

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 заводу оптичних
приладів встановленою потужністю 1147 кВт**

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-42

Козак Дмитро Богданович

(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

Козак Д.Б. Проєктування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 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 заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 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

Kozak D. Design of power supply for an optical instrument factory with an installed capacity of 1147 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 optical instrument factory with an installed capacity of 1147 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 ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ	13
2.1. Розрахунок електричного навантаження електрообладнання напругою 0,4 кВ.....	13
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень	15
2.2.1. Розрахунок внутрішнього освітлення.....	15
2.2.2. Розрахунок зовнішнього освітлення	22
2.3. Розрахунок повного навантаження на стороні низької напруги.....	23
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення розрахункового центру електричних навантажень	24
2.5. Вибір кількості та номінальної потужності цехових трансформаторів	27
2.6. Заходи з компенсації реактивної потужності для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт	32
2.7. Визначення електричних навантажень на стороні високої напруги системи розподілу електроенергії.....	34
2.8. Вибір схеми електропостачання підприємства	35
2.8.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання	35
2.8.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання	39
2.9. Розрахунок струмів короткого замикання	42
2.10. Вибір комутаційно-захисної та вимірювальної апаратури	45
2.10.1. Вибір та перевірка комірок вимикачів навантаження	45
2.10.2. Вибір та перевірка вимикачів навантаження.....	46
2.10.3. Вибір та перевірка високовольтних запобіжників	47
2.10.4. Вибір розподільчого пристрою низьковольтної підстанції	48

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Козак Д.Б.			Проектування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Гадай А.В.				Д	6	114	
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42			
Затверд.		Волинець В.І.							

2.11. Розрахунок системи низьковольтного електропостачання цеху механічної обробки металевих деталей.....	49
2.11.1. Обґрунтування та вибір конфігурації розподільчої мережі цеху.....	49
2.11.2. Проектування та вибір елементів освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей.....	51
2.11.3. Розрахунок струмів короткого замикання	55
2.12. Вибір та перевірка низьковольтного комутаційного обладнання.....	56
2.12.1. Перевірка кабелів на термічну стійкість кабельної продукції.....	56
2.12.2. Вибір та перевірка розподільчого щита внутрішньоцехової електромережі	57
2.12.3. Вибір автоматичних вимикачів для захисту цехової мережі.....	58
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	61
3.1. Визначення розрахункової потужності та обґрунтування вибору вентиляційного обладнання.....	61
3.2. Розрахунок і вибір апаратів схеми керування.....	63
3.3. Розрахунок мережі живлення вентиляційної установки.....	64
РОЗДІЛ 4 САПР.....	68
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	75
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	79
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудівної та приладобудівної галузей промисловості України характеризується ускладненням технологічних процесів та підвищенням вимог до якості й надійності електропостачання. Особливо це стосується підприємств оптичного приладобудування, де навіть короточасні порушення живлення можуть призводити до браку продукції, виходу з ладу високоточного обладнання та невиправданих економічних втрат.

Метою даного кваліфікаційного проекту є розробка системи електропостачання заводу оптичних приладів, яка забезпечить безперебійне та безпечне функціонування всього комплексу електроприймачів за умов нормальної та аварійної експлуатації.

Об'єктом дослідження у проекті є система електропостачання промислового підприємства – заводу оптичних приладів, а предметом – закономірності розподілу електричних навантажень, методи компенсації реактивної потужності, алгоритми вибору захисно-комутаційного обладнання та параметри електробезпеки.

Структурно кваліфікаційний проект складається із вступу, п'яти розділів (електропостачання, електричні навантаження та компенсація, вибір апаратури, розрахунок струмів КЗ, проектування системи керування фасувальним автоматом, системи автоматизованого проектування (САПР) та електробезпека), висновків, переліку посилань та графічної частини.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні комплексного підходу до сумісного вибору компенсувальних пристроїв, трансформаторів та комутаційної апаратури для підприємств з характерними для оптичної промисловості режимами роботи – наявністю тривалого технологічного циклу, чутливістю до відхилень напруги та високі вимоги до безперервності живлення.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

На заводі оптичних приладів займаються виробництвом лінз (сферичних та асферичних), призм, дзеркал, пластин; обробкою скла, оптичної кераміки; нанесенням спеціальних просвітлюючих, відбиваючих покриттів, а також виготовленням спектральних світлофільтрів.

Завод оптичних приладів має номінальну встановлену потужність 1147 кВт. Його електрообладнання включає виробниче, випробувальне та калібрувальне обладнання; системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря; освітлення; системи стисненого повітря; а також обладнання офісних та допоміжних приміщень. Розрахункова напруга для вищезгаданого електрообладнання становить 380/220 В.

За надійністю електропостачання електрообладнання заводу оптичних приладів поділяється на три категорії: категорія I — 7%, категорія II — 33% та категорія III — 60%.

Завод оптичних приладів отримує живлення від розподільчого пункту, розташованого за 1,24 км. Потужність трифазного короткого замикання на шинах джерела становить 42 МВА. Завод оптичних приладів може отримувати реактивну потужність 125 кВАр.

Встановлена потужність кожної будівлі заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт наведена в таблиці 1.1. На рисунку 1.1 показано загальний генеральний план будівель.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Козак Д.Б.				Проекткування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	9	4
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затверд.	Волинець В.І.							

Таблиця 1.1 – Потужність будівель на заводі оптичних приладів

№ з/п	Назва будівлі	Потужність обладнання, кВт
1	Цех гальванічних покриттів	90
2	Цех механічної обробки металевих деталей	204
3	Інструментальний цех	124
4	Цех лиття пластикових деталей	181
5	Цех точної механіки	47
6	Цех полірування оптичних деталей	84
7	Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	36
8	Цех нанесення покриттів	67
9	Цех випробувань готової продукції	223
10	Цех шліфування скла	90
	Всього	1147

Рисунок 1.1 – Генеральний план заводу оптичних приладів

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність обладнання приймачів у цеху механічної обробки металевих деталей показано в таблиці 1.2. План приймачів на відмітці 0м цеху механічної обробки металевих деталей показано на рисунку 1.2

Таблиця 1.2 – Потужність обладнання приймачів у цеху механічної обробки металевих деталей

№ на плані	Назва обладнання	Номінальна потужність, кВт
1	2	3
1	Наждаковий верстат НУ-5	1,72
2	Токарний напівавтомат GER-4	13,2
3	Вертикально-свердлильний верстат J789	4,8
4	Круглошліфувальний верстат MGA97	3,2
5	Вентилятор ЈОН-468	2,9
6	Карусельно-фрезерний верстат GA-G	6,5
7	Поздовжньо-фрезерний верстат OAG-KO	16,1
8	Агрегатний горизонтально-свердлильний верстат OJG-90	11
9	Агрегатний вертикально-свердлильний верстат JIG-9	8,4
10	Загартувальна установка JOIH--31	10,3
11	Вертикально-протяжний верстат IJG-5	9
12	Горизонтально-розточувальний верстат AS-8	11,3
13	Шліфувально-обдирочний верстат Jfw-7	2,6
14	Клепальна машина J-K5	3,2

Г

Рисунок 1.2 –План приймачів на відмітці 0м цеху механічної обробки металевих деталей

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок електричного навантаження електрообладнання напругою 0,4 кВ

Економічна доцільність є основною умовою функціонування сучасної системи електропостачання, причому досягнення цієї доцільності безпосередньо пов'язане з коректністю обчислення електричного навантаження. Для виконання цього завдання скористаємося «методом упорядкованих діаграм», поданим у додатку А [1]. Сумарна встановлена потужність обладнання першої групи в цеху механічної обробки металевих деталей при змінному графіку навантаження визначається за формулою:

$$P_H = 3 \cdot 1,7 + 3 \cdot 13,2 + 2 \cdot 4,8 + 2 \cdot 3,2 = 60,8 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

Ефективне число електроприймачів першої групи в цеху механічної обробки металевих деталей:

$$n_{\text{ef}} = \frac{60,8^2}{3 \cdot 1,7^2 + 3 \cdot 13,2^2 + 2 \cdot 4,8^2 + 2 \cdot 3,2^2} = 6,17. \quad (2.2)$$

Середнє навантаження для першої групи цеху механічної обробки металевих деталей становить:

- активна потужність

$$P_{\text{ср.зм.}} = 0,20 \cdot 3 \cdot 1,7 + 0,20 \cdot 3 \cdot 13,2 + 0,50 \cdot 2 \cdot 4,8 + 0,35 \cdot 2 \cdot 3,2 = 15,99 \text{ кВт,} \quad (2.3)$$

- реактивна потужність

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Козак Д.Б.				Проекткування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	13	48
Н. контр.	Вашелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затверд.	Волинець В.І.							

$$Q_{\text{ср.зм.}} = 0,20 \cdot 3 \cdot 1,7 \cdot 1,02 + 0,20 \cdot 3 \cdot 13,2 \cdot 1,02 + 0,50 \cdot 2 \cdot 4,8 \cdot 0,75 + 0,35 \cdot 2 \cdot 3,2 \cdot 1,52 =$$

$$= 16,13 \text{ кВАр.}, \quad (2.4)$$

$n_{\text{эф}}=6,17$ що менше за 10, то розрахункове реактивне навантаження для першої групи в цеху механічної обробки металевих деталей обчислюють таким чином:

$$Q_{\text{р.зм.}} = 1,1 \cdot 16,13 = 17,75 \text{ кВАр.} \quad (2.5)$$

Для споживачів першої групи цеху механічної обробки металевих деталей, які функціонують у режимі тривалого навантаження, визначено

$$P_{\text{ср.пост.}} = 0,65 \cdot 2 \cdot 2,9 = 3,77 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ср.пост.}} = 0,65 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 0,75 = 2,83 \text{ кВАр.}$$

Загальна розрахункова потужність першої групи електроприймачів у цеху механічної обробки металевих деталей

$$P_{\text{р.}} = 31,18 + 3,77 = 34,95 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.}} = 17,75 + 2,83 = 20,58 \text{ кВАр.}$$

Результати обчислення електричних навантажень для електроприймачів цеху механічної обробки металевих деталей зведено в таблицю 2.1.

Аналогічну методику розрахунку застосовано для всіх об'єктів заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Отримані дані наведено в таблиці 2.2.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричного навантаження для заводу оптичних приладів

Назва об'єкту	$P_{ном}$, кВт	P_{cp} , кВт	Q_{cp} , кВАр	P_m , кВт	Q_m , кВАр	S_m , кВА
1	2	3	4	5	6	7
Цех гальванічних покриттів	90	27,12	20,3	27,12	20,3	33,9
Цех механічної обробки металевих деталей	204	40,8	30,6	40,8	30,6	51,0
Інструментальний цех	124	49,4	37,1	49,4	37,1	61,8
Цех лиття пластикових деталей	181	54,27	40,7	54,27	40,7	67,8
Цех точної механіки	47	9,48	7,1	9,48	7,1	11,9
Цех полірування оптичних деталей	84	33,52	25,1	33,52	25,1	41,9
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	36	7,28	5,5	7,28	5,5	9,1
Цех нанесення покриттів	67	13,46	10,1	13,46	10,1	16,8
Цех випробувань готової продукції	223	66,84	50,1	66,84	50,1	83,6
Цех шліфування скла	90	18,08	13,6	18,08	13,6	22,6
Разом	1147	320,3	240,2			400,3

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок внутрішнього освітлення

Економічна доцільність сучасної системи електропостачання визначається крім усього коректністю обчислення освітлювальних навантажень. Проектне

Таблиця 2.1 – Навантаження силових електроприймачів цеху механічної обробки металевих деталей

Назва електроприймачів	n , шт.	Номінальна потужність, кВт		K _B	cosφ	tgφ	P _{зм} , кВт	Q _{зм} , кВАр	n _e	K _м	P _м , кВт	Q _м , кВАр	S _м , кВА
		одного	загальн а										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Група 1													
Приймачі із змінним графіком навантаження													
Наждаковий верстат НУ-5	3	1,7	5,2	0,20	0,70	1,02	1,03	1,05	-	-	-	-	-
Токарний напівавтомат GER-4	3	13,2	39,6	0,20	0,70	1,02	7,92	8,08	-	-	-	-	-
Вертикально-свердлильний верстат J789	2	4,8	9,6	0,50	0,80	0,75	4,80	3,60	-	-	-	-	-
Круглошліфувальний верстат MGA97	2	3,2	6,4	0,35	0,55	1,52	2,24	3,40	-	-	-	-	-
Всього для приймачів із змінним графіком навантаження	10	–	60,8	0,26	-	-	15,99	16,13	6,17	1,95	31,18	17,75	35,88
Приймачі з постійним графіком навантаження													
Вентилятор ЈОН-468	2	2,9	5,8	0,65	0,80	0,75	3,77	2,83	-	-	-	-	-
Всього для приймачів із постійним графіком навантаження	2	–	5,8	0,65	0,80	0,75	3,77	2,83	-	-	3,77	2,83	4,71
Всього група 1	10	-	66,6		-	-	19,76	18,96	-	-	34,95	20,58	40,59
Група 2													
Приймачі із змінним графіком навантаження													

Продовження таблиці 2.1

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Горизонтально-розточувальний верстат AS-8	2	11,3	22,6	0,20	0,70	1,02	4,52	4,61	-	-	-	-	-
Шліфувально-обдирочний верстат Jfw-7	2	2,6	5,2	0,20	0,70	1,02	1,04	1,06	-	-	-	-	-
Клепальна машина J-K5	2	3,2	6,4	0,45	0,60	1,33	2,88	3,84	-	-	-	-	-
Всього для приймачів із змінним графіком навантаження	8	–	52,20	0,25	-	-	12,94	14,77	6,04	2,02	26,08	16,25	30,72
Всього група 3	8	-	52,20		-	-	12,94	14,77	-	-	26,08	16,25	30,72

рішення щодо освітлення розроблено згідно з методичними рекомендаціями, наведеними у додатку Б.

Для виробничої зони заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт передбачено застосування світильників із люмінесцентними та світлодіодними джерелами світла. На допоміжних ділянках змонтовано виключно світлодіодні освітлювальні прилади. У виробничих приміщеннях організовано системи «загального та комбінованого освітлення» відповідно до вимог [1].

