінії

F, мм	$I'_{тр.доп.}, \text{ А}$	$\Delta P_n, \text{ кВт/км}^2$	K_3	$\Delta P_{л}, \text{ кВт}$	$\Delta W_{л}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	$C_{в.л}, \text{ тис. грн.}$	$K_{л}, \text{ тис. грн.}$	$C_{ал.}, \text{ тис. грн.}$	$C_{ек.л}, \text{ тис. грн.}$	З, тис. грн.
35	119	42	0,31	7,64	9353,1	1,187	5246,88	524,69	525,87	1155,50
50	144,9	44	0,26	5,39	6608,7	0,837	5819,47	581,95	582,78	1281,12
70	170,8	46	0,22	4,06	4972,6	0,631	6605,97	660,60	661,23	1453,94
95	212,2	50	0,18	2,86	3501,7	0,444	7658,62	765,86	766,31	1685,34

Умови виконано. Вибраний кабель відповідає «умовам перевірки після аварійного режиму».

Перевіримо «втрати напруги» вибраного поперечного перерізу. Для цього нам потрібен опір кабелю АСБ-10-3×35

$$R = 0,84 \cdot 3,34 = 2,80 \text{ Ом,} \quad (2.51)$$

$$X = 0,095 \cdot 3,34 = 0,32 \text{ Ом.} \quad (2.52)$$

Втрата напруги кабелю АСБ-10-3×35

$$\Delta U = \frac{(1195 \cdot 2,80 + 479 \cdot 0,32) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^2} \cdot 100 = 1,8\%. \quad (2.53)$$

Умова перевірки втрати напруги

$$\Delta U = 1,8\% < 5\% \quad (2.54)$$

виконується. Отже, можна встановлювати кабелі АСБ-10-3×35, які відповідають вимогам щодо падіння напруги.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ		Арк.
							32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

2.6. Вибір внутрішнього електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

2.6.1. Вибір схеми розподільчої мережі для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

Цементний завод встановленою потужністю 2150 кВт використовує радіальну схему електропостачання, яка найбільш поширена та економічно обґрунтована для промислових підприємств. Автоматичні вимикачі встановлені на низьковольтній стороні підстанції виконані з пружинним приводом, що забезпечує швидке та чітке спрацьовування захисту при виникненні аварійних режимів роботи мережі. Кожен цех на цементному заводі живиться від підстанції кабельними лініями, прокладеними відповідно до вимог ПУЕ та технічних умов експлуатації.

На рисунку 2.4 показано план розподільчої мережі 0,4 кВ цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт, де наочно представлено взаємозв'язок між джерелом живлення, розподільчими пристроями та кінцевими споживачами електричної енергії.

2.7. Розрахунок високовольтної мережі

2.7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

У додатку К наведено метод розрахунку струму короткого замикання у відносних одиницях. Цей метод простіший, ніж метод з використанням номінальних одиниць, оскільки дозволяє уникнути громіздких обчислень та спрощує аналіз режимів роботи електричної мережі при різних умовах експлуатації.

Довільно припускаємо: базова потужність $S_6=150$ МВА, напруга $U_6=10,5$ кВ. Ці базові величини обрані з урахуванням номінальних параметрів обладнання підстанції та вимог до точності розрахунків.

Відповідно до вимог задачі, струм короткого замикання на шині живлення становить 4,88 кА; отже, опір системи визначається за такою формулою:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\dot{X}_{c*} = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,88} = 1,69. \quad (2.55)$$

Опір кабелю АСБ-10-3×35 визначається за такою формулою з урахуванням питомого опору матеріалу жил

$$\dot{X}_{кл*} = 0,095 \cdot 3,34 \cdot \frac{150}{10,5^2} = 0,43. \quad (2.56)$$

Рисунок 2.4 –Мережа живлення цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

На рисунку 2.5 показано еквівалентну схему, за якою розраховується струм короткого замикання. Еквівалентна схема дозволяє замінити реальну складну мережу спрощеною моделлю, що спрощує виконання розрахунків.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

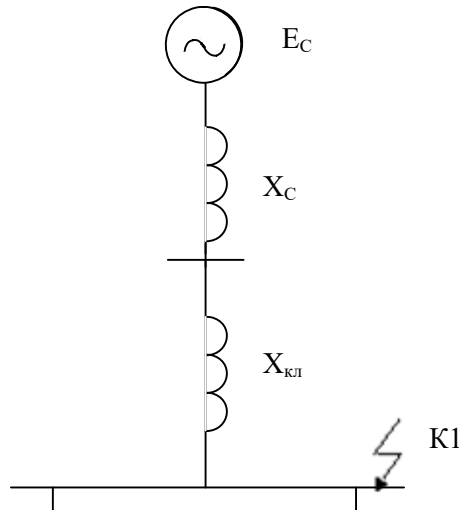


Рисунок 2.5 – Спрощена заступна схема короткозамкненого кола
Базисний струм за заданих базисних умов

$$I_6 = \frac{150}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 8,2 \text{ кА.} \quad (2.57)$$

Струм короткого замикання в точці К1 визначається з урахуванням сумарного опору кола короткого замикання, який складається з опору системи та опору кабельної лінії:

$$I_k = \frac{8,2}{1,69 + 0,43} = 3,88 \text{ кА,} \quad (2.58)$$

Ударний струм у точці К1, який характеризує максимальне миттєве значення струму короткого замикання розраховується з урахуванням ударного коефіцієнта:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,4 + 3,88 = 7,7 \text{ кА.} \quad (2.59)$$

Термічно стійка мінімальна площа поперечного перерізу кабелю до дії струму короткого замикання визначається з урахуванням тривалості дії струму:

$$F_{\min} \frac{8,2}{95} \cdot \sqrt{0,4} = 25,9 \text{ мм}^2. \quad (2.60)$$

Вибраний кабель АСБ-10-3х35 є термічно стійкий до струму короткого замикання, тому зрештою приймається вказаний кабель як остаточний варіант для

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

прокладання високовольтної лінії електропередачі на території цементного заводу.

2.7.2. Вибір та перевірка розподільчих пристроїв та захисного обладнання

2.7.2.1. Вибір розподільчих пристроїв

В додатку Л наведено метод вибору та перевірки розподільчих пристроїв 10 кВ ТП. На стороні ТП 10 кВ встановлюється комплектний розподільчих пристроїв типу КСО-306. Цей тип камер широко застосовується в промислових мережах завдяки своїй надійності та економічності при експлуатації в умовах підстанцій з відносно невеликими робочими струмами. Для правильного прийняття рішення необхідно виконати перевірку за такими умовами.

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{ном.КСО-306}}=10 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}, \quad (2.61)$$

Умова виконується, оскільки номінальна напруга розподільчого пристрою відповідає напрузі мережі, що забезпечує електричну міцність ізоляції при нормальних та аварійних режимах роботи;

- за номінальним струмом:

$$I_{\text{ном.КСО-306}}=630 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}}=74,4 \text{ А}, \quad (2.62)$$

Значний запас по навантаженню та дозволяє врахувати можливе розвиток підприємства в майбутньому;

- за номінальним струмом відключення:

$$I_{\text{ном.відкл.КСО-306}}=10 \text{ кА} \geq I_{\text{к.мах}}=3,88 \text{ А}, \quad (2.63)$$

що гарантує селективність захисту та відсутність помилкових відключень;

- за електродинамічною стійкістю:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_{\text{ном.дин.КСО-306}}=81 \text{ кА} \geq i_{\text{у.мах}}=7,7 \text{ А}, \quad (2.64)$$

що виключає механічні пошкодження струмопроводів та ізоляторів при проходженні струмів КЗ;

- за термічною стійкістю:

$$B_{\text{т.КСО-306}}=31,52 \cdot 3=2977 \text{ кА}^2\text{с} \geq B_{\text{к}}=3,88^2 \cdot 0,4=6,0 \text{ кА}^2\text{с}, \quad (2.65)$$

що забезпечує збереження цілісності обладнання при дії струмів КЗ протягом часу дії захисту.

Усі умови виконано з великим запасом. Приймаємо для встановлення на стороні 10 кВ трансформаторної підстанції комплектний розподільчих пристроїв типу КСО-306.

2.7.2.2. Вибір роз'єднувачів

В додатку М наведено метод вибору та перевірки внутрішніх роз'єднувачів, які необхідно встановити на стороні 10 кВ підстанції. Роз'єднувач є важливим комутаційним апаратом, призначеним для створення видимого розриву електричного кола при проведенні планових та аварійних ремонтних робіт. Вибір та приймання роз'єднувача типу РРЗ-10/630 УЗ здійснимо за таких умов:

- номінальна напруга

$$U_{\text{ном.РРЗ-10/630 УЗ}}=10 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}, \quad (2.66)$$

що забезпечує необхідну електричну міцність ізоляції роз'єднувача при роботі в мережі 10 кВ;

- номінальний струм:

$$I_{\text{ном.РРЗ-10/630 УЗ}}=630 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}}=74,4 \text{ А}, \quad (2.67)$$

що дозволяє безпечно експлуатувати роз'єднувач у номінальному режимі з достатнім термічним запасом;

- динамічна стійкість:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_{\text{ном.дин}} \text{PP3-10/630 } U3=41 \text{ кА} \geq i_{\text{у.мах}}=7,7 \text{ А}, \quad (2.68)$$

що виключає деформацію контактів та механічні пошкодження корпусу апарату при проходженні струмів КЗ;

- термічна стійкість:

$$B_{\text{тPP3-10/630}} U3=162 \cdot 4=1024 \text{ кА}^2 \text{с} \geq B_{\text{к}}=3,88^2 \cdot 0,4=6,0 \text{ кА}^2 \text{с}, \quad (2.69)$$

що гарантує збереження працездатності контактної системи при дії струмів короткого замикання

Усі умови виконано з достатнім запасом. Ми приймаємо внутрішній роз'єднувач типу РР3-10/630 У3 для встановлення в комірках 10 кВ трансформаторної підстанції.