Живлення світильників загального освітлення здійснюється від мережі 0,22 кВ. Для систем місцевого освітлення, з міркувань електробезпеки, застосовано знижувальні трансформатори з вихідною напругою 36 В.

У цеху механічної обробки металевих деталей освітлювальну схему на базі світильників ESSYSTEM 518 INDUSTRIA . Необхідну кількість освітлювальних приладів визначено шляхом імітаційного моделювання у спеціалізованому програмному комплексі DIALux (детальні результати наведено у Розділі 4). Планувальне рішення розташування світильників ESSYSTEM 518 INDUSTRIA в цеху механічної обробки металевих деталей проілюстровано на рисунку 2.1.

Рисунок 2.1 – План освітлення цеху механічної обробки металевих деталей

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна встановлена потужність зазначених світильників ESSYSTEM 518 INDUSTRIA становить:

$$P_{н.о} = 32 \cdot 90 = 2880 \text{ Вт.}, \quad (2.6)$$

Розрахункове середнє активне навантаження для даної групи світильників ESSYSTEM 518 INDUSTRIA :

$$P_{p.o} = 2880 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 2419 \text{ Вт.}$$

Розрахункове середнє реактивне навантаження світильників ESSYSTEM 518 INDUSTRIA :

$$Q_{p.o} = 2419 \cdot 0,33 = 798 \text{ ВАр.} \quad (2.7)$$

Розрахунок сумарного освітлювального навантаження для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт виконано з використанням «методу питомої потужності» згідно з [1] та додатком В.

Активна потужність освітлювальних установок складального цеху:

$$P_{с.н.о} = 18 \cdot 580 = 10,4 \text{ кВт.} \quad (2.8)$$

Розрахункова кількість світильників у складальному цеху:

$$n = \frac{10,4 \cdot 10^3}{160} = 66 \text{ шт.} \quad (2.9)$$

Фактична загальна встановлена потужність світильників у складальному цеху:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{н.о} = 66 \cdot 160 = 10,56 \text{ кВт.} \quad (2.10)$$

Розрахункове середнє активне навантаження освітлення складального цеху:

$$P_{p.o} = 10,56 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 9,3 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Розрахункове середнє реактивне навантаження освітлення складального цеху:

$$Q_{p.o.} = 9,3 \cdot 0,33 = 3,1 \text{ кВАр.} \quad (2.12)$$

Підсумкові результати обчислень освітлювальних навантажень для заводу оптичних приладів систематизовано у таблиці 2.3.

Обчислення для заводу оптичних приладів вказано у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Зведені дані розрахунку освітлювального навантаження заводу оптичних приладів

Назва об'єкта	Світильник	h_p , м	F, м ²	E, лк	ρ , Вт/м ²	P _{сн.о.} , кВт	n, шт	P _{п.о.} , кВт	P _{р.о.} , кВт	Q _{ро.} , кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Цех гальванічних покриттів	ПВЛМ-2×80	6	580	100	20	10,4	66	10,56	9,3	3,1
Цех механічної обробки металевих деталей	ПВЛМ-2×80	6	540	100	8	9,7	61	9,76	8,6	2,8
Інструментальний цех	ПВЛМ-2×80	6	1060	100	12	15,9	100	16,00	14,1	4,6
Цех лиття пластикових деталей	ПВЛМ-2×80	6	1150	150	15	17,3	108	17,28	15,2	5,0
Цех точної механіки	ПВЛМ-2×80	6	1150	200	15	17,3	108	17,28	15,2	5,0
Цех полірування оптичних деталей	ПВЛМ-2×80	6	860	300	18	15,5	97	15,52	13,7	4,5
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	ПВЛМ-2×80	6	570	50	5,8	10,3	65	10,40	6,9	2,3

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						21

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Цех нанесення покриттів	ПВЛМ-2×80	4	150	150	5,8	3,0	19	3,04	2,7	0,9
Цех випробувань готової продукції	ESSYSTEM 518 INDUSTRIAL	6	140	100	8	2,8	18	2,88	2,5	0,8
Цех шліфування скла	ПВЛМ-2×80	3	560	300	12	10,1	63	10,08	10,0	3,3

2.2.2. Розрахунок зовнішнього освітлення

Для забезпечення нормативних рівнів освітленості території заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, передбачено використання світильників типу ПЗР-250 із газорозрядними лампами ДРЛ -250. Зазначені освітлювальні прилади формують світловий потік, який має забезпечити нормовану горизонтальну освітленість на рівні 2 люкс для проїжджої частини доріг і пішохідних тротуарів, з урахуванням геометрії розташування опор висотою 7 метрів, що дозволяє рівномірно охопити всі функціональні зони в межах промислового майданчика.

Розрахунок електричного навантаження зовнішнього освітлення виконується із застосуванням «методу питомої потужності» згідно з методикою, наведеною у додатку В.

Загальна площа території заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, що підлягає освітленню становить 34960 м². Розрахункове значення питомої потужності для даної категорії території приймається 0,4 Вт/м².

На підставі вихідних даних визначаємо сумарну розрахункову потужність освітлювальних установок:

$$P_{\text{от}} = 0,4 \cdot 34960 = 13,984 \text{ кВт.}$$

Звідси необхідна кількість світильників ПЗР-250 із лампами ДРЛ -250, округлена до цілого числа, складає:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						22

$$n = \frac{13,984 \cdot 10^3}{250} = 56 \text{ шт.}$$

Уточнена загальна встановлена потужність освітлювального обладнання:

$$P'_{от} = 56 \cdot 250 = 14 \text{ кВт.}$$

Середня споживана активна потужність системи зовнішнього освітлення з урахуванням втрат у пускорегулювальній апаратурі (коефіцієнт 1,1):

$$P_{ср.от} = 1 \cdot 14 \cdot 1,1 = 15,4 \text{ кВт,}$$

Відповідно, середня споживана реактивна потужність, з урахуванням коефіцієнта потужності

$$Q_{ср.от} = 0,33 \cdot 15,4 = 5,1 \text{ кВАр.}$$

Живлення світильників ПЗР-250 передбачено виконати від окремої лінії напругою 230 В, що відходить від розподільчого щита освітлення, розташованого на трансформаторній підстанції.

2.3. Розрахунок повного навантаження на стороні низької напруги

Забезпечення економічної ефективності проєктних рішень є пріоритетним критерієм для сучасної системи електропостачання промислового об'єкта. Досягнення цієї мети можливе лише за умови коректного та детермінованого визначення сумарного електричного навантаження на шинах 0,4 кВ, зокрема для відповідального споживача – складального цеху. Базисом для цього розрахунку слугує методика, викладена у додатку А.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повна розрахункова потужність на стороні низької напруги визначається як геометрична сума активних і реактивних складових навантажень окремих груп електроприймачів:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(27,1+9,3)^2 + (20,3+3,1)^2} = \sqrt{36,4^2 + 23,4^2} = 43,3 \text{ кВА.} \quad (2.13)$$

Результати узагальненого розрахунку навантажень для всього заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт зведено до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Зведені показники навантажень заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

Назва об'єкту	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$P_{\text{ср}}$, кВт	$Q_{\text{ср}}$, кВАр	$P_{\text{p}\Sigma}$, кВт	$Q_{\text{p}\Sigma}$, кВАр	$S_{\text{p}\Sigma}$, кВА
Цех гальванічних покриттів	90	27,1	20,3	36,4	23,4	43,3
Цех механічної обробки металевих деталей	204	40,8	30,6	49,4	33,4	59,6
Інструментальний цех	124	49,4	37,1	63,5	41,7	75,9
Цех лиття пластикових деталей	181	54,3	40,7	69,5	45,7	83,2
Цех точної механіки	47	9,5	7,1	24,7	12,1	27,5
Цех полірування оптичних деталей	84	33,5	25,1	47,2	29,6	55,7
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	36	7,3	5,5	14,1	7,7	16,1
Цех нанесення покриттів	67	13,5	10,1	16,1	11,0	19,5
Цех випробувань готової продукції	223	66,8	50,1	69,4	51,0	86,1
Цех шліфування скла	90	18,1	13,6	28,1	16,8	32,7
Разом	1147			418,3	272,4	499,2

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення розрахункового центру електричних навантажень

Визначальним критерієм техніко-економічної доцільності при розробці сучасних систем електропостачання виступає їхня економічна ефективність, практична реалізація якої безпосередньо залежить від обґрунтованого вибору

місця розташування головної знижувальної підстанції або пункту прийому електроенергії. З метою визначення оптимальної точки розміщення на етапі проектування формується картограма навантажень, побудова якої виконується згідно з методикою, наведеною у додатку Б.

Розрахунковий радіус кола, що відображає навантаження складального цеху на картограмі, визначається за наступним співвідношенням:

$$r_i = \sqrt{\frac{36,4}{\pi \cdot 1}} = 3,4 \text{ см.} \quad (2.14)$$

У таблиці 2.5 систематизовано результати розрахунків параметрів картограми навантажень для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт.

Таблиця 2.5 – Розрахунок картограми навантажень для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

Назва будівлі	X, м	Y, м	$P_{p\Sigma}X$, кВт·м	$P_{p\Sigma}Y$, кВт·м	r, см
Цех гальванічних покриттів	36	101	1347,3	3714,1	3,4
Цех механічної обробки металевих деталей	67	98	3358,4	4889,5	4,0
Інструментальний цех	140	110	10665	6919,3	4,5
Цех лиття пластикових деталей	168	106	11811	7295	4,7
Цех точної механіки	117	74	2838,9	1851,5	2,8
Цех полірування оптичних деталей	169	67	8020,2	2736,3	3,9
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	44	39	636,48	565,76	2,1
Цех нанесення покриттів	85	28	1355,4	467,92	2,3
Цех випробувань готової продукції	119	32	8186,2	2289,4	4,7
Цех шліфування скла	163	33	4601,7	954,01	3,0
Всього			48218	30729	

Розрахункові координати центра електричних навантажень (ЦЕН) заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт становлять

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$X = \frac{57177}{462,66} = \frac{48218}{418,3} = 115 \text{ м}, \quad (2.15)$$

$$Y = \frac{39549}{462,66} = \frac{48218}{418,3} = 73 \text{ м}. \quad (2.16)$$

Розміщення пункту прийому електроенергії (ТП) безпосередньо в розрахунковому центрі електричних навантажень для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт є технічно неможливим, оскільки зазначена зона просторово збігається з розташуванням існуючого виробничого корпусу. З огляду на це, виконано коригування місця приєднання з перенесенням ТП на вільну територію в безпосередній близькості від точки вводу живлення, що ілюструє рисунок 2.2.

Рисунок 2.2 – Картограма навантажень заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Вибір кількості та номінальної потужності цехових трансформаторів

У сучасних системах електропостачання пріоритетом номер один є досягнення максимальної економічної ефективності, що безпосередньо визначається коректним вибором як кількості, так і одиничної потужності трансформаторних підстанцій, розташованих безпосередньо в цеху. Вирішення цього завдання базується виключно на методології техніко-економічного зіставлення альтернативних варіантів проектування, виконуваної згідно з алгоритмами, наведеними у додатку Г

Оскільки на заводі оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт функціонують електроприймачі другої категорії надійності, до системи живлення висуваються підвищені вимоги щодо безвідмовності роботи. Відповідно, при проектуванні передбачається резервування потужності на стороні 0,4 кВ, що обумовлює вибір коеф. іцієнта завантаження силових трансформаторів у межах від 0,8 до 0,85.

За розрахунковим навантаженням на шинах 0,4 кВ 499,2 кВА розглядаються наступні конфігурації кількості та одиничної потужності трансформаторів

- схема 1 (варіант і): застосування трансформаторів номіналом 400 кВА;
- схема 2 (варіант ii): застосування трансформаторів номіналом 250 кВА;
- схема 3 (варіант iii): застосування трансформаторів номіналом 160 кВА.

Мінімально необхідна кількість трансформаторів для кожного з представлених варіантів визначається наступним чином:

$$N_{\min I} = \frac{418,3}{0,9 \cdot 400} + 0,84 = 2 \text{ шт.}, \quad (2.17)$$

$$N_{\min II} = \frac{418,3}{0,9 \cdot 250} + 0,14 = 2 \text{ шт.},$$

$$N_{\min III} = \frac{418,3}{0,9 \cdot 160} + 0,09 = 3 \text{ шт.}$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

У жодному з наведених варіантів не виникає потреби у встановленні додаткових трансформаторів. Отже, оптимальна кількість трансформаторів для кожної схеми становить:

- схема 1 (варіант i): $N_{отпI} = 2$ шт;
- схема 2 (варіант ii): $N_{отпII} = 2$ шт;
- схема 3 (варіант iii): $N_{отпIII} = 3$ шт.

Максимальна реактивна потужність, яка може бути передана в мережу 0,4 кВ заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт без залучення додаткових засобів компенсації, становить:

$$Q_{max.I} = \sqrt{(2 \cdot 400 \cdot 0,9)^2 - 418,3^2} = 586,0 \text{ кВАр}; \quad (2.18)$$

$$Q_{max.II} = \sqrt{(2 \cdot 250 \cdot 0,9)^2 - 418,3^2} = 165,8 \text{ кВАр};$$

$$Q_{max.III} = \sqrt{(3 \cdot 160 \cdot 0,9)^2 - 418,3^2} = 107,8 \text{ кВАр}.$$

Розрахунок сумарної потужності батарей статичних конденсаторів (БСК) дає наступні результати:

$$Q_{HKI} = 272,4 - 586,0 = -314 \text{ кВАр}, \quad (2.19)$$

$$Q_{HKII} = 272,4 - 165,8 = 106,6 \text{ кВАр},$$

$$Q_{HKIII} = 272,4 - 107,8 = 164,6 \text{ кВАр},$$

Отримані від'ємні значення для першої схеми свідчать про те, що встановлення конденсаторних установок на стороні 0,4 кВ не є обов'язковим – $Q_{HKI} = 0$ кВАр.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальший аналіз виконується з використанням розрахункових параметрів, спільних для всіх трьох конфігурацій:

$$K_{p1} = 12, K_{p2} = 2, \gamma = 0,52.$$

Розрахункова додаткова потужність конденсаторних установок:

$$Q_{HK2I} = 272,4 - 0 - 0,52 \cdot 2 \cdot 400 = -143,6 \text{ кВАр}, \quad (2.20)$$

$$Q_{HK2II} = 272,4 - 106,6 - 0,52 \cdot 2 \cdot 250 = 165,8 \text{ кВАр},$$

$$Q_{HK2III} = 272,4 - 164,6 - 0,52 \cdot 3 \cdot 160 = 107,8 \text{ кВАр}.$$

Знову ж таки, для першого варіанту (400 кВА) відпадає необхідність у компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ – $Q_{HK2I} = 0$ кВАр.