2.7.2.3. Вибір вимикачів навантаження

В додатку Н наведено метод вибору та перевірки вимикача навантаження, який слід встановити на стороні 10 кВ підстанції перед трансформатором потужністю 1000 кВА. Вимикач навантаження призначений для комутації робочих струмів навантаження та відключення перевантажень у колах живлення силових трансформаторів. Вибираємо вимикач навантаження ВНР РА/EL–630 з ручним приводом, запобіжником ПКТ-10 та заземлювачем:

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{ном.}}=10 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}, \quad (2.70)$$

що забезпечує надійну ізоляцію між полюсами та відносно землі;

- за номінальним струмом вимикаючого пристрою:

$$I_{\text{ном.}}=400 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}}=74,4 \text{ А}, \quad (2.71)$$

що дозволяє безперешкодно комутувати навантаження трансформатора 1000 кВА навіть при тривалому перевантаженні;

- за динамічною стійкістю:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_{\text{ном.}} = 25 \text{ кА} \geq i_{\text{у.мах}} = 7,7 \text{ А}, \quad (2.72)$$

що забезпечує збереження конструкції вимикача при дії струмів КЗ;

- за термічною стійкістю:

$$B_{\text{т}} = 102 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2\text{с} \geq B_{\text{к}} = 3,88^2 \cdot 0,4 = 6,0 \text{ кА}^2\text{с}, \quad (2.73)$$

що гарантує відсутність термічних пошкоджень при проходженні струмів короткого замикання;

- за номінальним струмом запобіжника ПКТ-10:

$$I_{\text{ном.ПКТ-10}} = 100 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}} = 74,4 \text{ А}, \quad (2.74)$$

що забезпечує його нормальну роботу в режимі тривалого навантаження без хибного спрацьовування;

- за номінальним струмом вимкнення запобіжника ПКТ-10:

$$I_{\text{ном.вимкПКТ-10}} = 20 \text{ кА} \geq I_{\text{к.мах}} = 3,88 \text{ А}, \quad (2.75)$$

що гарантує надійне відключення аварійного режиму;

- за номінальною потужністю вимкнення запобіжника ПКТ-10:

$$S_{\text{ном.вимкПКТ-10}} = 200 \text{ МВА} \geq S_{\text{р.вимк}} = 67,29 \text{ МВА}, \quad (2.76)$$

де розрахункова потужність КЗ:

$$S_{\text{р.вимк}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 3,88 = 67,29 \text{ МВА}. \quad (2.77)$$

Усі умови виконано з достатнім запасом. Ми приймаємо автоматичні вимикачі ВНР РА/ЕL–630, оснащені запобіжниками ПКТ-10, для встановлення на стороні 10 кВ перед силовим трансформатором потужністю 1000 кВА.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.7.3. Вибір вимірювального обладнання

2.7.3.1. Вибір трансформаторів струму

На підстанції джерела живлення, в ТП цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт з боку 0,4 кВ необхідно встановити вимірювальне обладнання. Для комерційного розрахунку та обліку активної енергії встановлюємо трифазні багатотарифні лічильники енергії типу НІК 2303 з класом точності 0,5S. Для технічного обліку на лінії ТП 0,4 кВ встановлюємо лічильники енергії типу НІК 2303 з прямим підключенням за номінальним струмом 5(120) А. Для технічного обліку реактивної енергії встановлюємо лічильники типу НІК 2303 у конденсаторних батареях типу УКРМ 0,4- 240. Для контролю робочих струмів у кожній фазі встановлюємо амперметри типу ЕА19N-E4.

Амперметр, лічильники енергії встановлено у вторинному колі трансформатора струму типу ТАQ2М. У додатку О детально описано методи вибору та випробування трансформаторів струму на основі наступних умов:

- номінальний первинний струм::

$$I_{\text{ном}}=100 \text{ А} \geq I_{\text{р.мах}}=37,2 \text{ А}, \quad (2.78)$$

що забезпечує нормальну роботу трансформатора при перевантаженнях до 120% номінального струму;

- номінальна напруга:

$$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}, \quad (2.79)$$

відповідає номінальній напрузі мережі;

- динамічна стійкість:

$$i_{\text{дин}}=51 \text{ кА} \geq I_{\text{у.мах}}=7,7 \text{ кА}, \quad (2.80)$$

гарантує механічну стійкість обмоток при ударних струмах короткого замикання;

- термічна стійкість:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

$$B_T = 52 \cdot 4 = 100 \text{ кА}^2\text{с} \geq B_K = 3,88^2 \cdot 0,4 = 6,0 \text{ кА}^2\text{с}, \quad (2.81)$$

забезпечує цілісність обладнання при дії токів короткого замикання тривалістю до 0,4 с;

- навантаження вторинної обмотки:

$$S_{2\text{ном}} = 10 \text{ ВА} \geq S_{2p} = 0,55 \text{ ВА}. \quad (2.82)$$

дозволяє підключити додаткові прилади без втрати класу точності 0,5s/

У таблиці 2.9 наведено детальний розрахунок навантаження для трансформатора струму типу ТАQ2Мз урахуванням опорів усіх підключених приладів та з'єднувальних проводів.

Таблиця 2.9 – Навантаження одного трансформатора струму ТАQ2М

Марка вимірювального обладнання	Навантаження, ВА		
	ф. А	ф. В	ф. С
Амперметр ЕА19N-Е4	0,5	0,5	0,5
Лічильник енергії НІК 2303	0,05	-	0,05
Разом	0,55	0,5	0,55

Активний опір обладнання:

$$\Sigma R_{\text{прил}} \approx \Sigma Z_{\text{прил}} = \frac{0,55}{5^2} = 0,022 \text{ Ом}, \quad (2.83)$$

Опір з'єднувальних проводів між трансформатором струму типу ТАQ2М та кожним елементом обладнання (при довжині проводів 4 м та перерізі 2,5 мм²):

$$R_{np} = \frac{5}{34 \cdot 4} = 0,04 \text{ Ом}, \quad (2.84)$$

Загальний опір навантаження трансформатора струму з урахуванням перехідного опору контактів

$$Z_2 \approx R_2 = 0,022 + 0,025 + 0,04 = 0,087 \text{ Ом}. \quad (2.85)$$

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.7.4.2 Вибір трансформаторів напруги

На підстанції джерела живлення необхідно встановити трансформатор напруги типу НАМИ-10. він живитиме коло напруги вимірювального обладнання. У додатку Р описано метод вибору та випробування трансформатора напруги типу НАМИ-10 за таких умов:

- номінальна первинна напруга:

$$U_{\text{ном1.}}=10 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}, \quad (2.86)$$

що відповідає номінальній напрузі мережі 10 кВ;

- навантаження на фазу:

$$S_{2\text{ном}}=120 \text{ ВА} \geq S_{2\text{р}}=12 \text{ ВА}. \quad (2.87)$$

дозволяє підключити додаткові прилади та реле без погіршення точності вимірювань.

Розрахунок навантаження для трансформаторів напруги наведено в таблиці 2.10 з урахуванням споживаної потужності кожного вимірювального обладнання.

Таблиця 2.10 – Навантаженням трансформаторів напруги НАМИ-10

Марка вимірювального обладнання	Навантаження, ВА
Вольтметр ЕА19Т-С	2
Лічильник енергії НІК 2303	10
Разом	12

2.8. Розрахунок низьковольтної електромережі в дробильно-сортувальному цеху

2.8.1. Схема живлення та вибір ліній електропередач для дробильно-сортувального цеху

Електрична мережа в дробильно-сортувальному цеху виконується за методикою, наведеною в додатку Р. Робоча напруга приймача живлення в токарному цеху становить 4000 В трифазного змінного струму частотою 50 Гц, що відповідає стандартизованій номінальній напрузі для промислових електромереж низької напруги в Україні. Схема живлення приймачів електроенергії в дробильно-сортувальному цеху прийнята радіально, починаючи

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

від вхідного розподільчого пункту ВЩР що забезпечує високу надійність електропостачання та оперативність виявлення та усунення пошкоджень на окремих ділянках мережі без зупинки всього технологічного процесу.

Розрахункова активна потужність в дробильно-сортувальному цеху визначається шляхом додавання активної та реактивної складових:

$$S_p = \sqrt{128,6^2 + 21,0^2} = 130,3 \text{ кВА.} \quad (2.88)$$

Розрахунковий струм у кабелі в дробильно-сортувальному цеху визначається за формулою:

$$I_p = \frac{130,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 198,0 \text{ А.} \quad (2.89)$$

Отримане значення розрахункового струму є вихідним параметром для подальшого вибору перерізу жил кабелю, типу захисного обладнання та перевірки на допустиме падіння напруги. У таблиці 2.11 наведено узагальнені результати розрахунків параметрів кабельних ліній дробильно-сортувального цеху з урахуванням їх довжини, матеріалу струмопровідних жил та умов прокладання.

Таблиця 2.11 – Розрахунок кабельних ліній для дробильно-сортувального цеху

Лінія	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	I_p , А	S , мм ²	$I_{тр.доп}$, А	ℓ , м	R_{num} , мОм/м	X_{num} , мОм/м	ΔU , %
ВЩР -РП1	128,6	21,0	198,0	120	200	19	0,261	0,08	0,46
ВЩР -РП2	50,8	12,2	79,4	35	90	12	0,894	0,088	0,39
ВЩР -РП3	70,8	15,1	110,0	70	140	16	0,447	0,082	0,36
ТП-ВЩР	60,1	42,6	111,9	70	140	154	0,447	0,082	3,24

Лінія живлення дробильно-сортувального цеху планується з використанням кабелю типу ВВГнг-LS з мідними жилами. Згідно із загальним планом цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт, довжина лінії вимірюється від розподільчого пристрою 0,4 кВ підстанції до вхідного розподільчого щита дробильно-сортувального цеху, а також до різних розподільних пунктів (РП1, РП2, РП3), що розташовані у технологічних зонах

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ				Арк.
									43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

цеху з урахуванням розподілу навантаження. Ці дані є визначальними для подальшого розрахунку необхідної площі поперечного перерізу кабелю, перевірки фактичного падіння напруги на лінії та коректного вибору захисного обладнання.

Для вибраного кабелю виконується обов'язкова перевірка на «допустиме падіння напруги» кабельної лінії. Допустиме падіння напруги для мереж внутрішнього електропостачання промислових підприємств не повинно перевищувати 10% від номінальної напруги [1]. У таблиці 2.11 наведено розрахункове падіння напруги на лінії, що веде до дробильно-сортувального цеху, яке становить 3,24 % і повністю відповідає нормативним вимогам. Вибрані площі поперечного перерізу відповідають вимогам як допустимого тривалого струму навантаження, так і допустимого падіння напруги при повному завантаженні цеху.

Площа поперечного перерізу силових кабелів для кожного приймача електроенергії в дробильно-сортувальному цеху вибирається на основі його розрахункового струму, а також умов прокладання (в одній площині з іншими кабелями, у кабельних каналах або на металевих конструкціях). Як приклад розрахунку для окремого силового приймача використовується щоквадратна дробарка, що входить до складу допоміжного устаткування цеху. Розрахунковий струм для щоквадратної дробарки

$$I_p = \frac{14,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,4 \text{ А} \quad (2.90)$$

Умови вибору кабелю та захисного обладнання перевіряються за наступним критерієм:

$$198,0 \text{ А} < 200 \text{ А} \quad (2.91)$$

Вибрані кабелі прокладаються всередині металевої конструкції дробильно-сортувального цеху на кабельних лотках K1162 з дотриманням мінімально допустимих відстаней між окремими жилами та силовими кабелями різних груп.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Прокладання виконується з використанням металевих хомутів та кріпильних елементів, що забезпечує механічний захист кабельної продукції та оперативний доступ для проведення планово-попереджувальних ремонтів.

У таблиці 2.12 наведено узагальнені результати вибору силових кабелів та захисного обладнання для приймачів електроенергії в дробильно-сортувальному цеху.

Таблиця 2.12 – Вибір силових кабелів та захисного обладнання в дробильно-сортувальному цеху

Назва лінії	Р _р , кВт	I _{р, max} , А	Автоматичний вимикач		Провід	
			I _{ном.р} , А	Серія	I _{доп} , А	S, мм ²
1	2	3	4	5	6	7
Група 1	128,6	198,0	250	SAB-250-KRS-3P-	200	5 × 120
Група 2	50,8	79,4	160	SAB-160-KRS-3P-	90	5 × 35
Група 3	70,8	110,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Група 1						
Щокова дробарка	9,6	22,4	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Щокова дробарка	9,6	22,4	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Роторна дробарка	4,4	10,3	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Роторна дробарка	4,4	10,3	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Роторна дробарка	4,4	10,3	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Роторна дробарка	4,4	10,3	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Пластинчастий живильник	47,9	74,6	160	SAB-160-KRS-3P-	75	5 × 25
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70

Продовження табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Група 2						
Вібраційний живильник	8,7	70	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Вібраційний живильник	8,7	20,3	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Пластинчастий живильник	47,9	74,6	160	SAB-160-KRS-3P-	75	5 × 25
Вібраційний грохот	1,3	3,0	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Вібраційний грохот	1,3	3,0	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Група 3						
Вібраційний грохот	1,3	3,0	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Вібраційний грохот	1,3	3,0	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Елеватор ковшовий	5,2	12,2	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Пластинчастий живильник	47,9	9,3	160	SAB-160-KRS-3P-	75	5 × 25
Пластинчастий живильник	47,9	112,0	160	SAB-160-KRS-3P-	140	5 × 70
Магнітний сепаратор	2,2	5,1	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5
Вібраційний живильник	8,7	20,3	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Вібраційний живильник	8,7	20,3	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Вібраційний живильник	8,7	20,3	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4

Продовження табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7
Щокова дробарка	9,6	22,4	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Щокова дробарка	9,6	22,4	160	SAB-160-KRS-3P-	27	5 × 4
Роторна дробарка	1,0	2,3	160	SAB-160-KRS-3P-	19	5 × 2,5

На рисунку 2.6 наведено принципову однолінійну схему мережі дробильно-сортувального цеху, що відображає структуру живлення від ввідного розподільчого щита до розподільних пунктів окремих груп електрообладнання.

Рисунок 2.6 – План мережі дробильно-сортувального цеху

2.8.2 Вибір та проектування схеми освітлювальної мережі дробильно-сортувального цеху

Для забезпечення достатнього та якісного освітлення в дробильно-сортувальному цеху необхідно обґрунтовано вибрати раціональну схему

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

освітлювальної мережі, яка відповідатиме сучасним нормам енергоефективності та надійності електропостачання. Враховуючи послідовне розташування освітлювальних приладів уздовж робочих зон верстатів, прийнято радіальну схему живлення як найбільш оптимальну для даного типу виробничого приміщення. Живлення подається від головного розподільного щита цеху до щита освітлення, що забезпечує чітке розмежування силової та освітлювальної навантажень. Освітлювальна мережа монтується відкритим способом на поверхні будівельних конструкцій з використанням кабелів, прокладених вздовж несучих елементів будівлі, що спрощує монтаж та подальше обслуговування. Розподільний щит освітлення обрано типу ЩОН-12, який повністю відповідає вимогам щодо кількості груп та ступеня захисту.

Нижче наведено параметри обраного розподільного щита освітлення типу ЩОН-12 з перевіркою його придатності для роботи в умовах токарного цеху:

$$U_{\text{ном.м}} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ},$$

що забезпечує необхідний запас міцності ізоляції

$$I_p = 10,2 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 150 \text{ А},$$

що дозволяє безпечно експлуатувати щит освітлення у номінальному режимі з достатнім термічним запасом

$$10^2 \cdot 0,1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек} \leq 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \text{ сек},$$

що підтверджує здатність щита витримувати дію струмів короткого замикання протягом необхідного часу.

У додатку С представлено методику вибору поперечного перерізу освітлювальної мережі в дробильно-сортувальному цеху, засновану на принципі мінімізації маси провідникового матеріалу, відомому як «метод мінімального матеріалу провідника» [1]. Дана методика дозволяє оптимізувати витрати

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

кабельної продукції при дотриманні нормованих параметрів якості електроенергії.

Момент навантаження головної ділянки освітлювальної мережі дробильно-сортувального цеху від ГРЩ до розподільного щита освітлення визначається за формулою:

$$M_{\text{ГРЩ-ЩО}} = 0,075 \cdot 14 \cdot 13 \cdot 25 = 341,3 \text{ кВт} \cdot \text{м.} \quad (2.92)$$

Момент навантаження першого ряду світильників у дробильно-сортувальному цеху, що враховує розподіл потужності між групами освітлювальних приладів:

$$m_{\text{ЩО-1}} = 0,075 \cdot 14 \cdot \left(17,8 + \frac{(14-1) \cdot 2,5}{2} \right) = 35,8 \text{ кВт} \cdot \text{м.} \quad (2.93)$$

Аналогічним чином послідовно визначаємо моменти навантаження другого, третього та всіх наступних рядів світильників у дробильно-сортувальному цеху. У таблиці 2.19 детально наведено отримані результати для моментів навантаження всіх рядів світильників з урахуванням їхнього розташування та підключеної потужності. На підставі розрахованих моментів навантаження визначаємо необхідну площу поперечного перерізу кабелів для кожного ряду освітлювальної мережі дробильно-сортувального цеху. Розрахунок проводиться з подальшим уточненням за стандартним рядом площ поперечних перерізів та перевіркою фактичного падіння напруги на ділянках мережі.

Площа поперечного перерізу кабелю для основної ділянки мережі освітлення Площа поперечного перерізу кабелю для основної ділянки мережі освітлення дробильно-сортувального цеху від ГРЩ до щита освітлення:

$$S_{\text{ГРЩ-ЩО}} = \frac{341,3 + 1,39 \cdot 419,2}{44 \cdot 3} = 7,0 \text{ мм}^2. \quad (2.94)$$

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для основної ділянки мережі освітлення дробильно-сортувального цеху прийнято найближчу стандартну площу поперечного перерізу 10 мм², що забезпечує запас провідності та зниження енергетичних втрат.

Фактичне падіння напруги на ділянці ГРЩ–ЩО дробильно-сортувального цеху:

$$\Delta u_{\text{ГРЩ-ЩО}} = \frac{341,3}{44 \cdot 3} = 0,8 \%. \quad (2.95)$$

Розрахункове допустиме падіння напруги на ділянці ГРЩ–ЩО дробильно-сортувального цеху:

$$\Delta u_{\text{ГРЩ-ЩО}} = 3 - 0,8 = 2,22\%. \quad (2.96)$$

Площа поперечного перерізу кабелю першого ряду світильників ЩО-1 у дробильно-сортувальному цеху:

$$S_{\text{ЩО-1}} = \frac{35,8}{7,4 \cdot 2,22} = 2,17 \text{ мм}^2. \quad (2.97)$$

Приймаємо найближчу стандартну площу поперечного перерізу 2,5 мм², яка забезпечує допустиме нагрівання кабелю та механічну міцність. У таблиці 2.13 узагальнено результати розрахунку та остаточного вибору площі поперечного перерізу для всіх ділянок мережі освітлення дробильно-сортувального цеху.

Таблиця 2.13 – Вибір площі поперечного перерізу мережі освітлення дробильно-сортувального цеху

Лінія	$\ell_{\text{до}}$, м	$m_{\text{ЩО-і}}$, кВт·м	$S_{\text{ЩО-і}}$, мм ²	$S_{\text{ЩО-і.пр}}$, мм ²
1	2	3	4	5
ЩО-1	17,8	35,8	2,17	2,5
ЩО-2	16,8	34,7	2,11	2,5
ЩО-3	15,6	33,4	2,03	2,5
ЩО-4	14,4	32,2	1,96	2,5
ЩО-5	13,7	31,4	1,91	2,5
ЩО-6	12,2	29,9	1,81	2,5
ЩО-7	11,1	28,7	1,74	2,5
ЩО-8	11,1	28,7	1,74	2,5

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4	5
ЩО-9	12,8	30,5	1,85	2,5
ЩО-10	14	31,8	1,93	2,5
ЩО-11	15,1	32,9	2,00	2,5

На рисунку 2.7 наведено принципову схему розташування мережі освітлення дробильно-сортувального цеху у вигляді плану з позначенням траси прокладання кабельних ліній, місць установки розподільних щитів та освітлювальних приладів.

Рисунок 2.7 – Вигляд мережі освітлення дробильно-сортувального цеху

2.8.2. Розрахунок струмів КЗ в мережі 0,4 кВ

Для забезпечення електробезпеки електромережі 0,4 кВ, що живиться силовим трансформатором номінальної потужності 1000 кВА в дробильно-сортувальному цеху, та для правильного вибору захисних пристроїв необхідний розрахунок струму короткого замикання. Для цього використовується метод, детально описаний у додатку Т, який враховує параметри джерела живлення, опір

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

лінії. Розрахунок базується на принципі побудови спрощеної електричної моделі системи електропостачання цеху.