Підсумкова загальна розрахункова потужність БСК складе:

$$Q_{HKI} = 0, \quad (2.21)$$

$$Q_{HKII} = 106,6 + 165,8 = 272,4 \text{ кВАр},$$

$$Q_{HKIII} = 164,6 + 107,8 = 272,4 \text{ кВАр}.$$

На основі розрахунків було виконано попередній вибір комплектних конденсаторних установок:

для схеми 2 (250 кВА): 2 шт. АКУ-0,4-140 потужністю 140 кВАр кожна;

для схеми 3 (160 кВА): 3 шт. АКУ-0,4-100 потужністю 100 кВАр кожна.

Остаточне рішення щодо вибору оптимальної конфігурації приймається на основі результатів техніко-економічного порівняльного аналізу всіх трьох запропонованих варіантів. У таблиці 2.6 систематизовано технічні параметри трансформаторів, що розглядаються в межах кожної схеми.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Паспортні дані силових трансформаторів

Схема	S, кВт	ΔP_X , кВт	i_x , %	ΔP_{K3} , кВт	u_{K3} , %	K, тис.грн.
Перша	400	1,05	2,1	5,5	4,5	230,170
Друга	250	0,82	2,3	3,7	4,5	223,776
Третя	160	0,56	2,4	2,65	4,5	198,202

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформаторів у розрахунковому режимі для кожної зі схем становить:

$$K_{3I} = \frac{418,3}{2 \cdot 400} = 0,62; \quad (2.22)$$

$$K_{3II} = \frac{\sqrt{418,3^2 + (272,4 - 2 \cdot 140)^2}}{2 \cdot 250} = 0,84;$$

$$K_{3III} = \frac{\sqrt{418,3^2 + (272,4 - 3 \cdot 100)^2}}{3 \cdot 160} = 0,87.$$

Річні втрати активної електроенергії в трансформаторах для кожного варіанту:

$$\Delta W_{TI} = 1,05 \cdot 8760 + 0,62^2 \cdot 5,5 \cdot 1126 = 30227 \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (2.23)$$

$$\Delta W_{TII} = 0,82 \cdot 8760 + 0,84^2 \cdot 3,7 \cdot 1126 = 20052 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_{TIII} = 0,56 \cdot 8760 + 0,87^2 \cdot 2,65 \cdot 1126 = 21066 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат електроенергії в трансформаторах за рік:

$$C_{eTI} = 12,6785 \cdot 30227 = 383,235 \text{ тис.грн.}; \quad (2.24)$$

$$C_{eTII} = 12,6785 \cdot 20052 = 254,226 \text{ тис.грн.};$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{e_{TIII}} = 12,6785 \cdot 21066 = 267,080 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати на трансформатори з урахуванням нормативних коефіцієнтів економічної ефективності та амортизації:

$$З_{TI} = 2 \cdot (0,12 + 0,05) \cdot 230,170 + 2 \cdot 383,235 = 461,492 \text{ тис.грн.}; \quad (2.25)$$

$$З_{TII} = 2 \cdot (0,12 + 0,05) \cdot 223,776 + 2 \cdot 254,226 = 330,310 \text{ тис.грн.};$$

$$З_{TIII} = 3 \cdot (0,12 + 0,05) \cdot 198,202 + 3 \cdot 267,080 = 368,162 \text{ тис.грн.}$$

Втрати активної електроенергії в конденсаторних установках для другої та третьої схем:

$$\Delta W_{KY II} = 4,5 \cdot 2 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 8760 = 11,038 \text{ кВтгод}; \quad (2.26)$$

$$\Delta W_{KY III} = 4,5 \cdot 3 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 8760 = 11,826 \text{ кВтгод.}$$

Відповідно, витрати, пов'язані з цими втратами в компенсувальних пристроях, складуть:

$$C_{e_{KYII}} = 12,6785 \cdot 11,038 = 139,940 \text{ тис.грн.}; \quad (2.27)$$

$$C_{e_{KYIII}} = 12,6785 \cdot 11,826 = 149,936 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок приведених витрат на батареї конденсаторів для другого та третього варіантів виконується з урахуванням їх вартості та витрат на втрати:

$$З_{KYII} = 2 \cdot (0,12 + 0,05) \cdot 16,844 + 139,940 = 145,667 \text{ тис.грн.}; \quad (2.28)$$

$$З_{KYIII} = 3 \cdot (0,12 + 0,05) \cdot 15,622 + 149,936 = 157,903 \text{ тис.грн.}$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Підсумкові сумарні приведені витрати для кожної з трьох розглянутих схем електропостачання становлять:

$$З_{\text{П}} = 461,492 \text{ тис.грн.}; \quad (2.29)$$

$$З_{\text{ТП}} = 330,310 + 145,667 = 475,977 \text{ тис.грн.};$$

$$З_{\text{ТПШ}} = 368,162 + 157,903 = 526,066 \text{ тис.грн.}$$

Найбільш економічно доцільним визнано перший варіант із застосуванням трансформаторів одиничною потужністю 400 кВА, оскільки його сумарні приведені витрати є мінімальними та становлять 461,492 тис. грн. Додаткова перевірка обраного рішення на здатність витримувати пікові навантаження:

$$1,4S_{\text{номТ}} \geq \frac{2S_{\text{р}\Sigma}}{N} \quad (2.30)$$

$$1,4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА} \leq 1,4 \cdot 400 = 560 \geq 499,2 \text{ кВА.}$$

підтверджує його надійність. До остаточної схеми електропостачання приймається два трансформатори типу ТМ-400/10.

2.6. Заходи з компенсації реактивної потужності для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

У сучасному проектуванні внутрішньозаводських систем електропостачання пріоритетним є забезпечення максимальної економічної ефективності, яка досягається шляхом детального аналізу та мінімізації споживання реактивної енергії. Для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт ключовим етапом є точне визначення сумарного реактивного навантаження, що дозволяє обґрунтувати вибір типу та потужності компенсувальних пристроїв згідно з методиками, наведеними у додатку Д.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до результатів розрахунку, максимальне реактивне навантаження заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт у години пік:

$$Q_{m1} = 0,75 \cdot 272,4 = 204,3 \text{ кВАр.} \quad (2.31)$$

При цьому сумарні втрати реактивної потужності в силовому трансформаторі типу ТМ-400/10

$$\Delta Q_{T.H.X} = \frac{2,4}{100} \cdot 400 = 9,60 \text{ кВАр,} \quad (2.32)$$

$$\Delta Q_{T.K.3} = \frac{4,5}{100} \cdot 0,87^2 \cdot 400 = 13,73 \text{ кВАр.} \quad (2.33)$$

Таким чином, повні втрати реактивної потужності в трансформаторі складають

$$\Delta Q_T = 9,60 + 13,73 = 23,33 \text{ кВАр.} \quad (2.34)$$

Розрахункова потужність компенсувального пристрою з урахуванням коефіцієнта завантаження трансформаторів

$$\Delta Q_{K1} = 204,3 - 126 + 2 \cdot 23,33 = 125,5 \text{ кВАр.} \quad (2.35)$$

Виходячи з отриманих значень у схемі розподілу електроенергії заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт передбачено встановлення двох силових трансформаторів моделі ТМ-400/10. Для компенсації реактивної потужності обрано дві конденсаторні установки типу УКАР-0,4/-70 з номінальною реактивною потужністю 70 кВАр кожна, що забезпечує необхідний запас для регулювання рівня напруги та зниження втрат.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.7. *Визначення електричних навантажень на стороні високої напруги системи розподілу електроенергії*

Забезпечення економічної ефективності є фундаментальною вимогою, що висувається до сучасних систем електропостачання, а якісна реалізація цього завдання безпосередньо залежить від достовірного визначення рівня електричного навантаження на стороні 10 кВ. Для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт розрахунок навантаження на високовольтній стороні системи розподілу виконано згідно з методом, викладеним у додатку Е, з обов'язковим урахуванням втрат активної потужності в трансформаторах.

Розрахункові втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-400/10, що живить навантаження заводу оптичних приладів:

$$\Delta P_T = 0,56 + 0,87^2 \cdot 2,65 = 2,58 \text{ кВт.} \quad (2.36)$$

Повне розрахункове навантаження на стороні високої напруги трансформатора ТМ-400/10 визначається з урахуванням втрат потужності та встановлених компенсувальних пристроїв:

$$S_{p3} = \sqrt{(418,3 + 2 \cdot 2,58)^2 + 126^2} = 423,65 \text{ кВА.} \quad (2.37)$$

Отримані значення лягли в основу розробки схеми живлення підприємства. На рисунку 2.3 зображено конфігурацію системи електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, що включає трансформаторні підстанції, розподільні пристрої та вузли компенсації реактивної потужності.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Рисунок 2.3 – Принципова схема електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

2.8. Вибір схеми електропостачання підприємства

2.8.1. Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Фундаментальною вимогою до проектування сучасних систем електропостачання є їхня економічна ефективність, яка значною мірою визначається оптимальним вибором топології джерела зовнішнього живлення. Для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт джерелом живлення виступають шини напругою 10 кВ розподільного пункту, що знаходиться на відстані 1,24 км. У зв'язку з цим передача електроенергії реалізується за допомогою кабельної лінії класом напруги 10 кВ.

Визначення економічно доцільного перерізу кабелю виконується згідно з методикою, наведеною у додатку Ж. Оскільки проєктне рішення передбачає виконання вводу за двопроменевою схемою, розрахункове значення струмового навантаження визначається для післяаварійного режиму роботи, тобто з умови забезпечення живлення всього навантаження однією лінією у разі виходу з ладу другої.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розрахунковий струм заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт становить:

$$I_{\max.p} = \frac{423,65}{\sqrt{3} \cdot 10} = 24,5 \text{ А.} \quad (2.38)$$

На першому етапі обрано кабель марки АСБ-10-3×35. час ліквідації аварійного замикання на лінії приймається рівним 6 годинам. Коефіцієнт завантаження лінії у нормальному режимі становить 0,15, що не перевищує значення 0,6. Отже, допустимий коефіцієнт перевантаження складає 1,25, а допустимий коефіцієнт зниження навантаження – 0,9.

Розрахункове значення тривало допустимого струму для кабелю

$$I_{\text{доп}} \geq 24,5 \cdot 1,25 \cdot 0,9 = 17,61 \text{ А.} \quad (2.39)$$

Попередньо прийняте значення тривало допустимого струму $I_{\text{доп}} = 115 \text{ А}$ для перерізу 35 мм².

Величина втрати напруги на кабелі АСБ-10-3×35

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 24,5 \cdot 1,24(1,94 \cdot 0,8 + 0,113 \cdot 0,6) = 69,3 \text{ В.} \quad (2.40)$$

Розраховане падіння напруги є мінімальним, що свідчить про те, що напруга на приймальному кінці лінії АСБ-10-3×35 зберігається практично на номінальному рівні. З метою визначення найбільш економічно вигідного перерізу зовнішньої кабельної лінії було виконано техніко-економічне порівняння трьох альтернативних варіантів, результати якого наведено в таблиці 2.7.

Розрахунковий струм кабельної лінії 10 кВ для нормального режиму експлуатації:

$$I_p = \frac{125,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 12,2 \text{ А.} \quad (2.41)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.7 – Варіанти для вибору економічно доцільного перерізу зовнішніх кабельних ліній

Варіант	S, мм ²	I _{доп} , А	I' _{доп} = K _{ЗН} · I _{доп} , А
Перший	35	115	0,9·115=103,5
Другий	50	140	0,9·140=126
Третій	70	165	0,9·165=148,5

Коефіцієнти завантаження для трьох розглянутих варіантів кабельної лінії 10 кВ у нормальному режимі:

$$K_{31} = \frac{12,2}{103,5} = 0,12; \quad (2.42)$$

$$K_{32} = \frac{12,2}{126} = 0,10;$$

$$K_{33} = \frac{12,2}{148,5} = 0,08.$$

Втрати активної потужності для трьох варіантів кабельної лінії 10 кВ при фактичному струмовому навантаженні:

$$\Delta P_o = 3 \cdot 103,5^2 \cdot 42 \cdot 1,24 \cdot 0,12^2 \cdot 10^{-3} = 0,724 \text{ кВт}; \quad (2.43)$$

$$\Delta P_o = 3 \cdot 126^2 \cdot 44 \cdot 1,24 \cdot 0,10^2 \cdot 10^{-3} = 0,512 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_o = 3 \cdot 148,5^2 \cdot 47 \cdot 1,24 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} = 0,394 \text{ кВт}.$$

Втрати електроенергії для трьох досліджуваних варіантів кабельної лінії 10 кВ:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$\Delta W_1 = 0,724 \cdot 1126 = 0,815 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год}; \quad (2.44)$$

$$\Delta W_2 = 0,512 \cdot 1126 = 0,576 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год};$$

$$\Delta W_3 = 0,394 \cdot 1126 = 0,443 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год}.$$

Вартість втрат електроенергії для трьох варіантів кабельної лінії 10 кВ:

$$C_{n1} = 12,68 \cdot 0,815 = 10,339 \text{ тис. грн}; \quad (2.45)$$

$$C_{n2} = 12,68 \cdot 0,576 = 7,308 \text{ тис. грн};$$

$$C_{n3} = 12,68 \cdot 0,443 = 5,620 \text{ тис. грн}.$$

Капітальні вкладення на спорудження однієї кабельної лінії 10 кВ для трьох варіантів:

$$K_1 = 1,24 \cdot 785,696 = 1940,669 \text{ тис. грн}; \quad (2.46)$$

$$K_2 = 1,24 \cdot 871,439 = 2152,454 \text{ тис. грн};$$

$$K_3 = 1,24 \cdot 989,213 = 2443,357 \text{ тис. грн}.$$

Річні амортизаційні відрахування для кабельних ліній 10 кВ (три варіанти):

$$C_{a1} = 0,10 \cdot 1940,669 = 194,067 \text{ тис. грн.}; \quad (2.47)$$

$$C_{a2} = 0,10 \cdot 2152,454 = 215,245 \text{ тис. грн.};$$

$$C_{a3} = 0,10 \cdot 2443,357 = 244,336 \text{ тис. грн..}$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Витрати на поточне обслуговування та ремонт кабельних ліній для всіх варіантів є ідентичними, тому їхній вплив на кінцевий результат не враховується.