На рисунку 2.8 показано розрахункову електричну схему дробильно-сортувального цеху, яка використовується для аналізу режимів роботи та визначення розрахункових значень струму. Ця схема включає основні компоненти: трансформатор, лінії електропередач, комутаційне обладнання та приклад навантаження.

Еквівалентна схема, показана на рисунку 2.9, є основою для подальших розрахунків струму короткого замикання в характерних точках системи з метою вибору відповідних захисних пристроїв.

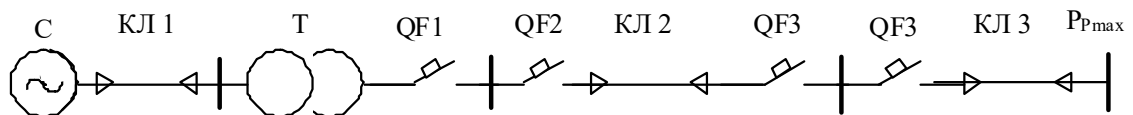


Рисунок 2.8 – Схема мережі живлення дробильно-сортувального цеху

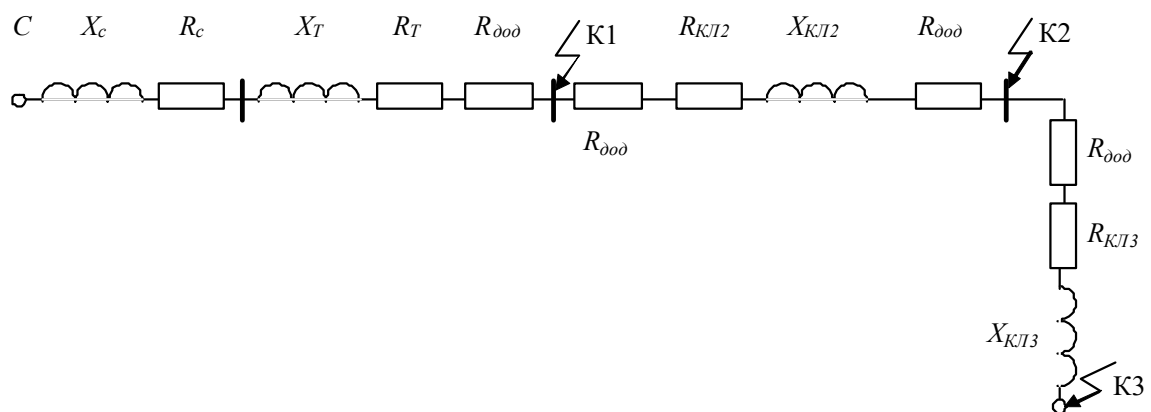


Рисунок 2.9 – Схема заміщення дробильно-сортувального цеху

Опір системи:

- активний опір:

$$R_c = 0,84 \cdot 3,34 = 2,80 \text{ мОм}, \quad (2.98)$$

- реактивний опір:

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,88} = 1,56 \text{ мОм.} \quad (2.99)$$

Активний опір системи приведений до 0,4 кВ:

$$\dot{R}_c = 2,80 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 4,1 \text{ мОм;} \quad (2.100)$$

Реактивний опір системи приведений до 0,4 кВ:

$$\dot{X}_c = 1,56 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,25 \text{ мОм.} \quad (2.101)$$

Опір трансформатора потужністю 1000 кВА ТП цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт:

- активний опір:

$$\dot{R}_T = \frac{11,6}{1000} \cdot \frac{0,4^2}{1000} = 1,85 \text{ мОм,} \quad (2.102)$$

- реактивний опір:

$$\dot{X}_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1000} = 8,76 \text{ мОм,} \quad (2.103)$$

Опір кабельних ліній КЛІ2:

- активний опір:

$$R_{\text{л}} = 19 \cdot 0,26 = 5 \text{ мОм,} \quad (2.104)$$

- реактивний :

$$X_{\text{л}} = 19 \cdot 0,08 = 1,52 \text{ мОм.} \quad (2.105)$$

У таблиці 2.14 наведено опори решти ліній дробильно-сортувального цеху.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.14 – Розрахунок опору кабельних ліній в дробильно-сортувальному цеху

Назва кабельної лінії	КЛ2	КЛ3
1	2	3
l , м	19	11
F , мм ²	120	25,0
r_0 , мОм/м	0,26	1,25
$R_{\text{л}}$, мОм	5	14
x_0 , мОм/м	0,08	0,09
$X_{\text{л}}$, мОм	1,52	1,00

Опір до точки К1:

- активний опір:

$$R_{\text{рез}} = 4,1 + 1,85 + 15 = 20,9 \text{ мОм}, \quad (2.106)$$

- реактивний опір:

$$X_{\text{рез}} = 2,25 + 8,76 = 11,01 \text{ мОм}. \quad (2.107)$$

- повний опір

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{20,9^2 + 11,01^2} = 23,6 \text{ мОм}. \quad (2.108)$$

Струм короткого замикання в точці К1:

$$I_{\text{к}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 23,6} = 9,8 \text{ кА}. \quad (2.109)$$

Струм короткого замикання в точці К1

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 9,8 = 10,2 \text{ кА}. \quad 2.110)$$

У таблиці 2.15 наведено розрахунковий струм короткого замикання від електромережі 0,4 кВ для дробильно-сортувального цеху.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.15 – Розрахунок струмів КЗ в мережі 0,4 кВ дробильно-сортувального цеху

Точка КЗ	$R_{рез}, \text{мОм}$	$X_{рез}, \text{мОм}$	$Z_{рез}, \text{мОм}$	$I_K, \text{кА}$	k_y	$i_y, \text{кА}$
К1	20,9	11,01	23,6	9,8	1,05	10,2
К2	30,9	12,53	33,3	6,92	1	6,92
К3	49,6	13,53	51,4	4,48	1	4,48

2.8.3. Вибір розподільчого пристрою та захисного обладнання для низьковольтної мережі

2.8.3.1. Вибір розподільчого пристрою ТП 0,4 кВ

На підстанції цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт планується встановити розподільчий пристрій низької напруги 0,4 кВ, який забезпечить надійний та безперебійний розподіл електричної енергії між усіма споживачами виробничого циклу. Вибір обладнання та перевірка відповідності вимогам до електропостачання здійснюються відповідно до методів, наведених у додатку У.

У цьому плані використовується вхідна шафа типу ЩО-98-25. Ця вхідна шафа містить автоматичний вимикач SAB-4000-KRS-3P-1600 та рубильник PE19-1600. Для підключення контрольно-вимірювального обладнання заплановано встановлення трансформатора струму типу ТАQ2М з номінальним струмом первинної обмотки 1600 А. Вибір шафи типу ЩО-98 здійснюється за цих умов експлуатації, навантаженням та параметрами короткого замикання, а придатність для встановлення обладнання перевіряється відповідно:

$$U_{ном.ЩО-98}=0,4 \text{ кВ} > U_{ном}=0,4 \text{ кВ},$$

$$I_{ном.ЩО-98}=1600 \text{ А} > I_{р.мах}=1447,0 \text{ А},$$

$$i_{ном.дин.ЩО-98}=14,5 \text{ кА} > i_{у.мах}=10,2 \text{ А},$$

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$B_{тЩО-98}=5^2 \cdot 4=100 \text{ кА}^2\text{с} > B_{к}=9,8^2 \cdot 0,25=23,8 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Всі умови виконано. Ми приймаємо шафи типу ЩО-98. Відповідність номінальної напруги гарантує безпечну експлуатацію, перевищення номінального струму над розрахунковим забезпечує необхідний запас надійності, а динамічна стійкість та термічна стійкість значно перевищують вимоги, що гарантує безвідмовну роботу навіть при аварійних режимах.

Для секційної розподільчої шафи спочатку вибираємо модель виробу ЩО-98-36. Цей виріб містить автоматичний вимикач типу SAB-4000-KRS-3P-1600 та рубильник PE19-1600. Номінальний струм обраного обладнання для розподілу електроенергії становить 1600 А. Секційна розподільча шафа відіграє ключову роль у забезпеченні гнучкості системи електропостачання, дозволяючи виконувати оперативні перемикання між секціями шин без зупинки виробництва:

$$U_{ном.ЩО-98}=0,4 \text{ кВ} > U_{ном}=0,4 \text{ кВ},$$

$$I_{ном.ЩО-98}=1600 \text{ А} > I_{р.мах}=1447,0 \text{ А},$$

$$i_{ном.дин.ЩО-98}=14,5 \text{ кА} > i_{у.мах}=10,2 \text{ А},$$

$$B_{тЩО-98}=5^2 \cdot 4=100 \text{ кА}^2\text{с} > B_{к}=9,8^2 \cdot 0,25=23,8 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Всі умови виконано. Ми приймаємо сегментований розподільний виріб моделі ЩО-98-36. Застосування даної моделі дозволяє оптимізувати структуру електропостачання та підвищити надійність живлення критично важливих споживачів цементного заводу.

Для лінійної розподільної шафи спочатку вибираємо модель ЩО-98-14. Цей виріб містить один автоматичний вимикач струму з трансформатором типу ТАQ2М. Вибране обладнання живлення має номінальний струм 100 А. Лінійні розподільчі шафи призначені для живлення окремих груп споживачів та забезпечують локальний захист від перевантажень та коротких замикань:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$U_{\text{ном.ЩО-98}}=0,4 \text{ кВ} > U_{\text{ном}}=0,4 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{ном.ЩО-98}}=100 \text{ А} > I_{\text{р.мах}}=47,8 \text{ А},$$

$$i_{\text{ном.дин.ЩО-98}}=12 \text{ кА} > i_{\text{у.мах}}=10,2 \text{ А},$$

$$B_{\text{тЩО-98}}=5^2 \cdot 4=100 \text{ кА}^2\text{с} > B_{\text{к}}=9,8^2 \cdot 0,25=23,8 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Всі умови виконано. Ми приймаємо лінійну розподільну шафу типу ЩО-98-14. Значний запас за струмом та термічною стійкістю дозволяє використовувати дане обладнання для живлення груп споживачів з нерівномірним графіком навантаження та можливими короткочасними перевантаженнями.