Річні експлуатаційні витрати для трьох розглянутих варіантів кабельних ліній 10 кВ:

$$C_{e1} = 10,339 + 194,067 = 204,406 \text{ тис. грн.}; \quad (2.48)$$

$$C_{e2} = 7,308 + 215,245 = 222,554 \text{ тис. грн.};$$

$$C_{e3} = 5,620 + 244,336 = 249,956 \text{ тис. грн.}$$

Приведені витрати для трьох варіантів кабельних ліній 10 кВ:

$$З_1 = 0,12 \cdot 1940,669 + 204,406 = 437,286 \text{ тис. грн.}; \quad (2.49)$$

$$З_2 = 0,12 \cdot 2152,454 + 222,554 = 480,848 \text{ тис. грн.};$$

$$З_3 = 0,12 \cdot 2443,357 + 249,956 = 543,159 \text{ тис. грн.}$$

Найменше значення наведених витрат відповідає першому варіанту та становить 437,286 гривні, що обумовлює остаточний вибір кабелю марки АСБ-10-3×35 як основного для зовнішнього живлення.

2.8.2. Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Фундаментальним критерієм ефективності будь-якої сучасної інфраструктури електропостачання виступає її економічна доцільність, яка безпосередньо визначається оптимально побудованою схемою внутрішньозаводського розподілу електричної енергії. Беручи до уваги просторове розміщення технологічного обладнання, категорійність електроприймачів за надійністю електропостачання для заводу оптичних приладів встановленою

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужністю 1147 кВт, а також специфіку експлуатаційних умов довкілля, як остаточне проектне рішення було прийнято «радіальну схему розподілу електричної енергії».

Прокладання кабельних ліній 0,4 кВ, які забезпечують живлення силового електрообладнання, передбачено виконати безпосередньо в кабельних траншеях на території промислового майданчика заводу оптичних приладів.

З метою забезпечення належного рівня резервування для споживачів II категорії надійності, на стороні 0,4 кВ трансформаторної підстанції, яка живить завод оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, передбачено взаємно резервовану схему з'єднань. Для реалізації цього принципу між окремими секціями збірних шин 0,4 кВ змонтовано секційні комутаційні апарати, виконані на базі автоматичних вимикачів.

Остаточне визначення перерізів струмопровідних жил кабельних ліній виконано згідно з умови «тривало допустимого струмового навантаження» відповідно до додатку 3.

Розрахункове значення струмового навантаження для складального цеху

$$I_p = \frac{43,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 66 \text{ А.} \quad (2.50)$$

Для живлення споживачів складального цеху прийнято кабель марки АСБ 4×25, тривало допустимий струм якого становить 75 А.

Розрахункові перерізи провідників внутрішньозаводської мережі для решти груп електроприймачів, що підключені до розподільних шаф 0,4 кВ, систематизовано та наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Перерізи провідників внутрішньозаводської мережі

Назва об'єкта	$S_{m\Sigma}$, кВАр	I_p , А	$I_{доп.КЛ}$, А	S , мм ²
1	2	3	4	5
Цех гальванічних покриттів	43,3	66	75	25
Цех механічної обробки металевих деталей	59,6	91	110	50

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5
Інструментальний цех	75,9	116	140	70
Цех лиття пластикових деталей	83,2	126	140	70
Цех точної механіки	27,5	42	42	10
Цех полірування оптичних деталей	55,7	85	90	35
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	16,1	25	27	4
Цех нанесення покриттів	19,5	30	32	6
Цех випробувань готової продукції	86,1	131	140	70
Цех шліфування скла	32,7	50	60	16

На рисунку 2.4 наведено ситуаційний план трасування внутрішньозаводської електричної мережі для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт із деталізацією розташування розподільчих пристроїв.

Рисунок 2.4 – Ситуаційний план внутрішньозаводської електричної мережі заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

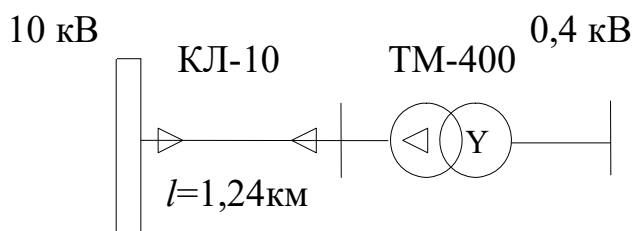
2.9. Розрахунок струмів короткого замикання

Коректне визначення рівнів струмів короткого замикання посідає ключове місце в проектуванні будь-якої сучасної системи електропостачання. Для їх розрахунку застосовується метод іменованих одиниць, покрокова реалізація якого наведена у додатку И до цієї роботи.

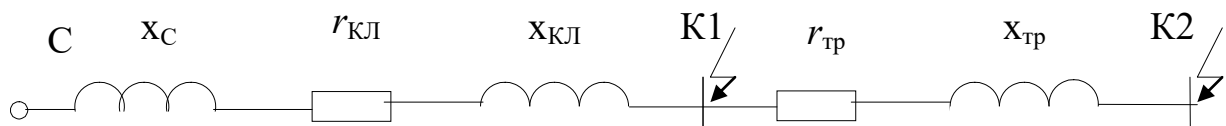
З метою проведення необхідних обчислень було розроблено принципову однолінійну схему електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт (рис. 2.5,а). На її основі сформовано розрахункову схему заміщення (рис. 2.5,б), яка стала базисом для подальшого аналізу аварійних режимів.

Величина трифазного струму короткого замикання на шинах живильної підстанції напругою 10 кВ становить:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{42}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2309 \text{ А.} \quad (2.51)$$



а)



б)

Рисунок 2.5 – Розрахункова схема та схема заміщення для визначення струмів в мережі заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт

Повний опір системи (джерела живлення) у цій точці визначається як

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$z_c = x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2309} = 2,63 \text{ Ом.} \quad (2.52)$$

Активний та індуктивний опори кабельної лінії, що з'єднує джерело живлення з трансформаторною підстанцією заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, складають:

$$r_{кл} = 0,84 \cdot 1,2 = 1,04 \text{ Ом;} \quad (2.53)$$

$$x_{кл} = 0,095 \cdot 1,2 = 0,12 \text{ Ом.} \quad (2.54)$$

Діюче значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання в точці К1, розташованій на високовольтному вводі трансформатора ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, розраховано за формулою:

$$I_{кз1} = \frac{1,05 \cdot 10}{\sqrt{3} \sqrt{(2,63 + 0,12)^2 + 1,04^2}} = 2,07 \text{ кА.} \quad (2.55)$$

Ударний струм короткого замикання для цієї ж точки К1 визначено з урахуванням ударного коефіцієнта:

$$i_{yo} = \sqrt{2} \cdot 2,07 \cdot 1,83 = 5,35 \text{ кА.} \quad (2.56)$$

При приведенні параметрів мережі 10 кВ до сторони нижчої напруги 0,4 кВ (на півні ТП заводу) їхні значення становлять:

$$x_{\Sigma 10;0,4} = 2,74 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 4,39 \text{ мОм;} \quad (2.57)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{\Sigma 10;0,4} = 1,04 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 1,66 \text{ мОм.} \quad (2.58)$$

Опори трансформатора типу ТМ-400/10, встановленого на ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт складають:

$$r_T = \frac{5,5}{400} \cdot \frac{0,4^2}{400} = 5,5 \text{ мОм;} \quad (2.59)$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100} \right)^2 + \left(\frac{5,5}{400} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} = 17,14 \text{ мОм.} \quad (2.60)$$

Розрахункове значення струму трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ трансформатора ТМ-400/10 визначено як:

$$I_{K32} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \sqrt{(4,39 + 17,14)^2 + (1,66 + 5,5)^2}} = 7,5 \text{ кА.}$$

Відповідно, ударний струм на шинах 0,4 кВ зазначеного трансформатора становить:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot 7,5 \cdot 1,1 = 11,64 \text{ кА}$$

Мінімально допустимий переріз кабельної лінії за умовою термічної стійкості до дії струмів КЗ у точці К1 (на ввіді ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт) складає:

$$S_{\min 1} = \frac{2,07 \cdot \sqrt{0,25}}{85} = 12,2 \text{ мм}^2 < 25 \text{ мм}^2. \quad (2.61)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконана перевірка підтвердила достатню термічну стійкість обраних кабелів марки АСБ-10-3×35, що використовуються для живлення заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт.

2.10. Вибір комутаційно-захисної та вимірjuвальної апаратури

2.10.1. Вибір та перевірка комірок вимикачів навантаження

Економічна ефективність сучасної системи електропостачання обумовлюється коректним підбором комутаційних апаратів, пристроїв захисту та контрольно-вимірjuвальних приладів. Процедури вибору та перевірки зазначеного обладнання регламентовані положеннями, наведеними в додатку К.

Для ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт нами було обрано комплектне розподільне пристрій серії КСО 393М. Перевірка відповідності здійснювалася за наступними параметрами:

- «за номінальною напругою» [1]:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \geq U_p = 10 \text{ кВ}, \quad (2.62)$$

- «за номінальним струмом» [1]:

$$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А} \geq I_{p \text{ max}} = 24,5 \text{ А}, \quad (2.63)$$

- «за стійкістю до струмів короткого замикання» [1]:

$$I_{п.о} = 10 \text{ кА} \geq I_{к.з}^{(3)} = 2,07 \text{ кА}, \quad (2.64)$$

- «за динамічною стійкістю» [1]:

$$i_{\text{ном дин}} = 20 \text{ кА} \geq i_{y \text{ max}} = 5,35 \text{ кА}, \quad (2.65)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «за термічною стійкістю» [1]:

$$I_T^2 t_T = 4^2 \cdot 3 = 48 \text{ кА}^2 \text{с} \geq B_k = 1,07 \text{ кА}^2 \text{с}. \quad (2.66)$$

Усі умови перевірки виявилися виконаними в повному обсязі. На підставі цього обрану комірку КСО 393М змонтовується на трансформаторної підстанції заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт.

2.10.2. Вибір та перевірка вимикачів навантаження

Процедура вибору та верифікації параметрів вимикачів навантаження, призначених для експлуатації в ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, виконувалась у відповідності до методик, викладених у додатку К.

Для забезпечення комутаційних функцій у складі ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт першочергово було обрано вимикач навантаження моделі ВН-РА. Його технічні характеристики пройшли перевірку за такими критеріями:

- «за номінальною напругою» [1]:

$$U_{\text{ном вн}} = 10 \text{ кВ} \geq U_p = 10 \text{ кВ}. \quad (2.67)$$

- «за номінальним струмом» [1]:

$$I_{\text{ном вн}} = 400 \text{ А} \geq I_{p \text{ max}} = 24,5 \text{ А}, \quad (2.68)$$

- «за відключаючою здатністю» [1]:

$$I_b = 5 \text{ кА} \geq I_{\text{к.з}}^{(3)} = 2,07 \text{ кА}, \quad (2.69)$$

- «за динамічною стійкістю» [1]:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{\text{дин}} = 10 \text{ кА} \geq i_{\text{уд}} = 5,35 \text{ кА}, \quad (2.70)$$

- «за термічною стійкістю» [1]:

$$I_T^2 t_T = 5^2 \cdot 1 = 25 \text{ кА}^2 \text{с} \geq B_K = 1,07 \text{ кА}^2 \text{с}. \quad (2.71)$$

Результати розрахунків підтвердили повну відповідність апарата умовам експлуатації. У результаті, в межах ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт було змонтовано два вимикачі навантаження типу ВН-РА.

2.10.3. Вибір та перевірка високовольтних запобіжників

У складі пристрою захисту трансформатора для заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт нами були попередньо обрані струмообмежувальні запобіжники для захисту силового трансформатора моделі ТМ-400/10. Безпосередній вибір та наступна перевірка високовольтного запобіжника типу ПК-10 виконувались згідно з алгоритмом, наведеним у додатку К:

- «за номінальною напругою» [1]:

$$U_{\text{ном вн}} = 10 \text{ кВ} \geq U_p = 10 \text{ кВ}, \quad (2.72)$$

- «за номінальним струмом запобіжника» [1]:

$$I_H = 100 \text{ А} \geq I_{p \text{ max}} = 24,5 \text{ А}, \quad (2.73)$$

- «за номінальним струмом плавкої вставки» [1]:

$$I_H = 25 \text{ А} \geq I_{p \text{ max}} = 24,5 \text{ А}, \quad (2.74)$$

- «за відключаючою здатністю» [1]:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{н.в} = 31,5 \text{ кА} \geq I_{к.з}^{(3)} = 2,07 \text{ кА}. \quad (2.75)$$

Умови перевірки підтвердили коректність обраного типу захисного апарата. На підставі отриманих даних запобіжник ПК-10 був змонтований у трансформаторній підстанції заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт.

2.10.4. Вибір розподільчого пристрою низьковольтної підстанції

Для забезпечення розподілу електроенергії на стороні 0,4 кВ на заводі оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт вибір відповідного розподільчого пристрою виконувався згідно з методичними вказівками додатку К. На початковому етапі нашим рішенням стало застосування розподільчого пристрою типу ЩО-98, що передбачає одностороннє живлення.

Розрахункове максимальне навантаження на стороні низької напруги з урахуванням допустимого перевантаження трансформатора ТМ-400/10 на 40% визначається наступним чином:

$$I_{p \max} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А}. \quad (2.76)$$

Для комплектації розподільного щита типу ЩО-98 нами були обрані наступні шафи:

- ввідна розподільна шафа типу ЩО-98-30» [1] ($I_n=600 \text{ А} > 808,3 \text{ А}$);
- розподільна шафа типу ЩО-98-14» [1] ($I_n=800 \text{ А}$, $4 \times 250 \text{ А}$);
- секційна розподільна шафа типу ЩО-98-51» [1] ($I_n=600 \text{ А}$);
- шафа внутрішнього та зовнішнього освітлення типу ЩО-98-71» [1] ($I_n=100 \text{ А} < 12,2 \text{ А}$);
- торцюва шафа типу ЩО-98-95» [1].

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка на електродинамічну стійкість: параметр «витримувана стійкість до струму короткого замикання шин» складає 50 кА, що перевищує розрахунковий струм КЗ 7,5 кА.

Усі зазначені умови вибору відповідають нормативним вимогам. Обраний комплект розподільних шаф ЩО-98 був встановлений у складі трансформаторної підстанції заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт.

2.11. Розрахунок системи низьковольтного електропостачання цеху механічної обробки металевих деталей

2.11.1. Обґрунтування та вибір конфігурації розподільчої мережі цеху

Техніко-економічна доцільність системи електропостачання безпосередньо реалізується через коректно виконаний розрахунок параметрів низьковольтної розподільчої мережі. З огляду на порівняно незначну сумарну потужність електроприймачів, зосереджених у межах цеху механічної обробки металевих деталей, організація прийому та подальшого розподілу електричної енергії передбачається через єдиний вхідний розподільчий пункт.

Технологічне обладнання, задіяне у виробничих процесах цеху, характеризується стаціонарним монтажем та рівномірністю розташування відносно існуючих будівельних конструкцій. На підставі зазначених умов, як обрано радіальну схему електропостачання, що забезпечує високу надійність живлення та селективність захисту окремих приймачів [1].

Подача напруги до кожного окремого електроприймача реалізується за допомогою кабельних ліній марки ВВГнг-LS, які прокладаються відкритим способом по металевих лотках та конструкціях, що забезпечує їх механічний захист та зручність експлуатації. Величина розрахункового струму для наждакового верстату 4ТЕ визначається згідно з методикою, викладеною в додатку Л, і становить:

$$I_H = \frac{1,72}{\sqrt{3 \cdot 0,70 \cdot 0,4}} = 3,55 \text{ А.} \quad (2.77)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий струм для живильної лінії розподільного пункту, що забезпечує роботу групи обладнання цеху механічної обробки металевих деталей:

$$I_{P_{c.n}} = \frac{\sqrt{34,95^2 + 20,58^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 58,54 \text{ А.} \quad (2.78)$$

Результати розрахунків втрат напруги для найбільш віддалених приймачів цеху механічної обробки металевих деталей, а також для ключових ділянок мережі, систематизовано у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок параметрів ліній електропостачання цеху механічної обробки металевих деталей

Лінія	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр $\cos\varphi$	I_p , А	S , мм ²	$I_{тр.доп}$, А	ℓ , м	$R_{пит}$, мОм/м	$X_{пит}$, мОм/м	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РШ-РП1	34,95	20,58	58,54	5×16	70	31,6	13,3	0,09	1,59
РШ-РП2	53,07	36,21	92,73	5×35	120	53,4	2,08	0,07	0,67
РП1-РШ-РП3	26,08	16,25	44,35	5×10	55	27	13,3	0,09	2,68
РП1- Наждаковий верстат НУ-5	1,72	0,70	3,55	5×2,5	19	23,5	13,3	0,09	2,83
РПТокарний напівавтомат GER- 41-	13,2	0,70	27,22	5×4	30	16,7	13,3	0,09	2,65
РП1-Вертикально- свердильний верстат J789	4,8	0,80	8,66	5×2,5	19	7,8	13,3	0,09	2,47
РП1- Круглошліфувальни й верстат MGA97	3,2	0,55	8,40	5×2,5	19	4,8	13,3	0,09	2,43
РП1- Вентилятор JON-468	2,9	5,8	0,72	5×2,5	19	14,8	13,3	0,09	2,55
РП1-Карусельно- фрезерний верстат GA-G	6,5	0,70	13,40	5×2,5	19	28,5	13,3	0,09	2,76
РП1-Поздовжньо- фрезерний верстат OAG-KO	16,1	0,70	33,20	5×6	39	20,8	13,3	0,09	2,63

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РП2-Агрегатний горизонтально-свердильний верстат OJG-90	11	0,70	22,68	5×4	23	17,3	13,3	0,09	1,65
РП2-Агрегатний вертикально-свердильний верстат JIG-9	8,4	0,55	22,04	5×4	23	16,4	13,3	0,09	1,76
РП2-Загартувальна установка JOIN--31	10,3	0,80	18,58	5×2,5	19	12,2	13,3	0,09	1,63
РП2- Вертикально-протяжний верстат IJG-5	9	0,65	19,99	5×4	23	24,8	13,3	0,09	1,83
РП2-Горизонтально-розточувальний верстат AS-8	11,3	0,70	23,30	5×4	30	30,4	13,3	0,09	1,93
РП2-Шліфувально-обдирочний верстат Jfw-7	2,6	0,70	5,36	5×2,5	19	20,1	13,3	0,09	1,72
РП2-Клепальна машина J-K5	3,2	0,60	7,70	5×2,5	19	10	13,3	0,09	1,76

Просторове розташування групових розподільчих пунктів та окремих струмоприймачів у цеху механічної обробки металевих деталей вказано на рисунку 2.6.

2.11.2. Проектування та вибір елементів освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей

Ефективність сучасної системи внутрішнього освітлення визначається не лише параметрами світлових приладів, а й оптимізованим просторовим розміщенням освітлювального обладнання. Для реалізації освітлення цеху механічної обробки металевих деталей застосовано радіальну схему побудови мережі, що забезпечує незалежне живлення окремих груп світильників [1]. Живлення до трьох освітлювальних щитків подається окремими кабельними трасами, що відходять безпосередньо від головного розподільчого щита.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					51

Для монтажу освітлювальної мережі використовується кабель ВВГнг-LS, який фіксується на металевих профілях та лотках, що забезпечує єдиний стиль прокладання з силовими лініями. Як розподільчі пристрої для освітлювальних груп прийнято щитки типу ЩОН-6, технічні параметри яких наведено в таблиці 2.9.

Рисунок 2.6 – План розташування силового електрообладнання та розподільчих пунктів цеху механічної обробки металевих деталей

Таблиця 2.9 – Параметри освітлювальних щитів ЩОН-6

Критерій вибору	Розрахункові параметри мережі	Паспортні дані
$U_{\text{ном.м}} \leq U_{\text{ном.а}}$	$U_{\text{ном.м}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}}$	$I_{\text{р}} = 4,25 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$
$I_{\text{к}}^2 t_{\text{к}} \leq I_{\text{т.ст}}^2 t_{\text{т.ст}}$	$7,5^2 \cdot 0,1 = 2,80 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек}$	$10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{сек.}$

Вибір площі поперечного перерізу жил кабелів освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей здійснюється відповідно до методики, наведеної в додатку, з реалізацією принципу «мінімізації витрат провідникового

матеріалу» [1]. Розрахунковий момент навантаження для магістральної ділянки РЩ–ЩО складає:

$$M_{\text{РЩ-ЩО}} = 0,09 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 35 = 94,5 \text{ кВт} \cdot \text{м.}, \quad (2.79)$$

Момент навантаження для першого ряду світильників, підключеного до розподільчого щитка цеху механічної обробки металевих деталей, визначається з урахуванням нерівномірності розподілу навантаження вздовж ряду:

$$m_{\text{ЩО-1}} = 0,09 \cdot 6 \cdot \left(19,1 + \frac{(6-1) \cdot 2,5}{2} \right) = 13,7 \text{ кВт} \cdot \text{м.} \quad (2.80)$$

За аналогічним алгоритмом обчислюються моменти навантаження для решти п'яти рядів освітлювальних приладів. Підсумкові значення зведено у таблицю 2.10.

Визначення перерізу провідників освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей базується на розрахованих значеннях моментів навантаження. Мінімальний допустимий переріз для магістральної лінії РЩ–ЩО становить:

$$S_{\text{РЩ-ЩО}} = \frac{94,5 + 1,39 \cdot 129,7}{44 \cdot 5} = 1,2 \text{ мм}^2. \quad (2.81)$$

З урахуванням механічної міцності та забезпечення стійкості до струмів короткого замикання, до подальшого проектування приймається стандартний переріз $s_{\text{ТП-1}} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Фактичний рівень втрат напруги на ділянці РЩ–ЩО цеху механічної обробки металевих деталей

$$\Delta u_{\text{РЩ-ЩО}} = \frac{94,5}{44 \cdot 2,5} = 0,9 \%. \quad (2.82)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимі втрати напруги для ділянки, що живить перший ряд світильників, визначаються як різниця між допустимим загальним значенням (5%) та втратами на попередній ділянці:

$$\Delta u_{\text{ЩО-1}} = 5 - 0,9 = 4,14\%. \quad (2.83)$$

Мінімальний переріз кабелю для живлення першого ряду світильників, виходячи з умови втрат напруги

$$s_{\text{ЩО-1}} = \frac{13,7}{7,4 \cdot 4,14} = 0,45 \text{ мм}^2. \quad (2.84)$$

З міркувань уніфікації та забезпечення надійності, приймається стандартний переріз $s_{\text{ЩО-1}} = 2,5 \text{ мм}^2$.

Підсумкові дані щодо обраних перерізів для всіх ділянок освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей систематизовано в таблиці 2.10. Застосування перерізу $2,5 \text{ мм}^2$ для всіх групових ліній забезпечує сумарні втрати напруги на затискачах світильників у межах нормативно допустимих 5%, що відповідає вимогам чинних норм.

Таблиця 2.10 – Вибір перерізу освітлювальної мережі цеху механічної обробки металевих деталей

Лінія	$\ell_{\text{д0}}, \text{ м}$	$m_{\text{ЩО-і}}, \text{ кВт}\cdot\text{м}$	$S_{\text{ЩО-і}}, \text{ мм}^2$	$S_{\text{ЩО-і.пр}}, \text{ мм}^2$
1	2	3	4	5
ЩО-1	19,1	13,7	0,45	2,5
ЩО-2	14,5	11,2	0,37	2,5
ЩО-3	13,3	10,6	0,34	2,5
ЩО-4	12,1	9,9	0,32	2,5
ЩО-5	11	9,3	0,30	2,5
ЩО-6	9,8	8,7	0,28	2,5

2.11.3. Розрахунок струмів короткого замикання

У сучасних системах електропостачання визначальною умовою є їхня економічна ефективність, досягнення якої неможливе без коректного визначення рівнів струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ. З метою врахування наявності незначних перехідних опорів у контурі «фаза-нуль» використовується розрахунковий апарат, наведений у додатку Н.

Для точки К1, розташованої на шинах трансформаторної підстанції заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, значення трифазного струму короткого замикання становить:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(22,47 + 15)^2 + 20,25^2}} = 7,6 \text{ кА.} \quad (2.85)$$

Ударний струм трифазного короткого замикання для тієї самої точки К1 ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт:

$$i_{y\partial K1} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,6 = 11,89 \text{ кА.} \quad (2.86)$$

За аналогічною методикою виконано розрахунок струмів короткого замикання для розрахункової точки, що знаходиться в електричній мережі цеху механічної обробки металевих деталей. Отримані результати зведено до таблиці 2.11.

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ на шинах 0,4 кВ ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{310/3} = 2,129 \text{ кА.} \quad (2.87)$$

Наведений вище підхід поширено на всі розрахункові точки електричної мережі цеху механічної обробки металевих деталей із визначенням відповідних

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значень струму однофазного короткого замикання. Підсумкові дані цих обчислень представлено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахункові параметри струмів короткого замикання в електричній мережі цеху механічної обробки металевих деталей

Точка	X_{Σ} , мОм	r_{Σ} , мОм	$R_{\text{дод}}$, мОм	$I_K^{(3)}$, кА	$i_{\text{уд}}$, кА	$Z_{\Sigma}^{(1)}$, мОм	$I_K^{(1)}$, кА
K1	22,16	21,53	15	7,48	11,64	103,3	2,129
K2	29,26	32,73	20	5,26	7,44	331	1,994
K3	38,46	45,03	25	3,90	5,52	361	1,828
K4	49,76	58,43	30	3,01	4,26	396	1,667
K5	63,16	72,93	30	2,39	3,38	441	1,497

2.12. Вибір та перевірка низьковольтного комутаційного обладнання

2.12.1. Перевірка кабелів на термічну стійкість кабельної продукції

У будь-якій сучасній системі електропостачання пріоритетним критерієм виступає економічна доцільність, причому реалізація цього критерію безпосередньо залежить від коректного розрахунку термічного опору застосованих кабельних ліній. З метою верифікації здатності силових кабелів, прокладених у цех механічної обробки металевих деталей, зберігати працездатність у режимі короткого замикання, застосовується розрахункова методика, наведена в додатку О О. Мінімально допустиме значення площі поперечного перерізу для ділянки кабельної траси визначається наступним чином:

$$S_{\min} = \frac{7,48 \cdot \sqrt{0,05}}{78} \cdot 1000 = 21,4 \text{ мм}^2 < 25 \text{ мм}^2. \quad (2.88)$$

Таким чином, обрана площа поперечного перерізу струмопровідної жили кабелю, яка дорівнює 25 мм², забезпечує необхідний рівень термічної стійкості для надійного витримування струмів короткого замикання, що потенційно можуть виникнути в електричній мережі цех механічної обробки металевих деталей.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

2.12.2. Вибір та перевірка розподільчого щита внутрішньоцехової електромережі

Як типовий приклад для демонстрації процедури вибору розподільчого щита внутрішньоцехової мережі розглянемо цеху механічної обробки металевих деталей. Для забезпечення розподілу електричної енергії в цьому випадку було обрано розподільчий щит типу РП 8204. Виконаємо перевірку відповідності вибраного обладнання вимогам згідно з методом, викладеним у додатку О:

- «за номінальною напругою» [1]:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}, \quad (2.89)$$

- «за номінальним струмом шафи» [1]:

$$630 \text{ А} \geq 126 \text{ А}, \quad (2.90)$$

- «за струмом короткого замикання» [1]

$$25 \text{ кА} \geq 5,26 \text{ кА}. \quad (2.91)$$

Усі зазначені умови виконуються в повному обсязі. Отже, розподільчий щит РП 8204 прийнято до використання для живлення струмоприймачів у цеху механічної обробки металевих деталей.