2.8.3.2. Вибір та перевірка розподільних шаф для дробильно-сортувального цеху

В додатку У наведено метод вибору розподільних шаф для дробильно-сортувального цеху, який враховує специфіку виробництва, зокрема наявність значної кількості верстатів з асинхронними двигунами, що створюють пускові струми.

Розподільний пристрій в дробильно-сортувальному цеху складатиметься з трьох розподільних шаф, кожна з яких оснащена автоматичним вимикачем.

Критерії вибору:

- номінальна напруга:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}. \quad (2.111)$$

- 10 фідерів достатньо для задоволення потреб живлення приймачів дробильно-сортувального цеху, включаючи верстати, допоміжне обладнання, системи охолодження та освітлення.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зрештою, для розподільчого пункту дробильно-сортувального цеху ми обрали ПР 8505-3038, оснащений автоматичними вимикачами SAB-250-KRS-3P- на вході та на лінії. Ми покажемо критерії вибору для групи приймачів максимальної потужності токарного цеху:

$$40 \text{ A} > 79,4 \text{ A.} \quad (2.112)$$

У таблиці 2.25 наведено результати випробувань вхідних автоматичних вимикачів дробильно-сортувального цеху.

Таблиця 2.25 – Ввідні розчіплювачі вимикачів розподільних пунктів дробильно-сортувального цеху

Номер розподільчого пункту	Потужність розрахункова S_p , кВА	Струм розрахунковий I_p , А	Струм розчіплювача $I_{ном.р}$, А
ПР1	130,3	198,0	200
ПР2	52,3	79,4	100
ПР3	72,4	110,0	125

Отже автоматичні вимикачі SAB-250-KRS-3P- можуть використовуватися для живлення всіх компонентів дробильно-сортувального цеху.

2.8.3.3. Вибір та перевірка освітлювального щита дробильно-сортувального цеху

В додатку У наведено правильний метод вибору розподільчого щита освітлення в дробильно-сортувальному цеху з урахуванням умов надійної роботи. Освітлення дробильно-сортувального цеху є важливим елементом забезпечення безпеки праці та якості виконання технологічних операцій, тому до вибору розподільчого щита освітлення слід підходити з особливою ретельністю

Номінальний струм мережі освітлення в дробильно-сортувальному цеху:

$$I_p = \frac{24,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 37,3 \text{ А.} \quad (2.113)$$

Вибираємо розподільний щит освітлення типу ЩОН-12:

- розмір щита світлення «630×540×155 мм» відповідає умовам монтажу в приміщенні;
- номінальна напруга щита світлення:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В.}$$

- 12 фідерів достатньо для задоволення потреб живлення всіх кіл освітлення в дробильно-сортувальному цеху, включаючи загальне освітлення, місцеве освітлення робочих зон верстатів та аварійне освітлення для забезпечення безпечної евакуації персоналу при аварійному відключенні основного живлення.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПЛАСТИНЧАСТОГО ЖИВИЛЬНИКА

3.1. Розрахунок потужності приводу пластинчастого живильника і його вибір

Пластинчастий живильник, встановлений в дробильно-сортувальному цеху, повинен забезпечувати такі параметри технологічного процесу:

- номінальне зусилля $m_{\text{ном}} = 49 \text{ т}$;
- максимальний хід штока $\ell_{\text{п}} = 1,3 \text{ м}$;
- максимальний хід ежектора $\ell_{\text{в}} = 1,2 \text{ м}$;
- швидкість повернення штока ковзання $V_{\text{п.п.}} = 0,5 \text{ м/с}$;
- швидкість холостого ходу штока ковзання $V_{\text{н.п.}} = 0,5 \text{ м/с}$;
- швидкість робочого ходу штока ковзання $V_{\text{ном.п.}} = 0,02 \text{ м/с}$;

В додатку Ф наведено детальну методику вибору двигуна приводу преса, розроблену з урахуванням специфіки циклічного навантаження та динамічних режимів роботи. Основною особливістю є те, що двигун працює в повторно-короткочасному режимі зі змінним навантаженням, що потребує перевірки не лише номінальної потужності, але й теплового стану, перевантажувальної здатності та умов пуску.

Статична потужність під час робочого ходу визначається як добуток зусилля на швидкість робочого ходу з урахуванням коефіцієнта корисної дії механічної передачі:

$$P_{\text{ст}} = \frac{9,8 \cdot 49 \cdot 0,02}{0,85} = 11,30 \text{ кВт.} \quad (3.1)$$

Для початкового вибору двигуна необхідно врахувати коефіцієнт запасу потужності, який компенсує невизначеності розрахункових даних, можливі відхилення напруги живлення та зниження ККД в процесі експлуатації

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Бороненко Д.О.			Проектування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Гадай А.В.				Д	60	7
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

$$P_{p.d} = \frac{11,30}{0,75} = 15,07 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

За результатами розрахунку початкової потужності 15,07 кВт та з урахуванням стандартного ряду номінальних потужностей асинхронних двигунів загальнопромислового призначення, вибираємо трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серії АИР 160М4. Технічні параметри обраного двигуна: $P_{ном} = 18,5 \text{ кВт}$; $n = 1470 \text{ об/хв}$; $\eta = 90\%$; $GД_{дв} = 13,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $E_H = 100,2$; $M_{max} = 2800 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Для перевірки умов пуску та динамічної стійкості приводу необхідно визначити сумарний приведений момент інерції системи «двигун – механізм». Розрахункове значення приведенного моменту інерції:

$$Z \cdot \frac{GД_{\Sigma}^2}{1,2 \cdot GД_{дв}^2} = 240 \cdot \frac{2,1 + 4,1}{1,2 \cdot 4,1} = 302 = 50 \cdot \frac{21,1 + 13,7}{1,2 \cdot 13,7} = 105,8. \quad (3.3)$$

Приймаємо коефіцієнти:

- еквівалентний ККД привода $\eta_{екв.б}^* = 0,8$.
- коефіцієнт режиму роботи $k_0 = 1,5$ (у випадку $E_0 = 0,75$);
- коефіцієнт перевантаження $k_{п} = 0,90$.

Теплова перевірка є обов'язковою для двигунів, що працюють у повторно-короткочасному режимі, оскільки номінальна потужність вказана для тривалого режиму S1. Для циклічних режимів необхідно перерахувати допустиму потужність з урахуванням теплової інерції обмоток та корпусу двигуна:

$$P_{д.т} = \frac{0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,8 \times \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1,25 \cdot 11,30}{100,2}}}{0,90 \cdot 1,5 \cdot (0,8 - 1,25 \cdot (0,8 - 0,8))} = 0,13 \text{ кВт.} \quad (3.4)$$

Двигун АИР АИР 160М4 відповідає умовам перевірки теплового стану, оскільки розрахункова теплова потужність значно нижча номінальної.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підшипники двигуна та вал механізму піддаються дії статичного крутного моменту під час утримання пластинчастого живильника в нижній мертвій точці. Максимальний статичний крутний момент навантаження на валу двигуна АИР 160М4:

$$M_{\text{ст. max}} = \frac{9550 \cdot 11,30}{960} = 112,4 \text{ Нм.} \quad (3.5)$$

Для забезпечення нормального пуску двигун повинен розвинути достатній обертальний момент для приведення в рух механізм з урахуванням моменту інерції та опору тертя в направляючих. Необхідний момент двигуна для виконання умов розгону:

$$M_{\text{д}} = \frac{21,1 + 13,7}{38,2} \cdot \frac{960}{0,02} \cdot 1,3 = 56846 \text{ Нм.} \quad (3.6)$$

Остаточна перевірка вибраного двигуна АИР 160М4 проводиться за умовою забезпечення максимального моменту двигуна з урахуванням перевантажувальної здатності та коефіцієнта запасу

$$2800 \text{ Нм} > 1,2 \cdot (112,4 + 56846) = 68350 \text{ Нм} \quad (3.7)$$

Двигун АИР 160М4 успішно пройшов перевірку умов пуску та забезпечує надійний запуск приводу пластинчастого живильника в робочих умовах дробильно-сортувальному цеху.

3.2. Розрахунок і вибір обладнання схеми керування пластинчастого живильника

В додатку Х наведено методику вибору електрообладнання, що керує пластинчастим живильником, розроблену з урахуванням специфіки циклічних механізмів металургійного та машинобудівного виробництва. Основні критерії вибору:

- 1) перевірка за номінальною напругою

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$400 \text{ В} \leq 400 \text{ В};$$

2) перевірка за номінальним струмом

$$36,3 \text{ А} < 40 \text{ А}.$$

У таблиці 3.1 наведено вибір магнітних пускачів для керування пластинчастим живильником з урахуванням номінальних параметрів двигуна та вимог до надійності комутації.

Таблиця 3.1 — Вибір магнітних пускачів для приводу пластинчастого живильника

Елемент пластинчастого живильника	Каталожні дані				Магнітний пускач	
	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	$\eta_{\text{ном}}, \%$	$\cos\varphi$	$I_{\text{ном}}, \text{ А}$	Тип	$I_{\text{ном.а}}, \text{ А}$
Привод гідроагрегату	18,5	90	0,86	36,3	FC-1/40А	40
Пуансон	15	89,4	0,85	26,8	FC-1/32А	32
Матриця	15	89,4	0,85	26,8	FC-1/32А	32

Номінальний струм пластинчастого живильника визначається як сума струмів споживачів

$$I_p = 36,3 + 26,8 + 26,8 = 89,9 \text{ А},$$

Пусковий струм пластинчастого живильника враховує кратність пускового струму асинхронного двигуна та номінальні струми допоміжних споживачів

$$I_{\text{пик}} = 7,5 \cdot 36,3 + 26,8 + 26,8 = 325,9 \text{ А}.$$

У таблиці 3.2 наведено вибір та перевірку вхідного автоматичного вимикача для пластинчастого живильника.