Аналогічну процедуру вибору було проведено також для іншого технологічного обладнання на заводі оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Результати проведеного вибору систематизовано у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Результати вибору розподільчого щита

Найменування елемента	Тип щита
1	2
Цех гальванічних покриттів	РП 8204-1149

Продовження таблиці 2.12

1	2
Цех механічної обробки металевих деталей	РП 8204-1148
Інструментальний цех	РП 8204-1157
Цех лиття пластикових деталей	РП 8204-1156
Цех точної механіки	РП 8204-1152
Цех полірування оптичних деталей	РП 8204-1150
Цех контрольно-вимірювальних приладів та автоматики	РП 8204-1148
Цех нанесення покриттів	РП 8204-1150
Цех випробувань готової продукції	РП 8204-1149

2.12.3. Вибір автоматичних вимикачів для захисту цехової мережі

Вибір автоматичного вимикача для цеху механічної обробки металевих деталей реалізується відповідно до методичних вказівок, наведених у в додатку О. Для цього застосовуються автоматичні вимикачі серії e.industrial.ukm., перевірка яких здійснюється за наступними параметрами:

- «за напругою» [1]:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}, \quad (2.92)$$

- «за струмом» [1] для цеху механічної обробки металевих деталей:

$$160 \text{ А} > 126 \text{ А}, \quad (2.93)$$

- «за струмом у» [1] для РП1

$$63 \text{ А} > 58,54 \text{ А}, \quad (2.94)$$

- «за струмом» [1] для РП2:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$100 \text{ A} > 92,73 \text{ A};$$

- «за умовою відключаючої здатності» [1]:

$$2950 \text{ A} > 12 \cdot 160 = 1920 \text{ A}, \quad (2.95)$$

$$7839 \text{ кА} > 2950 \text{ A}, \quad (2.96)$$

- «за умовою чутливості до струму однофазного короткого замикання» [1]:

$$1420 \text{ A} > 1,4 \cdot 160 = 224 \text{ A}. \quad (2.97)$$

Усі перевірені умови виконуються. Отже, для живлення струмоприймачів у цеху механічної обробки металевих деталей застосовано розподільний пристрій РП 8204, оснащений автоматичними вимикачами типу e.industrial.ukm..

Керуючись розрахунковою методикою, викладеною у додатку О, для забезпечення надійного захисту електричної мережі цеху механічної обробки металевих деталей від пошкоджень у аварійних режимах було обрано автоматичні вимикачі e.industrial.ukm. Отримані результати вибору зведено до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати вибору автоматичних вимикачів для електричної мережі цеху механічної обробки металевих деталей

Лінія	I_p , А	Тип захисного апарата	$I_{в.ном}$, А	$I_{розч.ном}$, А
1	2	3	4	5
РШ-РП1	58,54	e.industrial.ukm.1 60S.63	160	63
РШ-РП2	92,73	e.industrial.ukm.1 60S.100	160	100
РШ-РП3	44,35	e.industrial.ukm.1 60S.50	160	50
РП1- Наждаковий верстат НУ-5	3,55	e.industrial.ukm.1 60S.4	160	4

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4	5
РПТокарний напівавтомат GER-41-	27,22	e.industrial.ukm.1 60S.32	160	32
РП1-Вертикально-свердильний верстат J789	8,66	e.industrial.ukm.1 60S.10	160	10
РП1-Круглошліфувальний верстат MGA97	8,40	e.industrial.ukm.1 60S.10	160	10
РП1- Вентилятор JOH-468	0,72	e.industrial.ukm.1 60S.1	160	1
РП2-Карусельно-фрезерний верстат GA-G	13,40	e.industrial.ukm.1 60S.16	160	16
РП2-Поздовжньо-фрезерний верстат OAG-KO	33,20	e.industrial.ukm.1 60S.40	160	40
РП2-Агрегатний горизонтально-свердильний верстат OJG-90	22,68	e.industrial.ukm.1 60S.25	160	25
РП2-Агрегатний вертикально-свердильний верстат JIG-9	22,04	e.industrial.ukm.1 60S.25	160	25
РП2-Загартувальна установка JOH--31	18,58	e.industrial.ukm.1 60S.20	160	20
РП3- Вертикально-протяжний верстат IJG-5	19,99	e.industrial.ukm.1 60S.20	160	20
РП3- Горизонтально-розточувальний верстат AS-8	23,30	e.industrial.ukm.1 60S.25	160	25
РП3-Шліфувально-обдирочний верстат Jfw-7	5,36	e.industrial.ukm.1 60S.6,3	160	6
РП3-Клепальна машина J-K5	7,70	e.industrial.ukm.1 60S.8	160	8

Таким чином, застосування розподільчого пристрою РП 8204 у комплектації з вимикачами e.industrial.ukm. забезпечує надійне та селективне відключення аварійних режимів у межах цехової мережі.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

3.1. Визначення розрахункової потужності та обґрунтування вибору вентиляційного обладнання

У межах проєктування системи електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт, критерій економічної доцільності виступає пріоритетним напрямком проєктних рішень. Досягнення необхідного рівня енергоефективності безпосередньо визначається коректним підбором складових електротехнічного комплексу, причому особлива увага приділяється вентиляторному обладнанню, точність розрахунку потужності приводних двигунів якого є визначальним фактором надійності експлуатації. Розрахункові співвідношення для визначення параметрів виконуються згідно з методичними вказівками, наведеними у додатку П.

Продуктивність вентиляційної установки за об'ємом повітря, що транспортується за годину, становить:

$$L = \frac{300 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 23)}{12,96 \cdot (23 - (2))} = 2,0 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.1)$$

Для коректного визначення аеродинамічного опору системи виконується розрахунок густини повітряного середовища, яка для температури $\vartheta_v = 23^\circ\text{C}$ визначається

$$\rho = \frac{1,29}{1 + 0,00367 \cdot 23} = 1,190 \text{ кг/м}^3. \quad (3.2)$$

Величина динамічного (швидкісного) тиску в повітроводі розраховується виходячи зі швидкості потоку та отриманого значення густини:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектуювання електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Козак Д.Б.				Д	61	7
Перевір.		Гадай А.В.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.						
Затверд.		Волинець В.І.						

$$H_d = \frac{1,190 \cdot 5^2}{2} = 14,9 \text{ Па.} \quad (3.3)$$

Втрати тиску на тертя по довжині повітропроводу, що є критичним параметром для визначення навантаження на електропривод, складають:

$$R = 64,8 \cdot \frac{5^{1,925}}{500^{1,281}} \cdot \left(\frac{1,190}{1,29} \right)^{0,852} = 0,47 \text{ Па/м.} \quad (3.4)$$

Сумарні втрати тиску на подолання місцевих опорів у фасонних частинах трубопроводу (вхід/вихід, повороти, переходи)

$$p_r = (1,1 + 0,3 + 1,1 + 0,55) \cdot 14,9 = 44,61 \text{ Па.} \quad (3.5)$$

Значення статичної складової тиску, що має бути забезпечене вентилятором для подолання вертикальних ділянок системи та місцевих опорів, визначається за формулою:

$$H_c = 25 \cdot 5,5 + 44,61 = 182,11 \text{ Па.} \quad (3.6)$$

Таким чином, повний тиск, який має створювати вентиляційний агрегат на робочому режимі, являє собою суму динамічної та статичної складових:

$$H = 14,9 + 182,11 = 196,98 \text{ Па.} \quad (3.7)$$

Ґрунтуючись на отриманих аеродинамічних параметрах (продуктивність 2,0 м³/год та повний тиск 196,98 Па), з каталожного ряду обрано вентилятор типу ВР 284-36, який забезпечує номінальну витрату повітря на рівні 0,45 · 10³ м³/год.

Розрахунок механічної потужності на валу вентилятора, необхідної для передачі енергії потоку повітря, виконується з урахуванням загального тиску та об'ємної продуктивності:

$$P = \frac{196,98 \cdot 0,45}{1000 \cdot 0,65 \cdot 0,2} = 0,682 \text{ кВт.} \quad (3.8)$$

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням коефіцієнта запасу потужності (1,15) , який компенсує можливі відхилення параметрів мережі та неточності вихідних даних, розрахункова активна електрична потужність, що споживається двигуном вентилятора з мережі, становить:

$$P_p = 1,15 \cdot 0,682 = 0,78 \text{ кВт.} \quad (3.9)$$

Для організації повітрообміну в цеху механічної обробки металевих деталей передбачено триступеневу систему примусової вентиляції. Кожен із ступенів укомплектовано асинхронним двигуном типу АИР 71В2, що має такі паспортні дані: номінальна корисна потужність на валу $P_{д.ном} = 1,1 \text{ кВт}$ та синхронна частота обертання $n_{д.ном} = 2740 \text{ об/хв.}$

3.2. Розрахунок і вибір апаратів схеми керування

Вибір магнітного пускача для керування асинхронними електродвигунами вентиляторних агрегатів здійснюється згідно з методикою, наведеною в додатку О. Критерії підбору магнітних пускачів для одиночних електроприводів базуються на наступних умовах:

1) «за номінальною напругою» [1]

$$U_{ном.м} = 380 \text{ В} \leq U_{ном.а} = 380 \text{ В,} \quad (3.10)$$

2) «за номінальним струмом» [1]

$$I_{ном.д} 2,6 \text{ А} \leq I_{ном.а} = 6 \text{ А,} \quad (3.11)$$

Типи магнітних пускачів, застосованих для комутації вентиляційної установки, зведено до таблиці 3.1.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 3.1 — Магнітні пускачі для систем вентиляції

Об'єкт	Каталожні дані електродвигуна				Магнітний пускач	
	$P_{д.ном}, \text{кВт}$	$\eta_{д.ном}, \%$	$\cos\varphi$	$I_{д.ном}, \text{А}$	Тип	$I_{ном.а}, \text{А}$
окремий двигун	1,1	77	0,84	2,6	FC-1/6А	6
група	3,3	—	—	7,8	FC-1/9А	9

Розрахунок пікового струму для групи електродвигунів виконується з урахуванням найбільшого пускового струму та робочих струмів решти двигунів:

$$I_{пик} = 6,9 \cdot 2,6 + 2 \cdot 2,6 = 23,1 \text{ А}, \quad (3.12)$$

Пусковий струм одиничного двигуна в складі установки становить:

$$i_{пуск} = 6,9 \cdot 2,6 = 17,94 \text{ А}. \quad (3.13)$$

Автоматичний вимикач, призначений для захисту лінії електродвигуна вентиляційної установки, обирається відповідно до рекомендацій додатку О. У таблиці 3.2 виконано зіставлення розрахункових параметрів із каталожними характеристиками автоматичних вимикачів серії e.industrial.ukm.

Таблиця 3.2— Автоматичні вимикачі для живлення вентиляційної установки

Об'єкт	Розрахункові параметри електродвигуна			Автоматичний вимикач e.industrial.ukm.			
	$U_{ном.м}, \text{кВ}$	$I_p, \text{А}$	$i_{пуск}, \text{А}$	Тип	$I_{ном.а}, \text{А}$	$I_{ном.р}, \text{А}$	$I_{с.в}, \text{А}$
окремий двигун	0,38	2,6	17,94	e.industrial.ukm.160S.3,2	160	3	32
група	0,38	7,8	23,1	e.industrial.ukm.160S.8	160	8,0	80

3.3. Розрахунок мережі живлення вентиляційної установки

За категорією надійності електропостачання вентиляторні установки належать до II класу. Структурна схема живлення обирається згідно з методичними вказівками додатку Л. Підключення вентиляторних агрегатів

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

виконуються кабелями марки ВВГнг-LS-4×2,5 мм², тривало допустимий струм яких становить 19 А.

Активна складова втрати напруги в трансформаторі ТМ-400/10

$$\Delta U_{\text{ТМ-400.а}} = \frac{5,5}{400} 100\% = 1,4\%. \quad (3.14)$$

Реактивна складова втрат напруги в трансформаторі ТМ-400/10

$$\Delta U_{\text{ТМ-400.р}} = \sqrt{4,5^2 - 1,4^2} = 4,3 \%. \quad (3.15)$$

Сумарні втрати напруги в трансформаторі ТМ-400/10:

$$\Delta U_{\text{ТМ-400}} = 0,81 (1,4 \cdot 0,81 + 4,3 \cdot 0,59) = 1,9 \%. \quad (3.16)$$

Втрати напруги в розподільчій мережі до цеху механічної обробки металевих деталей $\Delta U_{\text{л}} = 3,40 \%$.