Вибране електрообладнання забезпечує надійну роботу пластинчастого живильника в умовах дробильно-сортувального цеху з тривалістю робочого циклу до 10 хвилин та інтенсивністю до 300 циклів на годину при дотриманні вимог електробезпеки та електромагнітної сумісності.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.2– Вибір ввідного автоматичного вимикача для пластинчастого живильника

Розрахункові дані	Каталожні дані автоматичного вимикача SAB-160-KRS-3P-100
$U_{\text{ном.м}} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_p = 89,9 \text{ А}$	$I_{\text{ном.а}} = 160 \text{ А}$
$I_p = 89,9 \text{ А}$	$I_{\text{розч.ном}} = 100 \text{ А}$
$I_{\text{пик}} = 325,9 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = 5 \cdot 100 = 500 \text{ А}$

3.3. Розрахунок мережі живлення пластинчастого живильника

Пластинчастий живильник належить до споживачів третьої категорії, що означає можливість живлення одним кабелем. В додатку Ц наведено детальну методику вибору мережі живлення пластинчастого живильника

Пластинчастий живильник живиться кабелем ВВГнг-LS-5×35 мм² з номінальним допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$. Після вибору кабелю за номінальним струмом необхідно виконати перевірку на втрату напруги, оскільки для вказаного обладнання критичним є підтримання стабільності напруги живлення в межах $\pm 10\%$ від номіналу для забезпечення точності позиціонування.

Активна та реактивна складові втрат напруги трансформатора підстанції цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт визначаються з паспортних даних:

$$\Delta U_{\text{т.а}} = \frac{11,6}{1000} \cdot 100 \% = 1,16 \%. \quad (3.8)$$

Реактивна складова втрат напруги трансформатора

$$\Delta U_{\text{т.р}} = \sqrt{5,5^2 - 1,16^2} = 5,38 \%, \quad (3.9)$$

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

Фактична втрата напруги трансформатора ТП цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт з урахуванням коефіцієнта навантаження становить:

$$\Delta U_T = 0,64 \cdot (1,16 \cdot 0,60 + 5,38 \cdot 1,3) = 5,08 \%. \quad (3.10)$$

Втрати напруги в лінії від трансформатора ТП до ВРЩ дробильно-сортувальному цеху $\Delta U_{л} = 4,45 \%$.

Втрата напруги в магістральній мережі від трансформатора ТП до дробильно-сортувального цеху (який є проміжною точкою розподілу живлення на пластинчастого живильника) становить:

$$\Delta U_m = \sqrt{3} \cdot 89,9 \cdot 11 (0,894 \cdot 0,85 + 0,088 \cdot 0,6) \cdot 100 \% = 0,33 \%. \quad (3.11)$$

Загальні втрати напруги в системі електропостачання від джерела (ТП) до пластинчастого живильника визначаються як сума складових:

$$\Delta U = 5,08 + 4,45 + 0,33 = 9,85 \% < \Delta U_{доп} = 10\%. \quad (3.12)$$

Для перевірки за умовою термічної стійкості треба визначити струм трифазного КЗ на лінії до пластинчастого живильника.

Активна складова опору трансформатора цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

$$r_T = \frac{11,6 \cdot 0,4^2}{1000^2} = 1,85 \text{ мОм}. \quad (3.13)$$

Реактивна складова опору трансформатора цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

$$x_T = \frac{5,5}{1000} \frac{0,4^2}{1000} = 8,76 \text{ мОм}. \quad (3.14)$$

Активний і індуктивний опори мережі живлення для цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$R_M = 4 \text{ мОм}, \quad (3.15)$$

$$X_M = 1,50 \text{ мОм}. \quad (3.16)$$

Сумарні активний та індуктивний опори кола КЗ (з урахуванням опору кабелю від РП до пластинчастого живильника

$$\Sigma r = 1,85 + 4 + 10 = 44,7 \text{ мОм}, \quad (3.17)$$

$$\Sigma x = 8,76 + 1,50 + 0,97 = 13,48 \text{ мОм}. \quad (3.18)$$

Повний опір кола короткого замикання:

$$Z = \sqrt{44,7^2 + 13,48^2} = 46,7 \text{ мОм}, \quad (3.19)$$

Максимальний трифазний струм короткого замикання в точці підключення пластинчастого живильника:

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 46,7} = 4,94 \text{ кА}. \quad (3.20)$$

Мінімальна необхідна площа поперечного перерізу кабелю за умови термічної стійкості при дії струму КЗ протягом допустимого часу відключення $t_{\text{доп}} = 0,25 \text{ с}$ визначається за формулою:

$$F_{\text{min}} = \frac{4,94 \cdot \sqrt{0,25}}{88} = 28,04 \text{ мм}^2 < 35 \text{ мм}^2. \quad (3.21)$$

Виходячи з комплексного аналізу втрат напруги та термічної стійкості, для живлення пластинчастого живильника використовуємо кабель ВВГнг-LS (5×35).

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Завдяки використанню сучасного програмного забезпечення для автоматизації та інженерних інструментів можна досягти високоточної та ефективної конструкції системи електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Комплексний підхід до проєктування, який поєднує математичне моделювання, комп'ютерну візуалізацію та інженерний аналіз, дозволяє мінімізувати ризики помилок на етапі будівництва та експлуатації об'єкта.

Для визначення прогнозованої споживаної потужності електроприймачів у дробильно-сортувальному цеху було створено спеціалізовану розрахункову таблицю в MS Excel. Ця таблиця дозволяє розрахувати загальну потужність, струм та коефіцієнт навантаження електромережі. Розрахункова модель включає в себе врахування коефіцієнтів попиту, коефіцієнтів потужності та одночасності роботи електроприймачів, що забезпечує максимально наближені до реальних умов результати. Графічне представлення результатів розрахунку показано на рисунках 4.1 - 4.3.

Для визначення необхідної кількості світильників ДПП0-75-54 та визначення рівнів освітлення в робочій зоні дробильно-сортувального цеху ми використовували професійне програмне забезпечення DIALux. Програмний комплекс DIALux дозволяє не лише розрахувати кількість світильників, а й проаналізувати рівномірність розподілу світлового потоку, виявити зони з недостатньою або надмірною освітленістю, а також оцінити показники засліплення та колірного рендерингу. Результати візуалізації та розрахунку, отримані за допомогою DIALux, показано на рисунках 4.4 - 4.11.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бороненко Д.О.				Проектування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	67	10
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затверд.	Волинець В.І.							

Вихідні дані							Розрахункові величини			Ефективна кількість приймачів $m = (\Sigma P_0) / \Sigma \text{пр}^2$	Коef. Розрахункового (максимального) навантаження, $K_{\Sigma Kp}$	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, А $I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$
згідно із завданням технологів				за довідниковими даними			$K_{\Sigma P}$	$K_{\Sigma R_{\text{ф}}}$	пр^2			активна, кВт $P_p = K_{\Sigma} \Sigma K_{\Sigma P}$	реактивна, квар** $Q_p = \Sigma K_{\Sigma R_{\text{ф}}} \text{при } n \leq 10;$ $Q_p = \Sigma K_{\Sigma R_{\text{ф}}} \text{при } n > 10$	повна, кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
Найменування електроприймачів	Кіл. електроприймачів, шт. * n	Номинальна (встановлена) потужність, кВт*		Коef. використ., $K_{\Sigma Kp}$	коef. реактивної потужності										
		одного приймача, рн	загальна $R_n = \text{пр}n$		cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Щит силовий ЩС1															
Шокова дробарка	2	9,6	19,2	0,14	0,65	1,2	2,7	3,1	184,3			9,6	11,2	14,8	22,4
Роторна дробарка	4	4,4	17,6	0,14	0,65	1,2	2,5	2,9	77,4			4,4	5,1	6,8	10,3
Пластинастий живильник	6	47,9	287,4	0,20	0,85	0,6	57,5	35,1	13766,5			47,9	29,2	56,1	85,3
Всього по ЩС	12	324,2	324,2	0,19	0,84	0,66	62,6	41,1	14028,2	7,5	2,1	128,6	45,2	136,3	207,1

Рисунок 4.1 – Розрахунок ЩС1 дробильно-сортувального цеху

Вхідні дані							Розрахункові величини			Ефективна кількість приймачів	Коеф. Розрахункового (максимального) навантаження, Коеф.а	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, А
згідно із завданнями технологів				за довідниковими даними			К _{аР_а}	К _{аР_{аР}φ}	n _{Р_а} ²	n _{Р_а} = (ΣP _{аР}) ² / ΣP _{аР} ²		активна, кВт P _Р = K _а ΣK _{аР_а}	реактивна, квар** Q _Р = 1,1 ΣK _{аР_а} φ _Р при n _{Р_а} ≤ 10; Q _Р = ΣK _{аР_а} φ _Р при n _{Р_а} > 10	повна, кВА S _Р = √P _Р ² + Q _Р ²	
Найменування електроприймачів		Кіл. електроприймачів, шт. * n	Номінальна (встановлена) потужність, кВт* одного приймача, Р _{н_Р} загальна Р _{н_Р} при	Коеф. використання, К _{в_Р}	коєф. реактивної потужності cosφ tgφ										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Щит силовий ЩС2															
Вибірчий живильник	2	8,7	17,4	0,20	0,65	1,2	3,5	4,1	151,4			8,7	10,2	13,4	20,3
Пластичастий живильник	1	47,9	47,9	0,20	0,85	0,6	9,6	5,8	2294,4			47,9	29,2	56,1	85,3
Вибірчий грохот	2	1,3	2,6	0,20	0,65	1,2	0,5	0,6	3,4			1,3	1,5	2,0	3,0
Елеватор ковшовий	5	5,2	26,0	0,14	0,65	1,2	3,6	4,3	135,2			5,2	6,1	8,0	12,2
Всього по ЩС	10	93,9	93,9	0,18	0,76	0,86	17,2	14,8	2584,4	3,4	3,0	50,8	16,3	53,4	81,1