Розрахунок втрат напруги на ділянці від вводу цеху механічної обробки металевих деталей до безпосередньо двигуна вентилятора:

$$\Delta U_{\text{м}} = \sqrt{3} \cdot 7,8 \cdot (\cdot 0,81 + \cdot 0,59) \cdot 10^{-3} = \text{В}, \quad (3.17)$$

$$\Delta U_{\text{м}} \% = \frac{\Delta U_{\text{м}}}{U_{\text{н}}} 100\% = \frac{\quad}{400} 100\% = 11,5\%. \quad (3.18)$$

Загальний рівень втрат напруги в ланцюзі від джерела живлення до електродвигуна:

$$\Delta U = 1,9 + 3,40 + 11,5 = 1,58 \% < \Delta U_{\text{доп}} = 10\%. \quad (3.19)$$

Розрахунок струму трифазного короткого замикання на затискачах двигуна вентиляційної установки виконано згідно з методом, наведеним у додатку Н.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Активний опір обмоток трансформатора ТМ-400/10 , приведений до сторони 0,4 кВ:

$$r_{\text{ТМ-400}} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^3 = 0,39 \text{ мОм}, \quad (3.20)$$

Реактивний опір трансформатора ТМ-400/10, приведений до сторони 0,4 кВ:

$$x_{\text{ТМ-400}} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 400} \cdot 10^3 = 5,72 \text{ мОм}. \quad (3.21)$$

Активний та індуктивний опори кабельної лінії до вводу цеху механічної обробки металевих деталей:

$$R_{\text{м}} = 12,5 \cdot 11,5 = 5,50 \text{ мОм}, \quad (3.22)$$

$$X_{\text{м}} = 0,116 \cdot 11,5 = 18,00 \text{ мОм}. \quad (3.23)$$

Підсумкові значення активного та реактивного опорів мережі до цеху механічної обробки металевих деталей:

$$\Sigma r = 0,39 + 5,50 = 149,25 \text{ мОм}, \quad (3.24)$$

$$\Sigma x = 5,72 + 18,00 = 19,33 \text{ мОм}. \quad (3.25)$$

Повний опір мережі до цеху механічної обробки металевих деталей

$$Z = \sqrt{(149,25+20)^2 + 19,33^2} = 170,35 \text{ мОм}. \quad (3.26)$$

Розрахунковий струм трифазного короткого замикання в точці підключення двигуна:

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 170,35} = 1,36 \text{ кА.} \quad (3.27)$$

Мінімальний переріз жили кабелю за умовою термічної стійкості до струмів КЗ:

$$F_{\text{min}} = \frac{1,36 \cdot \sqrt{0,25}}{88} = 0,773 < F_{\text{пр}} = 2,5 \text{ мм}^2. \quad (3.28)$$

Отже, для живлення двигуна вентилятора може бути використаний кабель ВВГнг-LS-4×2,5 із забезпеченням необхідних умов термічної стійкості та допустимих втрат напруги.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Побудова сучасної конфігурації електропостачальної системи визначається коректним вибором та верифікацією усіх елементів такої системи. Вирішення цього завдання стає практично нездійсненним без застосування спеціалізованих систем автоматизованого проектування. У межах представленої роботи було задіяно низку автоматизованих інструментальних засобів для виконання розрахунку електричних навантажень, що забезпечують функціонування заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. З метою визначення перспективного навантаження на електроустаткування цеху механічної обробки металевих деталей було розроблено спеціалізований обчислювальний шаблон у середовищі MS Excel. Зазначений розрахунковий документ наведено на рис. 4.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Назва приймачів або РП	К-сть	Р _{вст.} , кВт приведена ПВ=100%		K _{вхк}	cos ϕ	tgi	Середня потужність за найвантаженішу		п _ф	K _ш	Розрахункове навантаження			
2			Одного	Сумарн.				Рзм, кВт	Qзм, кВАр			Pr, кВт	Qr, кВАр	Sp, кВА	Ir, А
3	РП-1														
4	Гр-А (приймачі із змінним графіком навантаження)														
5	Наждаковий верстат НУ-5	3	1,7	5,2	0,20	0,70	1,02	1,03	1,05						
6	Токарний напівавтомат GER-4	3	13,2	39,6	0,20	0,70	1,02	7,92	8,08						
7	Вертикально-свердильний верстат	2	4,8	9,6	0,50	0,80	0,75	4,80	3,60						
8	Крутлошліфувальний верстат MGA	2	3,2	6,4	0,35	0,55	1,52	2,24	3,40						
9	Всього гр. А	10		60,8	0,26			15,99	16,13	6,17	1,95	31,18	17,75	35,88	51,79
10	Гр-Б (приймачі з постійним графіком навантаження)														
11	Вентилятор ЈОН-468	2	2,9	5,8	0,65	0,80	0,75	3,77	2,83						
13	Всього гр. Б	2		6	0,65			3,77	2,83	-	1,00	3,77	2,83	4,71	6,80
14	ВСЬОГО РП1	12		66,6				19,76	18,96			34,95	20,58	40,59	58,59
15	РП-2														
16	Гр-А (приймачі із змінним графіком навантаження)														
17	Карусельно-фрезерний верстат GA	3	6,5	19,5	0,20	0,70	1,02	3,90	3,98						
18	Поздовжньо-фрезерний верстат ОА	3	16,1	48,3	0,30	0,70	1,02	14,49	14,78						
19	Агрегатний горизонтально-свердиль	2	11,0	22,0	0,20	0,70	1,02	4,40	4,49						
20	Агрегатний вертикально-свердиль	2	8,4	16,8	0,20	0,55	1,52	3,36	5,10						
22	Всього гр. А	10		106,6	0,25			26,15	28,35	8,83	1,77	46,37	31,19	55,88	80,66
23	Гр-Б (приймачі з постійним графіком навантаження)														
24	Загартувальна установка ЈОІН--31	1	10,3	10,3	0,65	0,80	0,75	6,70	5,02						
25	Всього гр. Б	1		10,3	0,65			6,70	5,02	-	1,00	6,70	5,02	8,37	12,08
26	ВСЬОГО РП2	11		116,9				32,85	33,37			53,07	36,21	64,25	92,74
27	РП-3														
28	Гр-А (приймачі із змінним графіком навантаження)														
29	Вертикально-протяжний верстат ІС	2	9,0	18,0	0,25	0,65	1,17	4,50	5,26						
30	Горизонтально-розточувальний вер	2	11,3	22,6	0,20	0,70	1,02	4,52	4,61						
31	Шліфувально-обдирочний верстат І	2	2,6	5,2	0,20	0,70	1,02	1,04	1,06						
32	Клепальна машина J-K5	2	3,2	6,4	0,45	0,60	1,33	2,88	3,84						
36	Всього гр. А	8		52,20	0,25			12,94	14,77	6,04	2,02	26,08	16,25	30,72	44,35
42	Всього РП-3	8		52,20				12,94	14,77			26,08	16,25	30,72	44,35

Рисунок 4.1 – Розрахункова таблиця для визначення навантаження цеху механічної обробки металевих деталей

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Козак Д.Б.								Д	68	7	
Перевір.	Гадай А.В.								ФАБЕ, гр. ЕЕ-42			
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.											
Затверд.	Волинець В.І.											

Для визначення необхідної кількості освітлювальних приладів типу ESSYSTEM 518 INDUSTRIA 1 , що підлягають встановленню у приміщенні цеху механічної обробки металевих деталей, було використано програмний комплекс DIALux. Результати виконаного моделювання та обчислень представлені на рисунках 4.2–4.12.

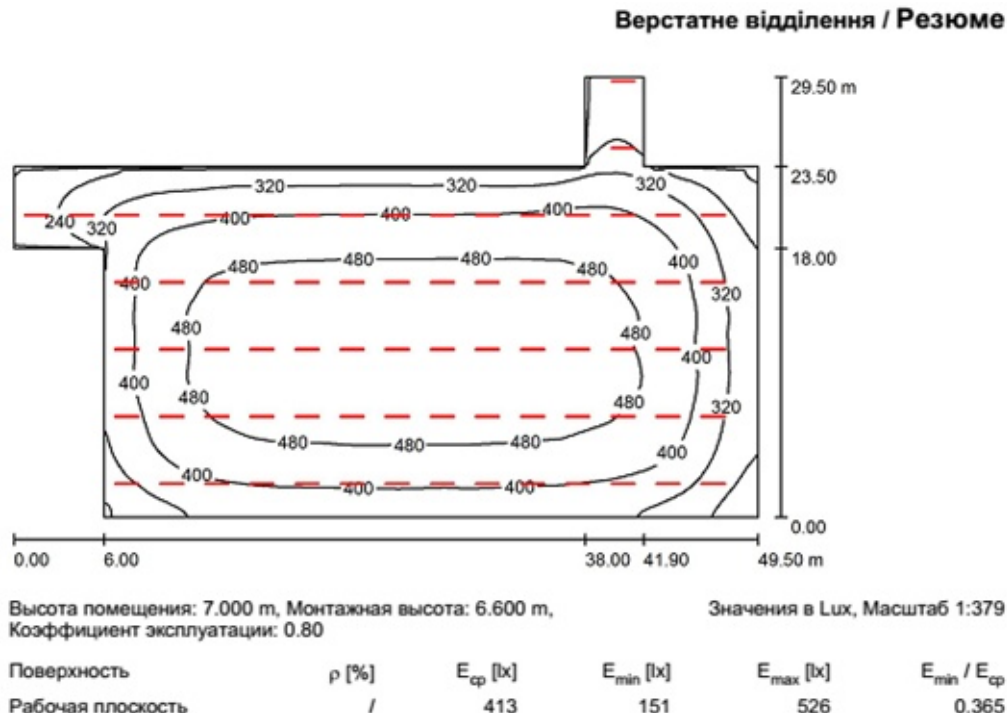


Рисунок 4.2 – Результати моделювання в середовищі DIALux для верстатного відділення

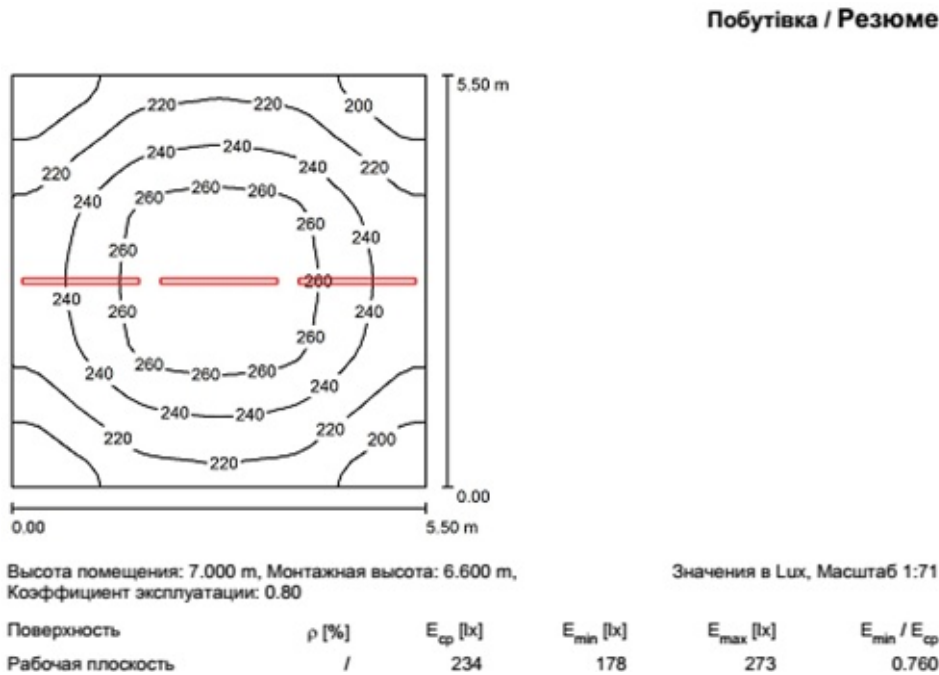
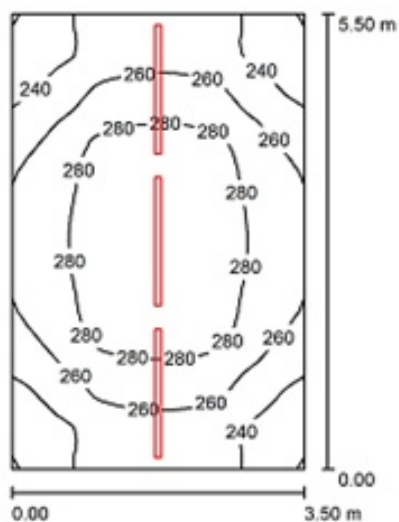


Рисунок 4.3 – Результати моделювання в середовищі DIALux для побутівки



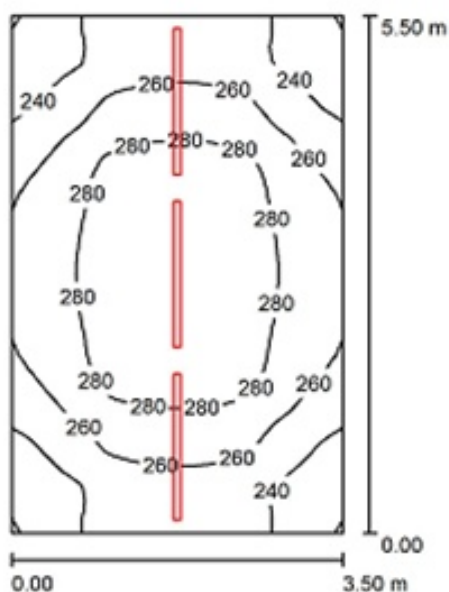
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	265	220	299	0.827

Рисунок 4.4 – Результати моделювання в середовищі DIALux для інструментальної

Кімната помічника майстра / Резюме



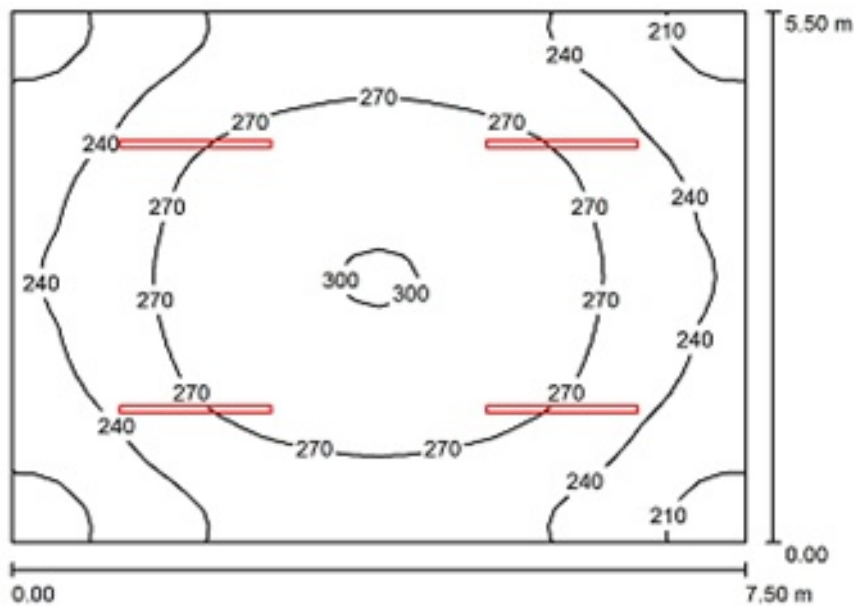
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	265	220	299	0.827

Рисунок 4.5 – Результати моделювання в середовищі DIALux для кімнати помічника майстра