Рисунок 4.3 – Розрахунок ЩСЗ дробильно-сортувального цеху

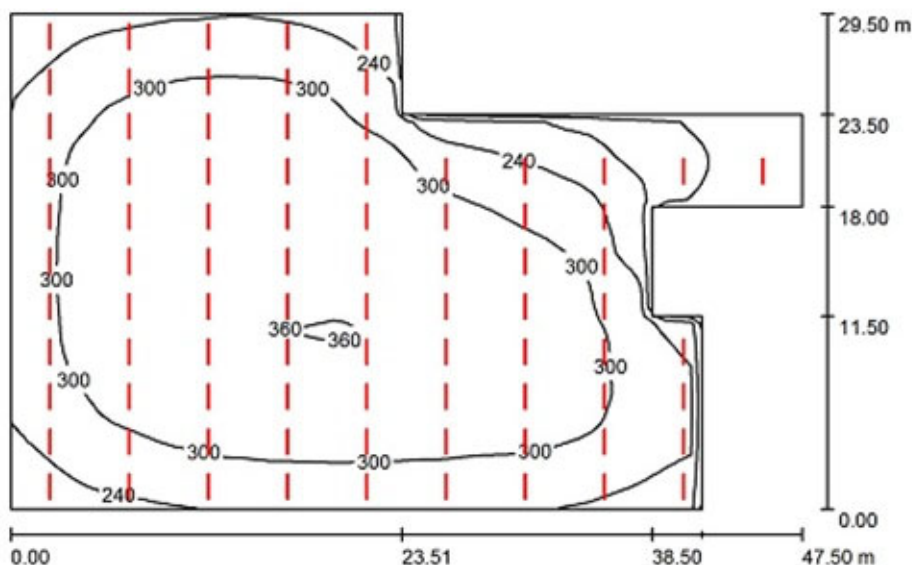
					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Оператор
Телефон
Факс

Электронная почта

Інструментальне відділення / Резюме



Высота помещения: 8.000 m, Монтажная высота: 8.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:379

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	290	76	362	0.262
Полы	20	280	75	353	0.269
Потолок	70	87	37	466	0.427
Стенки (10)	50	180	43	502	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 m

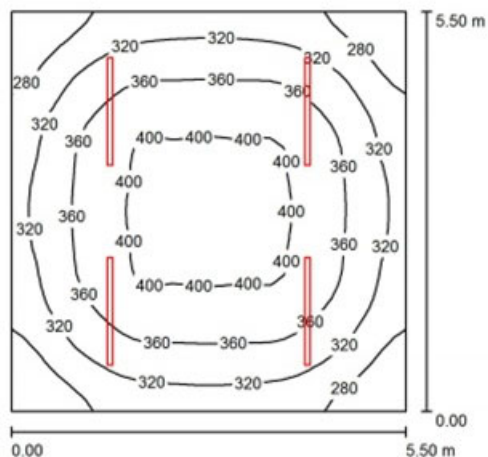
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	85	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			514219	514250	4250.0

Удельная подсоединенная мощность: $3.76 \text{ W/m}^2 = 1.30 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 1129.77 m^2)

Рисунок 4.4 – Освітлення інструментальної кімнати

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата


Приміщення обслуговуючого персоналу / Резюме


Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	344	239	409	0.695
Полы	20	287	208	340	0.725
Потолок	70	133	95	460	0.712
Стенки (4)	50	243	138	407	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
 Растр: 32 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			24199	24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.61 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.26 m^2)

Рисунок 4.5 – Освітлення кімнати відпочинку обслуговуючого персоналу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЛНТУ.971033.000 ПЗ

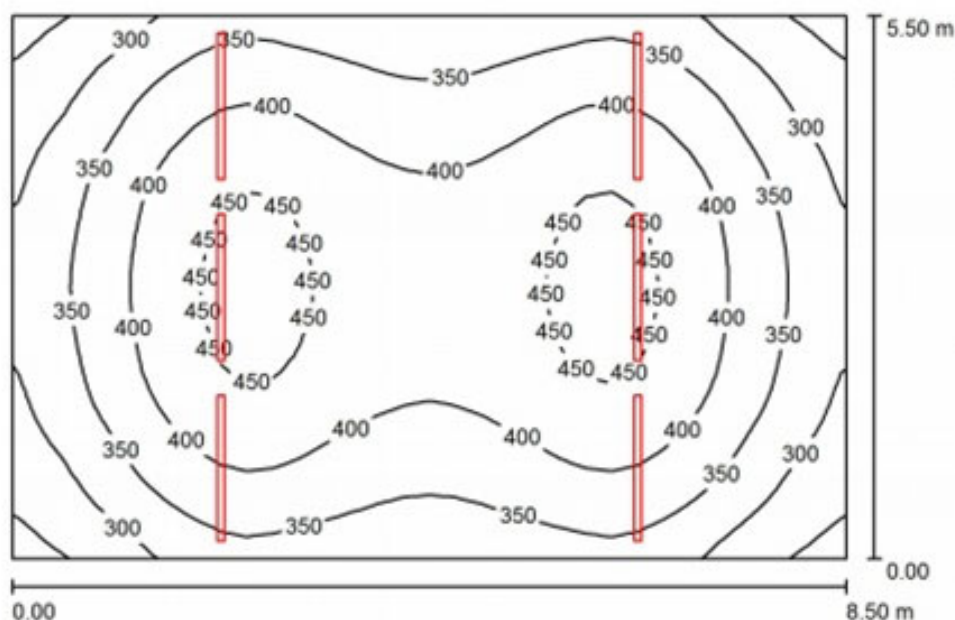
Арк.

70



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Агрегатна / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	376	241	466	0.641
Полы	20	323	234	380	0.725
Потолок	70	130	85	498	0.652
Стенки (4)	50	254	147	1242	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	6	ТОВ ОСП "Корпорация Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			36298	36300	300.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.42 \text{ W/m}^2 = 1.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 46.76 m^2)

Рисунок 4.6 – Освітлення компонентів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЛНТУ.971033.000 ПЗ

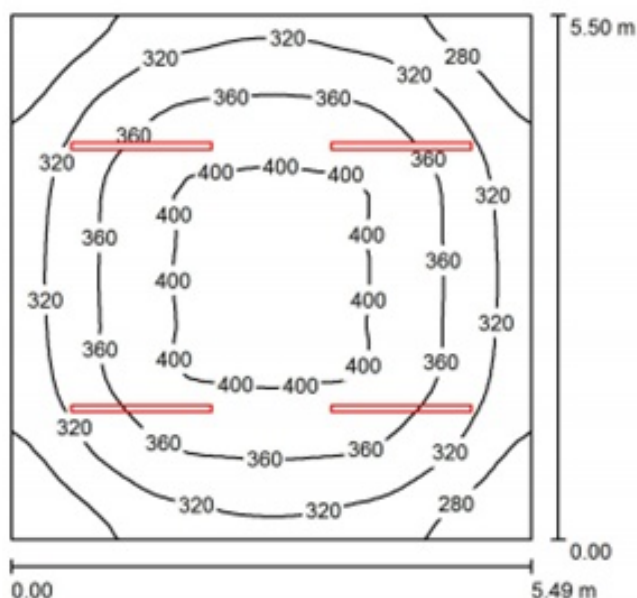
Арк.

71



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Побудівка / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	344	239	410	0.694
Полы	20	288	210	340	0.731
Потолок	70	133	95	460	0.712
Стенки (4)	50	244	137	408	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

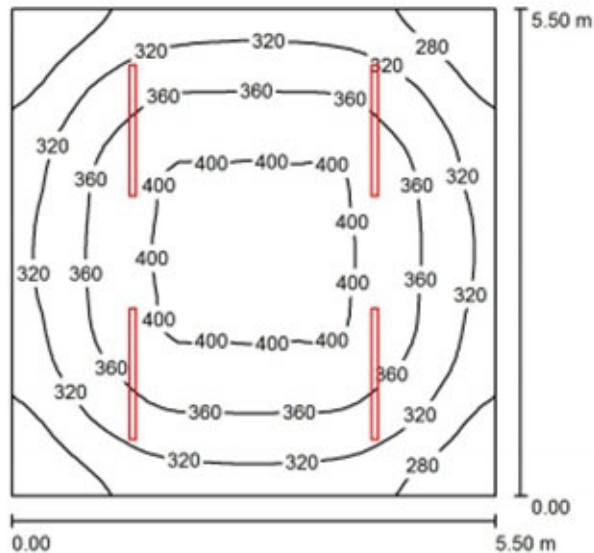
№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
			Всего: 24199	Всего: 24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.62 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.21 m^2)

Рисунок 4.7 – Освітлення кімнати обладнання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Склад запасных частей / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:7

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	344	239	409	0.69
Полы	20	288	209	340	0.72
Потолок	70	134	96	460	0.71
Стенки (4)	50	244	137	407	

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
 Растр: 32 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

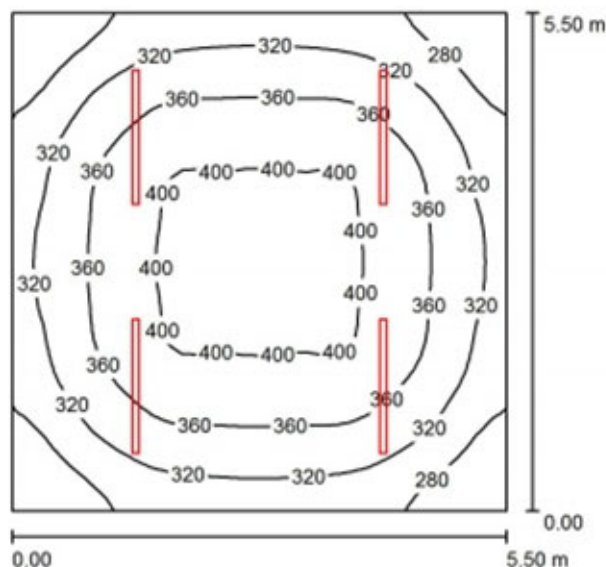
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			24199	24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.61 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.25 m^2)

Рисунок 4.8 – Освітлення складу запасних частин

Начальник зміни / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	344	239	409	0.694
Полы	20	287	209	340	0.725
Потолок	70	134	95	460	0.712
Стенки (4)	50	244	139	409	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
 Растр: 32 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

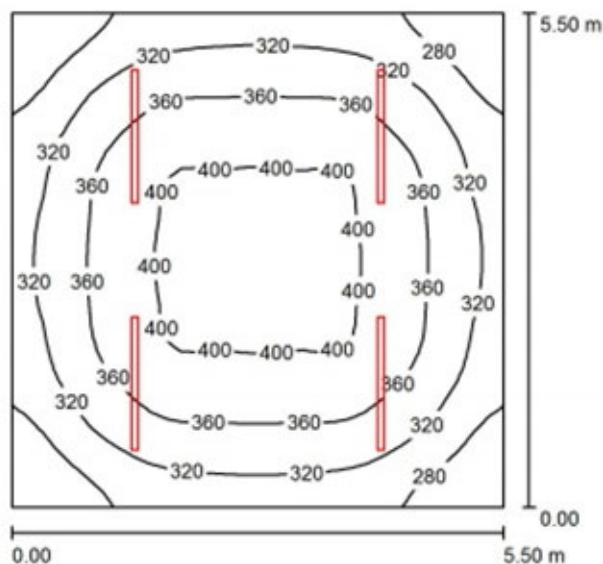
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			24199	24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.61 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.26 m^2)