Склад матеріалів / Резюме



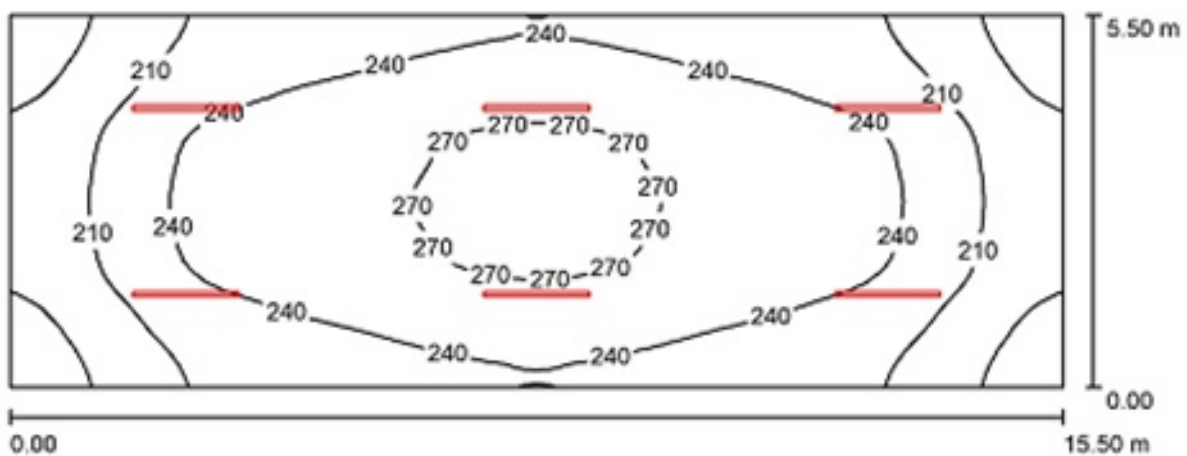
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	257	193	301	0.751

Рисунок 4.6 – Результаты моделирования в среде DIALux для склада
материалів

Склад виробів / Резюме

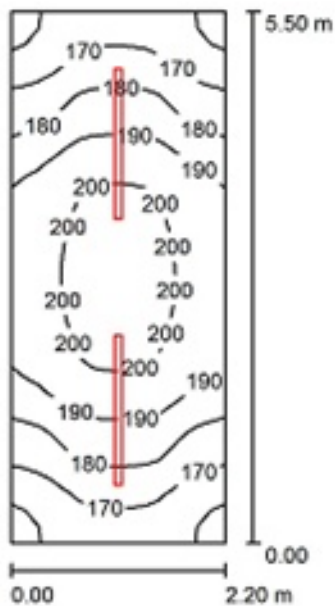


Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:111

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	233	160	279	0.686

Рисунок 4.7 – Результаты моделирования в среде DIALux для склада
виробів



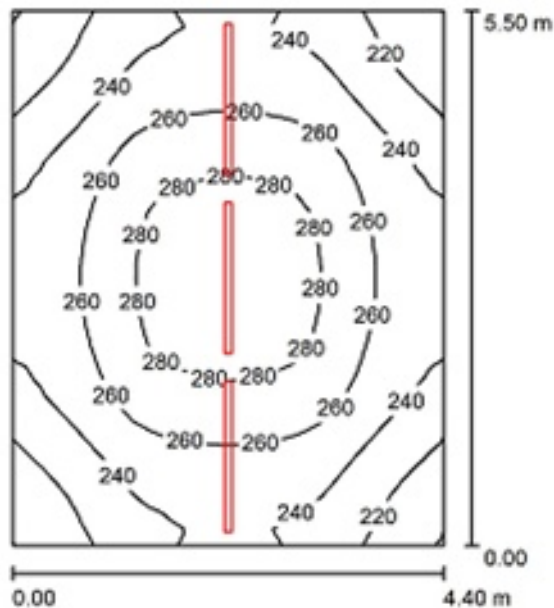
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

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	/	185	156	205	0.843

Рисунок 4.8 – Результаты моделирования в среде DIALux для щитовой

Трансформаторна / Резюме



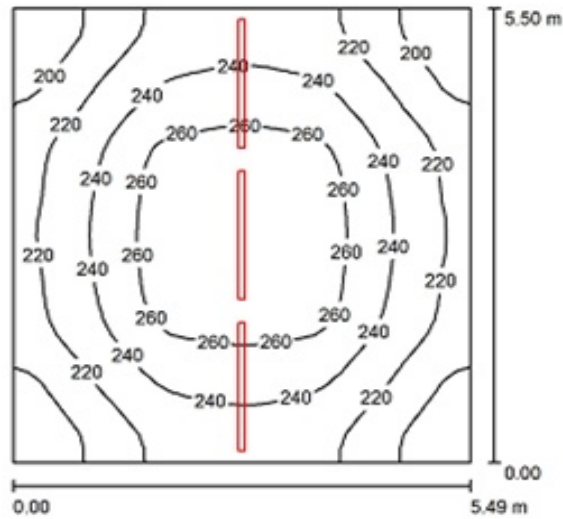
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

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	/	252	199	287	0.791

Рисунок 4.9 – Результаты моделирования в среде DIALux для трансформаторной

Кімната відпочинку / Резюме



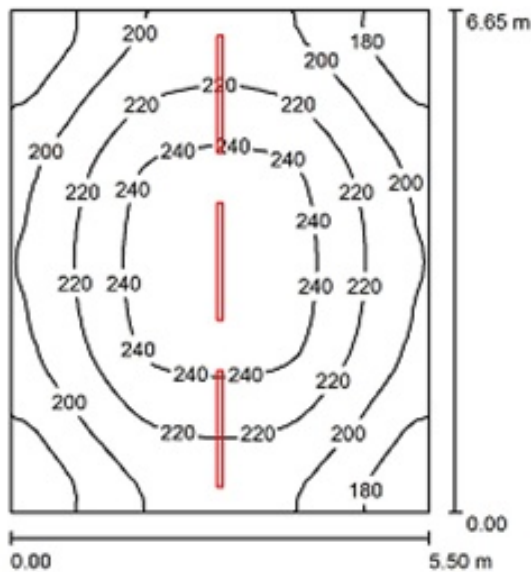
Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	234	178	273	0.760

Рисунок 4.109– Результати моделювання в середовищі DIALux для кімнати відпочинку

Склад запасних частин / Резюме

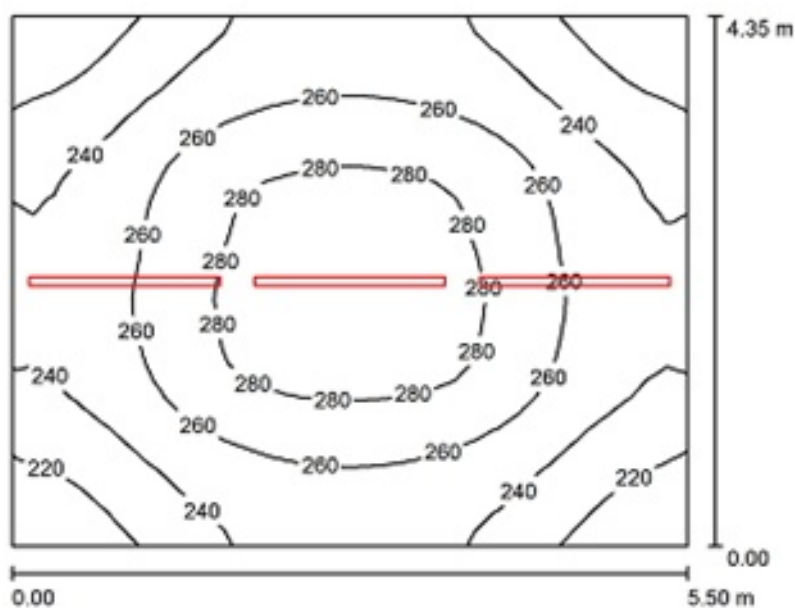


Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:84

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	214	159	253	0.744

Рисунок 4.11 – Результати моделювання в середовищі DIALux для складу запасних частин



Высота помещения: 7.000 m, Монтажная высота: 6.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:56

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	253	201	289	0.796

Рисунок 4.12 – Результати моделювання в середовищі DIALux для вентиляційної

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Економічна ефективність СЕП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт залежить від правильного вибору всього обладнання (включаючи пристрої захисту від ураження електричним струмом). Відповідно до методики, наведеної у додатку Р, максимально допустимий опір системи заземлення для цеху механічної обробки металевих деталей встановлено на рівні, що не перевищує 10 Ом.

Розрахункові параметри ґрунтових умов:

- питомий електричний опір верхнього шару ґрунту становить 145 Ом·м;;
- питомий електричний опір нижнього шару (підґрунтя) зафіксовано на рівні 109 Ом·м;
- конструктивне виконання заземлювального провідника передбачає застосування кутової сталі з шириною полиці 45 мм.

Уточнений розрахунок питомого опору ґрунту з урахуванням кліматичних коефіцієнтів:

$$\rho_p = \frac{145 \cdot 1,25 \cdot 109 \cdot 4}{145 \cdot 1,25 \cdot (4 - 1,04 + 0,73) + 109 \cdot (1,04 - 0,73)} = 36,3 \text{ Ом}\cdot\text{м.} \quad (5.1)$$

Розрахунковий опір вертикального стрижневого заземлювача обчислюється за класичною формулою:

$$r_b = \frac{0,366 \cdot 36,3}{4} \left(\lg \frac{2 \cdot 4}{0,95 \cdot 0,045} + \lg \frac{4 \cdot 2,73 + 4}{4 \cdot 2,73 - 4} \right) = 8,1 \text{ Ом.} \quad (5.2)$$

Попередня кількість вертикальних електродів без урахування взаємного екранування розрахована як

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Козак Д.Б.				Проектування електропостачання заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Пояснювальна записка.	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Гадай А.В.					Д	75	2
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н.контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затверд.	Волинець В.І.							

$$n_{\text{пр}} = \frac{8,1}{10 \cdot 0,70} = 1,29 \text{ шт.} \quad (5.3)$$

Зважаючи на технологічний мінімум та необхідність забезпечення надійності, приймаємо до монтажу 3 одиниці.

Загальна протяжність горизонтальної смуги, що об'єднує вертикальні заземлювачі в єдиний контур, становить

$$\ell_r = (3 - 1) \cdot 4 = 8,0 \text{ м.} \quad (5.4)$$

Розрахунковий опір горизонтального провідника, прокладеного в ґрунті, визначено як:

$$r_r = \frac{0,366 \cdot 3,4 \cdot 145}{8,0 \cdot 0,32} \cdot \lg \frac{8,0^2}{0,05 \cdot 0,73} = 232,19 \text{ Ом.} \quad (5.5)$$

Підсумковий опір всього заземлювального пристрою з урахуванням взаємного впливу вертикальних та горизонтального електродів розраховано за формулою:

$$R = \frac{10 \cdot 232,19/0,32}{232,19/0,32 - 10} = 9,1 \text{ Ом.} \quad (5.6)$$

Фактична потрібна кількість вертикальних заземлювачів із урахуванням коригування опору з'єднувальною смугою складає:

$$n = \frac{8,1}{9,1 - 0,70} = 1,27 \text{ шт.} \quad (5.7)$$

Виходячи з конструктивних міркувань та забезпечення резерву, остаточно приймаємо 3 вертикальні заземлювальні провідники.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході проєктування виконано детальний розрахунок електричних навантажень як силового, так і освітлювального обладнання цеху механічної обробки металевих деталей та виробничих потужностей заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт. Для забезпечення електропостачання заводу оптичних компонентів із зазначеною потужністю обрано трансформаторну підстанцію, до складу якої входять два трансформатори моделі ТМ-400 та два пристрої автоматичної компенсації реактивної потужності (АКУ-0,4-70). Розрахунковий центр електричних навантажень підприємства локалізується в зоні, зайнятій технологічним обладнанням, у зв'язку з чим поворотна ТП розміщена у вільній зоні для оптимізації розподілу потужностей. Живлення ТП заводу оптичних приладів встановленою потужністю 1147 кВт реалізовано кабельною лінією марки АСБ-3×35 класом напруги 10 кВ, що забезпечує необхідну пропускну здатність. У внутрішньому просторі ТП змонтовано комплектне високовольтне та низьковольтне розподільне обладнання. Внутрішньоцехова електрична мережа цеху обробки металевих деталей виконана кабелем ВВГнг-LS з використанням розподільних пунктів типу РП 8204 та автоматичних вимикачів серії e.industrial.ukm.

Окремо виконано розрахунок системи живлення вентиляційної установки. Для приводу вентиляції обрано електродвигун серії АИР 71В2 номінальною потужністю 1,1 кВт, укомплектований термореле FTR32В 2,2-3,1 з діапазоном регулювання 2.2-3.1 А та магнітним пускателем FC-1/6А. Живлення вентиляційної установки здійснюється кабелем ВВГнг-LS перетином 5×2,5мм². Для захисту лінії вентиляції від струмів короткого замикання та перевантажень застосовано автоматичний вимикач e.industrial.ukm.160S.8 із номінальним струмом розчеплювача 8,0 А.

Проектні рішення з освітлення верифіковано у програмному комплексі DIALux, де обрано світильники ESSYSTEM 518 INDUSTRIA , що забезпечують необхідні нормовані показники освітленості. Калькуляція освітлювального

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження для цеху механічної обробки металевих деталей виконана з використанням інструментарію MS Excel.

Для забезпечення безпеки експлуатації електроустановок цеху цеху механічної обробки металевих деталей спроектовано та розраховано систему вторинного (додаткового) заземлення, параметри якої відповідають вимогам чинних нормативних документів.

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	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. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення : нак. М-ва регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 3 жовт. 2018 р. № 264. Вид. офіційне. Київ, 2018. 133 с.

3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760 с.

4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. - Харків, Індустрія, 2018.

5. Основи релейного захисту та автоматики : методичні рекомендації до практичних занять для студентів напрямку підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” / уклад. А.В. Гадай. – Луцьк : Луцький НТУ, 2015.– 43 с.

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

7. Васійчук В. О. Основи цивільного захисту: навч. посіб. / В. О. Васійчук, В. Є. Гончарук, С. І. Качан, С. М. Мохняк – Львів : 2010. – 384 с.

8. Корпусні автоматичні вимикачі E.NEXT : вебсайт. URL: https://enext.ua/uk/catalog/silovi_avtomatichni_vimikachi_ukm_serii_s_industrial/siloviy_avtomatichniy_vimikach_e_industrial_ukm_60s_10_3r_10a/

9. Кабель ВВГ, ВВГнг, ВВГп : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/vvg-vvgng-kabel-silovoy>.

10. Кабель АСБ : вебсайт. URL: <https://vse-e.com/kabel-i-provod/marki-kabelia/asbl> .

11. Щити освітлення : вебсайт. URL: <http://akonit-box.com/catalog/schity-osvescheniya>

12. Ящик розподільчий : вебсайт. URL: <https://nanohomeelectro.com.ua/p86547888-yaschik-raspredelitelnij.html>

					ЛНТУ. 971041.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		