Рисунок 4.9 – Освітлення кабінета чергового керівника

Ремонтна ділянка / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	344	239	409	0.694
Полы	20	288	209	340	0.725
Потолок	70	134	96	460	0.717
Стенки (4)	50	244	137	407	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

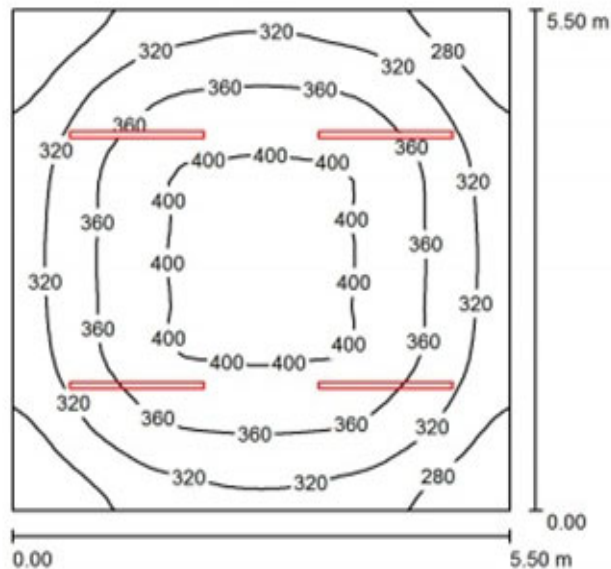
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			24199	24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.61 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.25 m^2)

Рисунок 4.10 – Освітлення зони технічного обслуговування

Щитова / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	344	239	409	0.694
Полы	20	288	216	340	0.749
Потолок	70	134	97	459	0.723
Стенки (4)	50	244	139	407	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
 Растр: 32 x 32 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	ТОВ ОСП "Корпорація Ватра ДПП07В-50-323 УХЛ4 (1.000)	6050	6050	50.0
Всего:			24199	24200	200.0

Удельная подсоединенная мощность: $6.61 \text{ W/m}^2 = 1.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 30.25 m^2)

Рисунок 4.11 – Освітлення розподільного щита

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

В додатку Ч документа наведено методику розрахунку заземлювальних пристроїв промислових електроустановок. В електроустановках дробильно-сортувального цеху, що належать до промислових об'єктів з підвищеними вимогами електробезпеки, якщо не використовується природне заземлення через наявні металоконструкції чи інженерні комунікації, опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 10 Ом згідно з чинними нормами електробезпеки.

Вихідні дані для розрахунку:

- тип ґрунту — подвійний шар (верхній шар змінної товщини та нижній шар з іншими електричними властивостями);
- питомий опір верхнього ґрунту $\rho_1 = 52 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- питомий опір нижнього ґрунту $\rho_2 = 84 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- ширина сталевого кронштейна (горизонтального з'єднувача) – 45 мм;
- кліматична зона – 2 (помірний клімат з помірним зволоженням та сезонними коливаннями температури).

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних та вертикальних заземлювальних провідників визначається з урахуванням коефіцієнтів сезонних коливань

$$\rho_p = \frac{52 \cdot 1,25 \cdot 84 \cdot 4}{52 \cdot 1,25 \cdot (4 - 1,05 + 0,73) + 84 \cdot (1,05 - 0,73)} = 27,4 \text{ Ом}\cdot\text{м}. \quad (0.1)$$

Опір одного вертикального заземлювального провідника (кутника) розраховується за формулою для одиночного вертикального електрода, введеного в двошаровий ґрунт:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Бороненко Д.О.				Проектування електропостачання цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	77	3
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, ар. ЕЕ-42		
Затверд.	Волинець В.І.							

$$r_B = \frac{0,366 \cdot 27,4}{4} \left(\lg \frac{2 \cdot 4}{0,95 \cdot 0,045} + \lg \frac{4 \cdot 2,73 + 4}{4 \cdot 2,73 - 4} \right) = 6,1 \text{ Ом.} \quad (0.2)$$

Орієнтовна кількість вертикальних електродів визначається без урахування взаємного екранування електродів, що дає завищене значення:

$$n_{\text{пр}} = \frac{6,1}{10 \cdot 0,73} = 0,93 \text{ шт,} \quad (0.3)$$

Оскільки кількість електродів не може бути дробовою та має бути не менше трьох для забезпечення механічної міцності та надійності конструкції, округлюємо до 3 штук.

Орієнтовна довжина горизонтального провідника, що з'єднує вертикальні електроди у замкненому контурі або лінійно, визначається залежно від кількості електродів та відстані між ними:

$$\ell_r = (3 - 1) \cdot 4 = 8,0 \text{ м.} \quad (0.4)$$

Опір горизонтального заземлювального провідника (сталевий смуги), що проходить на глибині 0,73 м

$$r_r = \frac{0,366 \cdot 3,4 \cdot 52}{8,0 \cdot 0,28} \cdot \lg \frac{8,0^2}{0,045 \cdot 0,73} = 95,46 \text{ Ом.} \quad (0.5)$$

Загальний опір заземлювального пристрою з урахуванням паралельного з'єднання вертикальних електродів та горизонтальної з'єднувальної смуги визначається за формулою еквівалентного опору паралельної кола:

$$R = \frac{10 \cdot 95,46 / 0,28}{95,46 / 0,28 - 10} = 9,2 \text{ Ом.} \quad (0.6)$$

Уточнена кількість вертикальних заземлювальних провідників, необхідна після врахування з'єднувальної смуги та її екрануючого впливу, розраховується за формулою:

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата.		

$$n = \frac{6,1}{9,2 - 0,73} = 0,91 \text{ шт.} \quad (0.7)$$

Приймаємо остаточно до встановлення 3 вертикальні заземлювальні провідники, що забезпечують необхідний опір заземлювального пристрою не більше 10 Ом з необхідним запасом надійності. На рисунку 5.1 наведено схему розташування заземлювального пристрою на території дробильно-сортувального цеху з позначенням місць установки вертикальних електродів та траси горизонтального з'єднувача.

Рисунок 5.1 — Розташування заземлюючого пристрою для дробильно-сортувального цеху

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата.		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У рамках даного кваліфікаційного проекту було виконано комплексний розрахунок електричного та освітлювального навантаження для дробильно-сортувального цеху, а також цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт. Після розрахунку навантажень було прийнято рішення про встановлення трансформаторної підстанції з двома агрегатами загальною номінальною потужністю 1000кВА, що забезпечує необхідний запас потужності та можливість резервування. Додатково передбачено встановлення двох трансформаторів автоматичного регулювання напруги УКРМ 0,4-240 для підтримання стабільності напруги на шинах 0,4 кВ при зміні режимів роботи технологічного обладнання.

Оскільки центр електричного навантаження цементного заводу встановленою потужністю 2150 кВт локалізувався в зоні з високою щільністю розміщення технологічних комунікацій та будівель, ТП було перенесено в незайняту зону з дотриманням усіх норм протипожежної безпеки та електробезпеки. Для живлення цементного заводу від трансформаторної підстанції до головних розподільчих щитів цеху застосовано силовий кабель типу АСБ-10 3×35.

Для дробильно-сортувального цеху реалізовано сучасну систему розподілу електричної енергії з використанням розподільчих пунктів моделі ПР11-3078, оснащених автоматичними вимикачами серії SAB-250-KRS-3P-, які забезпечують надійний захист від перевантажень та коротких замикань. Внутрішньоцехова електромережа виконана кабелями типу ВВГнг-LS.

Окремим розділом проекту став детальний розрахунок живлення пластинчастого живильника. Привід гідравлічного агрегату реалізовано на базі асинхронного трифазного двигуна АИР 160М4 з номінальною потужністю 18,5 кВт, тоді як приводи механізмів пуансона та матричного насоса комплектуються електродвигунами номінальною потужністю 15 кВт кожен. Усі зазначені двигуни оснащені магнітними пускатими типу FC-1/40А з вбудованими тепловими реле захисту. Для комплексного захисту живлення пластинчастого живильника обрано автоматичний вимикач SAB-160-KRS-3P-100А. Живлення механізму здійснюється через кабель ВВГнг-LS 5×35..

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата.		

Розрахунки системи штучного освітлення дробильно-сортувального цеху виконано з використанням спеціалізованого програмного комплексу DIALux. За результатами світлотехнічних розрахунків для забезпечення нормованої освітленості робочих зон обрано 106 світильників промислового типу ДПП0-75-54 з високоефективними світлодіодними джерелами світла.

Для реалізації заземлювального пристрою дробильно-сортувального цеху прийнято рішення про використання 3-х вертикальних заземлювальних стрижнів довжиною 4 метрів кожен, заглиблених у ґрунт на глибину 0,73 метра від поверхні землі. Заземлювальні електроди розташовані на відстані 4 метрів один від одного. Вертикальні електроди виконано квадратного перерізу зі стороною 45 мм зі сталі з оцинкованим покриттям для підвищення корозійної стійкості. З'єднання між вертикальними електродами та заземлювальними шинами виконано стрічковими електродми шириною 45 мм методом контактного зварювання.

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата.		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Давиденко В. А., Євсюк М. М. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум : навч. посіб. Луцьк : Відділ іміджу та промоцій ЛНТУ, 2022. 244 с.

2. DIALux: веб-сайт. <https://www.dial.de/en/dialux/>

3. Правила улаштування електроустановок: затв. наказом М-ва енергетики та вугільної промисловості України від 21 лип. 2017 р. №476. Вид. офіційне. Київ, 2017. 617 с.

4. Силові автомати : каталог продукції ІЕК: веб-сайт. URL: <https://electrocontrol.com.ua/avv/iek> .

5. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

6. Кабель АВВГ, АВВГнг, АВВГп : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/avvg-avvgng-kabel-silovoy>.

7. Кабель Кабель АВББШв (нг, нгд) : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/avbbshv-ng-ngd-kabel-silovoy-bronya> .

					ЛНТУ.971033.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата.		